



INE-SEMARNAT • MÉXICO • NÚM. 76

*gaceta ecológica*

# Gaceta ecológica

INE-SEMARNAT MÉXICO



☞ SUELOS, INFORMACIÓN Y SOCIEDAD

☞ GEOGRAFÍA FÍSICA Y ORDENAMIENTO  
ECOLÓGICO DEL TERRITORIO

☞ DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL DESARROLLO:  
LA EXPERIENCIA CUBANA

☞ SUSTENTABILIDAD AGRÍCOLA:  
UN ANÁLISIS JERÁRQUICO

☞ REDUCCIÓN DE RIESGOS NATURALES  
EN ZONAS COSTERAS

☞ NÚMERO 76 • MÉXICO • 2005 • \$45 ☞



SECRETARÍA DE  
MEDIO AMBIENTE Y  
RECURSOS NATURALES

SEMARNAT

Delegación  
Querétaro

Foro Regional Sobre

# Materiales y Residuos Peligrosos

## Objetivo del Foro:

Fortalecer el manejo integral de los materiales y residuos peligrosos, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social, garantizando un medio ambiente adecuado y un Desarrollo Sustentable.

## Temas del Foro:

- Legislación ambiental
- Las Actividades altamente riesgosas y su desarrollo en el país
- Certificación de industria limpia
- Atención a emergencias químicas
- Planes de manejo y los residuos peligrosos
- Manejo integral de residuos peligrosos

**19 al 21 de Octubre 2005**

Sede: Centro Cultural Manuel Gómez Morin

Horario: de 10:30 - 19:00 h



## Katrina y Rita. El fantasma ecológico permanece

ALEJANDRO YÁÑEZ-ARANCIBIA<sup>1</sup> Y  
JOHN W. DAY<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Unidad de Ecosistemas Costeros, Instituto de Ecología A.C., México.

<sup>2</sup>Department of Oceanography and Coastal Sciences, Coastal Ecology Institute, Louisiana State University, EE.UU.



KATRINA Y RITA ACAPARARON las noticias de la vulnerabilidad de las costas y la frágil existencia de los ecosistemas litorales del Golfo de México. Septiembre del 2005 sólo actualizó la persistencia de los problemas ecológicos que prevalecen en toda la región, históricamente carente de planificación ambiental y débil interés político, aún cuando México y los Estados Unidos utilizan el área para obtener energía y alimentos, transportar sus insumos por tierra y mar, desarrollar ciudades e industrias, y atesorar y presumir sus bellezas escénicas ávidas

de turistas. Es decir, ambos países tienen enormes recursos Golfo-dependientes.

Los desastres producidos por Katrina y Rita, de dimensiones casi apocalípticas, podrían haber sido menores, o mitigados en gran medida, de existir la red de humedales, marismas, islotes y bosques de cipreses, que daban forma al delta del Misisipi hace poco menos de un siglo. La alteración artificial del cauce del Misisipi para evitar su desbordamiento ha tenido un fatal efecto secundario no sólo en Nueva Orleans sino también en el resto de comunidades costeras de los estados de Luisiana y Misisipi cercanas a la desembocadura del río.

El delta del Misisipi, el más grande de Norteamérica y uno de los más caudalosos del mundo, se ha hundido un metro en un siglo. A principios del siglo XX el área total del delta, incluyendo pantanos e islas, arenosas era de 25,000 km<sup>2</sup>. Desde 1930 hasta hoy, el ritmo de pérdida de tierras es de 100 km<sup>2</sup>/año y ya se han perdido un total de 3,900 km<sup>2</sup> de humedales costeros. La tasa de desaparición de las tierras fue mayor durante la década de 1960 y 1970 decreciendo desde entonces pero continuando a un ritmo bastante elevado.

Durante siglos, el Misisipi, con su descarga de 18,000 m<sup>3</sup>/seg construyó un escudo que proporcionaba protección natural ante mareas, vientos, lluvias y huracanes.

Antes de ser recanalizado y reconducido mediante diques y canales, muchos de los sedimentos continentales arrastrados a lo largo de su recorrido, se depositaban al desembocar en el delta. Los sedimentos se iban acumulando formando pequeños islotes que, a su vez, se unían entre sí formando una red de marismas y humedales que conformaban una barrera natural ante el viento y el oleaje y predisponían el asentamiento de la vegetación costera, hoy en franca desaparición. De esta manera el equilibrio ambiental estaba servido y los huracanes encontraban la resistencia de las marismas debilitándose así antes de entrar a tierra firme.

Con el crecimiento de las ciudades circundantes al delta del Misisipi y el temor a que éste se desbordase, se optó por construir una serie de

diques para reconducir su cauce hacia el interior del Golfo de México, rompiéndose el frágil proceso de sedimentación que favorecía la formación de los humedales. Históricamente eso ha impedido que el río visite primero a los pantanos del delta antes de llegar al mar. “Multitud de factores han estado asociados a la pérdida de humedales y pantanos en el delta del Misisipi; por ejemplo, la intrusión de agua salada y muerte de la vegetación costera, el ascenso relativo del nivel del mar, la reducción en la cantidad de sedimentos depositados en el delta, la construcción de canales y el relleno de los humedales, la alteración del régimen hidrológico, la subsidencia o hundimiento paulatino de las tierras bajas, entre otros ... Y la causa principal de todos estos problemas se encuentra en el aislamiento del río con respecto al delta mediante diques” (Day *et al.* 2003, 2005, Yáñez-Arancibia y Day 2004).

Es de suma importancia la rehabilitación y restauración del ecosistema que está desapareciendo en el delta del río Misisipi, no sólo por su valor ecológico y económico, sino también por su directa aportación a la productividad del mar adyacente y la sustentabilidad de las pesquerías, y también a los intereses del desarrollo industrial y turístico de las costas. Un delta saludable proporcionaría una sensible mejora en la pesca y en la calidad del agua pero, sobre todo, una protección ante los embates de la naturaleza imposible de igualar por el hombre. Tal vez las mejores alternativas de mitigación de estos problemas sea el uso de humedales como plantas naturales de tratamiento de aguas residuales, con lo cual se mejora la calidad de los hábitas y el agua, se vigoriza el paisaje, se estimula la sedimentación y el crecimiento de vegetación costeras, y se abaratan significativamente los costos tecnológicos para mejorar la calidad del delta del Misisipi.

Pero los fantasmas dejan huella. Se vislumbra que en el sur del Golfo de México, en las costas de Tabasco y Campeche, la vulnerabilidad de las costas es muy similar a lo que acontece en el delta del Misisipi. Allí se sitúa el delta de los ríos Grijalva y Usumacinta, que con 4,700 m<sup>3</sup>/seg es la segunda mayor descarga de agua dulce en el Golfo de México

después del Misisipi, a la vez que esa plataforma continental marina sostiene la mayor pesquería de México en el Golfo. La problemática ambiental es similar, la pérdida de humedales es análoga, el embate industrial es acelerado, el hundimiento de las costas se acelera y durante los últimos veinte años han sido más marcados los huracanes severos que están encontrando hacia el sur del Golfo una nueva ruta de destrucción; por ejemplo, Gilberto en 1988, Opal y Roxana en 1995, Isidora en 2002 y Emily en 2005. Es decir, en los últimos 18 años han visitado el sur del Golfo de México los cinco huracanes más severos de los últimos cien años.

Seguramente no se podrá evitar que los fantasmas de dios Huracán de las tormentas de *Popol Vuh*, bien conocidos por los mayas mesoamericanos, visiten con mayor frecuencia e intensidad el sur del Golfo. Pero la planificación ambiental y la voluntad política, pueden evitar que “la lección de desintegración ecológica del delta del Misisipi se duplique en el delta Grijalva/Usumacinta”. La imagen especular de Nueva Orleans se denomina Villahermosa y Ciudad del Carmen. Las luces rojas ya están encendidas.

## Bibliografía

- Day, J. W., A. Yáñez-Arancibia, W. J. Mitsch, A. L. Lara-Domínguez, J. N. Day, J.Y. Ko, R. Lane, J. Linsdsey y D. Zárate 2003. Using ecotechnology to address water quality and wetland habitat loss problems in the Misisipi basin (and Grijalva/Usumacinta basin): a hierarchical approach. *Biotechnology Advances* 22 (1-2): 135-159.
- Day, J.W., J. Barras, E. Clairns, J. Johnston, D. Justic, G.P. Kemp, J.Y. Ko, R. Lane, W.J. Mitsch, G. Steyer, P. Templet y A. Yáñez-Arancibia 2005. Implications of global climatic change and energy cost and availability for the restoration of the Misisipi delta. *Ecological Engineering* 24: 253-265.
- Yáñez-Arancibia, A. y J.W. Day 2004. Environmental sub-regions in the Gulf of México coastal zone: the ecosystem approach as an integrated management tool. *Ocean & Coastal Management* 47 (11-12): 727-757.

## **Gaceta ecológica**

Publicación trimestral  
INE-SEMARNAT. México  
Nueva época • Número 76 • 2005  
Trimestre: julio-septiembre

ISSN 1405-2849

**ALBERTO CÁRDENAS JIMÉNEZ**  
Secretario de Medio Ambiente  
y Recursos Naturales (SEMARNAT)

**ADRIÁN FERNÁNDEZ BREMAUNTZ**  
Presidente del Instituto Nacional  
de Ecología-SEMARNAT

**JAIME ALEJO CASTILLO**  
Coordinador General  
de Comunicación Social-SEMARNAT

### **CONSEJO EDITORIAL**

**Juan Álvarez**  
*Cámara Nacional de la Industria  
de la Transformación*

**Juan Antonio Cuéllar**  
*Cámara de la Industria  
de la Transformación*

**Luis Manuel Guerra**  
*Instituto Autónomo  
de Investigaciones Ecológicas*

**Sergio Guevara**  
*Instituto de Ecología, A.C.*

**Hans Herrmann**  
*Comisión Ambiental  
de Norteamérica*

**Enrique Leff**  
*Programa de Naciones Unidas  
para el Medio Ambiente*

**Iván Restrepo**  
*Centro de Ecología y Desarrollo*

**Carlos Sandoval**  
*Consejo Nacional  
de Industriales Ecologistas*

**Víctor Manuel Toledo**  
*Centro de Ecología, UNAM*

*Editor:* Raúl Marcó del Pont Lalli  
*Tipografía, corrección de estilo,  
diseño y cuidado de la producción:*  
Raúl Marcó del Pont Lalli

*Diseño de portada:* Álvaro Figueroa  
*Fotos de portada y cuarta  
de forros:* Claudio Contreras Koob

Certificado de licitud de título: 9624  
Certificado de licitud de contenido: 6709  
Certificado de reserva de los derechos al uso exclusivo del título  
y del contenido:  
04-2001-081414250000-102  
Derechos reservados: SEMARNAT-INE.  
Esta edición consta de 500 ejemplares

Se debe citar la fuente toda vez que se reproduzcan total o  
parcialmente cualesquiera de los materiales incluidos  
en este número. Los artículos no firmados son responsabilidad  
del editor. Los derechos sobre los artículos son de  
los autores.

DIGITALIZACIÓN, NEGATIVOS,  
IMPRESIÓN Y ACABADOS: Jiménez Editores  
e Impresores S.A. de C.V. de acuerdo  
con los términos de la invitación  
restringida del Instituto Nacional  
de Ecología INE/13P-008/2005.

Para informes sobre suscripciones y distribución,  
comunicarse al correo electrónico: [gaceta@ine.gob.mx](mailto:gaceta@ine.gob.mx).

Este número y los anteriores de la *Gaceta ecológica*  
(a excepción de los números 1, 3, 4, 30, 33, 34, 35, 36, 37 y  
40 al 57 que están agotados) pueden obtenerse en el Instituto  
Nacional de Ecología. Periférico sur 5000, Anexo 1, col.  
Insurgentes Cuicuilco, C.P. 04530. Deleg. Coyoacán, México,  
D.F. Tel.: (55) 56 28 06 00 ext. 13276, fax: (55) 54 24 52 41.

Para más información sobre nuestros distribuidores nacionales  
consulte la sección puntos de venta en:  
<http://www.ine.gob.mx/publicaciones/new.pventa.php>.

*Distribución en el extranjero:* Centro de servicios bibliográficos  
S.A de C.V. Tel. (55) 56552937, fax: (55) 55737215. Ventas  
internacionales al 1-877-606-2005, fax: 1-800-787-7153. Correo  
electrónico: [liebfm@laneta.apc.org](mailto:liebfm@laneta.apc.org).



Desde diciembre del 2002 el sistema de gestión de calidad del proceso de producción y distribución editorial del Instituto Nacional de Ecología está certificado de acuerdo con la norma ISO 9001:2000. Para mayor información consulte [www.ine.gob.mx](http://www.ine.gob.mx).

## Contenido

### Opinión

**Katrina y Rita. El fantasma ambiental permanece**

*Alejandro Yáñez-Arancibia y John W. Day*



2

### Artículos

**A modo de introducción**

GERARDO BOCCO



6

**Suelos, información y sociedad**

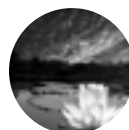
ALFRED ZINCK



7

**La geografía física y el ordenamiento ecológico del territorio. Experiencias en México**

GERARDO BOCCO, ÁNGEL PRIEGO Y HELENA COTLER



23

**La geografía física y el ordenamiento territorial en Cuba**

EDUARDO SALINAS CHÁVEZ



35

**La sustentabilidad agrícola: un análisis jerárquico**

J.A. ZINCK, J.L. BERROTERÁN, A. FARSHAD, A. MOAMENI,  
S. WOKABI Y E. VAN RANST



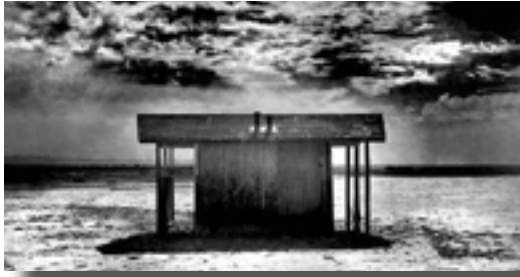
53

**El ordenamiento territorial en la reducción de los desastres naturales en las zonas costeras cubanas**

ADA LUISA PÉREZ HERNÁNDEZ



73



## *A manera de introducción*

El 29 de abril de 2004, en el marco del III Seminario Latinoamericano de Geografía Física, el Instituto Nacional de Ecología auspició parte de la sesión sobre Geografía Física y Ordenamiento Territorial. La idea fue facilitar la reunión de un grupo de especialistas en el tema para discutir el aporte de la disciplina al proceso de ordenamiento territorial (OT), presentando diferentes enfoques en el uso de la geografía física para el OT, como herramienta de política, en América Latina.

En este número de Gaceta ecológica se recopilan materiales de dicho evento. Alfred Zinck presenta una muy sólida reflexión sobre la información edafológica existente y su utilidad. Bocco, Priego y Cotler describen su experiencia práctica en torno a los vínculos de la geografía y la planificación territorial en México. Por su parte, Eduardo Salinas analiza el caso cubano de planeación territorial. Un grupo de especialistas de Europa, América Latina y África, liderados por el profesor Alfred Zinck, nos acerca al análisis de la sustentabilidad agrícola con una propuesta en cuatro niveles jerárquicos. Cierra este número Ada Pérez con un trabajo muy oportuno sobre los desastres naturales en las costas y su prevención, con énfasis en el caso cubano.

*El coordinador  
de este número*

*Gerardo Bocco*

# Suelos, información y sociedad

ALFRED ZINCK<sup>1</sup>

<sup>1</sup>International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC)

P.O. Box 6, 7500 AA Enschede, Holanda

**Resumen.** En este trabajo se hace referencia a una serie de investigaciones aplicadas que mobilizan información edáfica para integrarla a temas de actualidad. Se concluye que el inventario de suelos está en condiciones de suministrar una valiosa información para el manejo de los suelos, la planificación del uso de las tierras y la evaluación de riesgos ambientales, mediante la combinación de técnicas convencionales de levantamiento, conocimiento local, teledetección, y procesamiento y modelización de datos en SIG.

**Palabras clave:** degradación de suelos, crisis de los levantamientos de suelos, tendencias actuales en información de suelos, aplicaciones de la información de suelos.

**Abstract.** Reference is made to applied research work, which mobilizes soil information to integrate it into topics of current societal concern. It is concluded that soil inventory is able to provide valuable information for soil management, land use planning, and environmental hazard assessment, through combining conventional survey techniques, local knowledge, remote sensing, and GIS-assisted data processing and modeling.

**Keywords:** soil degradation, soil survey crisis, trends in soil information, applications of soil information.



## INTRODUCCIÓN

El recurso suelo no goza del mismo reconocimiento ni del mismo aprecio que los demás recursos naturales como, por ejemplo, las aguas, los bosques o los yacimientos minerales, porque no es un bien directamente consumible y porque existe la creencia común, pero errónea, de que los suelos son renovables a escala humana. Probablemente es por esta razón que la

sociedad en general se siente menos preocupada por la degradación de suelos que por el agotamiento de otros recursos naturales. En efecto, los seres humanos logran destruir en unos pocos años un capital, que a la naturaleza le cuesta miles de años formarlo.

En la primera parte de este trabajo se llama la atención sobre la gravedad y la magnitud de la degradación



de suelos, con énfasis en los daños causados por las acciones humanas. Los datos sobre degradación de suelos actualmente disponibles se derivan en su mayoría de la información generada por los levantamientos de suelos. Muchos de estos datos son de hace 10 o 15 años, o inclusive más, y no han sido actualizados desde entonces, porque el inventario sistemático de suelos ha sido descontinuado en muchos países, en parte debido a que los levantamientos convencionales son caros y la información edáfica se presenta frecuentemente en forma poco amigable para los usuarios. Esto ha conducido a una situación de crisis, un aspecto que se aborda en la segunda parte del trabajo. Pero la crisis resultó también ser saludable porque dio la oportunidad para idear y desarrollar nuevos enfoques de cartografía de suelos, estimulados por los avances realizados en el campo de la tecnología de la información. En la tercera parte se describen algunas de estas nuevas tendencias en el mapeo de suelos. Sin embargo, lo importante es que se utilicen efectivamente los datos y la información de suelos para la solución de problemas prácticos por parte de las comunidades locales y la sociedad en general. En la última parte se describe una serie de aplicaciones de la información de suelos, desarrolladas mediante obras de investigación a nivel doctoral y de maestría en el ITC de Holanda, como ejemplos que ilustran el carácter polivalente de la información edáfica. Tal como lo sugiere el título, el objetivo general del trabajo consiste en establecer puentes entre el recurso suelo y la comunidad de usuarios mediante flujos de información.

## **EL SUELO, UN RECURSO EN PELIGRO**

### LA DEGRADACIÓN DE SUELOS EN TÉRMINOS FÍSICOS

El concepto de degradación de suelos y el de degradación de tierras no son sinónimos, pero el primero es indudablemente el componente más importante

del segundo. Existen algunas aproximaciones cuantitativas de la degradación de suelos a nivel global y continental, pero resulta frecuentemente difícil comparar datos provenientes de fuentes diferentes porque no se utilizaron los mismos criterios en la evaluación de la degradación.

A escala global, la erosión hídrica es el proceso dominante en la degradación de suelos inducida por intervenciones humanas, el cual afecta a cerca de 11 millones de km<sup>2</sup> (= 8.5% de los 130 millones de km<sup>2</sup> de tierras en la superficie del globo terráqueo). En conjunto, la erosión hídrica (10.94 millones de km<sup>2</sup>), la erosión eólica (5.49 millones de km<sup>2</sup>), la degradación química (2.39 millones de km<sup>2</sup>) y la degradación física (0.83 millón de km<sup>2</sup>) afectan, en diferentes niveles de intensidad, casi 20 millones de km<sup>2</sup>, esto es, 15% de la superficie global de tierras, o aproximadamente 66% de las tierras potencialmente arables en todo el mundo (Oldeman, 1994). Estas cifras, muy posiblemente, están por debajo de la extensión real de tierras degradadas. A escalas más grandes, los datos son más precisos, revelando alteraciones en proporciones mayores.

En las regiones secas del mundo, por ejemplo, los suelos son particularmente vulnerables al uso y, como consecuencia, cerca de 70% de los 52 millones de km<sup>2</sup> de su extensión total se encuentra afectado por algún tipo de degradación o por una combinación de procesos de este tipo (Dregne y Chou, 1994). En las mismas regiones secas, cerca de diez millones de km<sup>2</sup> corresponden a suelos afectados por salinidad primaria en condiciones naturales, en una extensión que representa 7.7% de la superficie global de tierras, o sea 20 veces la superficie de un país como Francia, y que equivale a 33% de las tierras potencialmente arables a nivel mundial. Además, 0.8 millones de km<sup>2</sup> sufren salinización secundaria causada por el manejo inadecuado de tierras agrícolas, con 58% de éstas en áreas de regadío. Aproximadamente 20% de todas las tierras regadas se encuentra afectado por sales, y

esta cifra incrementa constantemente (Ghassemi *et al.*, 1995). En algunas regiones de África, expuestas a erosión de suelos y desertificación, la productividad de las tierras ha mermado aproximadamente 50% (Dregne, 1990).

Todavía no se dispone de información adecuada sobre las tasas de degradación de tierras porque esto requiere seguimiento temporal. Se estima que cada segundo se pierden 8.5 hectáreas de tierras productivas (Movillon *et al.*, 2001).

#### LA DEGRADACIÓN DE SUELOS EN TÉRMINOS ECONÓMICOS

A escala global, se pierden anualmente 75 mil millones de toneladas de suelo, que representan un costo de US\$ 400 mil millones, aproximadamente US\$ 70 por persona cada año (Lal, 1998). Para el conjunto de los países del sur de Asia, se estima la pérdida de productividad del suelo por erosión hídrica en US\$ 5.4 mil millones por año y la pérdida de productividad del suelo por erosión eólica en US\$ 1.8 mil millones por año (UNEP, 1994). En los Estados Unidos de América, el costo total de la erosión en tierras agrícolas llega a los US\$ 44 mil millones por año, lo que significa US\$ 250 por hectárea (Lal, 1998).

También se ha calculado el impacto económico de procesos específicos de degradación como consecuencia del mal manejo de las tierras. Por ejemplo, la compactación de suelo en los EE.UU. genera pérdidas a nivel de finca de cerca de US\$ 1.2 mil millones por año (Gill, 1971). En Zimbabwe, el agotamiento de la fertilidad del suelo causa una reducción de las ganancias anuales del orden de los US\$ 1.5 mil millones (UNEP, 1994). El daño económico por salinización secundaria en la cuenca del río Colorado se estima en US\$ 750 millones por año (Ghassemi *et al.*, 1995).

Todas estas cifras son alarmantes. En realidad, se trata solamente de aproximaciones generales. Para obtener datos más precisos sobre el nivel de severidad, la extensión y la tasa de degradación de las tierras por

tipo de proceso, se requieren evaluaciones y monitoreos a mayor escala.

#### LA CRISIS DE LOS LEVANTAMIENTOS DE SUELOS

Tradicionalmente, el inventario sistemático de suelos a nivel de país o de región era la fuente principal de datos sobre degradación de suelos. Pero desde principios de la década de 1990 muchos países han descontinuado o disminuido drásticamente estas actividades por una serie de razones, que dependen tanto del contexto económico de la época (razones “coyunturales”) como de fallas en la calidad de la información edáfica (razones “estructurales”).

#### RAZONES COYUNTURALES

Las razones coyunturales están relacionadas con la situación económica general y son por lo tanto exteriores al levantamiento de suelos:

- § La recesión económica global, relacionada principalmente con la crisis del petróleo, lleva a restricciones presupuestarias a nivel nacional, lo que causa una reducción de las actividades de inventario de los recursos naturales en general y de los suelos en particular.
- § La expansión del neoliberalismo económico y la preeminencia de la economía de mercado tienden a favorecer el control de las decisiones de uso del suelo por los mecanismos del mercado, mientras que las instancias gubernamentales pierden sus prerrogativas o abandonan sus responsabilidades en la planificación del uso de las tierras. Como consecuencia, disminuye la demanda y/o implementación de información edáfica.
- § En muchos países desarrollados (occidentales), la cobertura cartográfica sistemática de suelos a escalas apropiadas está completa o por terminarse.



En consecuencia, intereses y fondos se desplazan hacia levantamientos de suelo relacionados con proyectos específicos, generalmente a escala local, y aplicaciones innovadoras de la información edáfica existente.

#### LAS RAZONES ESTRUCTURALES

Las razones estructurales son inherentes al levantamiento de suelos y se refieren básicamente a relaciones desfavorables entre productor y usuario de la información edáfica.

#### *La visibilidad insuficiente y la presentación inapropiada de la información edáfica*

§ El lenguaje y el formato de los informes técnicos, de los mapas y de las leyendas no son amigables y difícilmente accesibles para quienes no son especialistas en el tema (nomenclatura complicada).

- § Los mapas muestran excesivos detalles que oscurecen los patrones de distribución de los suelos y de sus potenciales de uso.
- § El estilo de presentación y publicación no resulta atractivo (por ejemplo, mapas en blanco y negro), llevando el usuario a subestimar la calidad de la información proporcionada.
- § Los mapas generales de suelos se utilizan para tomar decisiones así como para solucionar problemas que pueden situarse fuera de los objetivos de los mapas para los que se elaboró la cartografía, lo que en ocasiones lleva a cuestionar injustamente la adecuación de la información edáfica.
- § El usuario no está interesado en el mapa taxonómico básico de suelos, sino en los mapas interpretativos derivados del documento básico, con leyendas simples diseñadas para propósitos específicos.

#### *Falta de precisión en los mapas de suelos*

- § Los límites cartográficos no pasan por donde deberían hacerlo debido a imprecisiones en el levantamiento de campo o por desplazamientos de delineaciones que resultan de la manipulación cartográfica.
- § Las unidades cartográficas no son lo suficientemente homogéneas para los propósitos de uso. La presencia de impurezas y la inclusión de suelos contrastantes disminuyen la calidad de las predicciones sobre el potencial de uso de los suelos. Rara vez se menciona el grado de confiabilidad del mapa de suelos.
- § Las propiedades edáficas que se requieren para usos específicos no se encuentran mencionadas en la leyenda del mapa o en el informe, porque el inventario se diseñó y ejecutó para planificación general del uso de las tierras y no para aplicaciones locales.

- § El levantamiento sistemático de suelos es una operación lenta y costosa, que involucra personal de nivel universitario especializado, equipos y determinaciones de campo y de laboratorio, y datos de teledetección, que contribuyen a encajear la información edáfica.
- § Los costos de oportunidad son altos porque la información no se suministra en el momento adecuado, lo que hace que las decisiones sobre uso y manejo de los suelos se toman sin ella.
- § En la evaluación de los costos, no se toma en cuenta el valor agregado generado por las interpretaciones con fines de usos múltiples, que se derivan del mismo mapa básico de suelos.
- § El levantamiento de suelos no se considera una actividad directamente productiva. Los beneficios derivados y la relación costo/beneficio son difíciles de evaluar en términos cuantitativos.

Esta situación no ha cambiado fundamentalmente durante los últimos diez años y todavía sirve de telón de fondo a los cambios que se perfilan en la actualidad. Sólo unos pocos países continúan realizando levantamientos sistemáticos de suelos, a pesar de que el 30% de las naciones del mundo, que representan 70% de las tierras emergidas y 60% de la población mundial, todavía no tiene una cobertura cartográfica de suelos completa a escalas cercanas al 1:1 millón (datos de 1992 según Purnell, 1995), sin mencionar la falta de información cartográfica de suelos a escalas más detalladas.

#### **LAS TENDENCIAS ACTUALES EN INFORMACION DE SUELOS**

Para abaratar los levantamientos de suelos y hacerlos más atractivos a los usuarios, se han desarrollado innovaciones tecnológicas y metodológicas para la recolección de datos y su conversión en información,

básicamente a través de uso creciente de la tecnología de la información en tres áreas principales: teledetección, sistemas de información geográfica y estadísticas espaciales.

- § *Teledetección (+ GPS)*: para la captura y el monitoreo de datos, aprovechando los progresos sostenidos en términos de resolución espectral, espacial y temporal, y las ventajas derivadas de la fusión de datos espectrales multi-fuentes y la integración de estos con información contextual.
- § *Sistemas de información geográfica (SIG)*: para el almacenamiento, el procesamiento y el modelado de datos, así como para el despliegue de la información en términos amigables a los usuarios, con énfasis creciente en la calidad de los datos de entrada, la cual controla a su vez la calidad de la información de salida.
- § *Estadísticas espaciales*: para evaluar, controlar y mejorar la calidad de los datos en términos de confiabilidad y precisión (*kriging*, lógica difusa, geometría fractal, inferencia de datos mediante funciones de transferencia, etc.).

Estos avances tecnológicos y metodológicos han conducido a disminuir la recolección de datos de campo y de determinaciones de laboratorio, sin poder sustituirlos cabalmente. En algunos países, se reciclan datos edáficos de hace 30 o 40 años en importantes proyectos de desarrollo o para la evaluación de riesgos ambientales, sin perspectiva clara de que vayan a ser actualizados a corto plazo.

En términos de cartografía de suelos, el tradicional mapa taxonómico, rica base para múltiples interpretaciones con fines agrícolas, ingenieriles, sanitarios, ambientales, turísticos y estéticos, está siendo reemplazado por mapas parciales, enfocados hacia propósitos más específicos. A continuación, se mencionan algunas de estas orientaciones actuales en el dominio de la cartografía de suelos, incluyendo ma-

pas temáticos de suelos, mapas pedométricos, mapas geopedológicos y mapas participativos de suelos.

#### LOS MAPAS TEMÁTICOS DE SUELOS

Los mapas temáticos de suelos muestran un solo atributo edáfico a la vez (por ejemplo, carbono orgánico, conductividad eléctrica, pH, etc.) o una combinación de pocos atributos interrelacionados. Usualmente, los datos se refieren a la capa superficial del suelo, se procesan mediante técnicas geoestadísticas y se relacionan con algún problema específico de uso o manejo del suelo, frecuentemente de carácter ambiental (por ejemplo, la degradación o la contaminación de suelos). Este enfoque consiste en cartografiar una rebanada 2D de suelo que permite ver el manto edáfico en forma fragmentaria, algo limitada en comparación con el concepto de suelo como entidad 3D y como cuerpo organizado con múltiples interacciones. En los casos donde se requiere alta confiabilidad de la información edáfica, como por ejemplo en aplicaciones para agricultura de precisión, los mapas de atributos se realizan a un nivel muy detallado.

#### LOS MAPAS PEDOMÉTRICOS

En la elaboración de los mapas pedométricos los modelos digitales de elevación o de terreno (MDE) sirven de sustento a la cartografía de suelos. Combinados con datos derivados de la teledetección para caracterizar propiedades de la cubierta vegetal (por ejemplo, NDVI), de la superficie del terreno (rugosidad y costra salina) y de la capa arable (como materia orgánica y humedad), los MDE se utilizan para inferir atributos edáficos y modelar la distribución espacial de los suelos, con frecuentemente pocos puntos de verificación de campo. Los datos faltantes se generan mediante funciones de transferencia a partir de los pocos datos primarios disponibles. En casos extremos de modelización *in vitro*, se ha llegado a considerar

el mapa de pendientes como un sustituto del mapa de suelos.

#### LOS MAPAS GEOPEDOLÓGICOS

El enfoque geopedológico para cartografiar suelos combina activamente la contribución de la geomorfología y de la pedología, considerando el suelo como un cuerpo 3D en el paisaje (*soilscape* o paisaje edáfico). El levantamiento geomorfológico suministra los límites cartográficos de las unidades de mapeo de suelos, mientras que la pedología proporciona el contenido edáfico de estas unidades de mapeo en términos de componentes taxonómicos, su porcentaje areal y su patrón de distribución espacial. Este enfoque es particularmente robusto porque combina los procedimientos convencionales de campo con las ventajas de la teledetección para la captura de datos y de los SIG para su procesamiento.

#### LOS MAPAS PARTICIPATIVOS DE SUELOS

En las sociedades rurales tradicionales se manejan conjuntamente el conocimiento empírico de los campesinos y el conocimiento técnico de los pedólogos para preparar mapas de suelos integrados. La colaboración de antropólogos, pedólogos y geógrafos, entre otros, permite abordar la cartografía de suelos y tierras, y su interpretación con fines prácticos, en forma multidisciplinaria, donde los agricultores/campesinos participan activamente en la elaboración de los mapas de suelos y paisajes edáficos (básicos e interpretativos) de su territorio. Los mapas participativos de suelos gozan de la adhesión de los actores involucrados, lo que garantiza un uso efectivo de la información.

#### LAS APLICACIONES DE LA INFORMACION DE SUELOS

Al fin y al cabo, la necesidad de usar la sofisticada tecnología moderna de la información para mejorar

el inventario de suelos es probablemente un problema menos relevante que el de llenar la brecha entre el productor de información y el usuario potencial de la misma. Si la información de suelos no es fácil de acceder e implementar, el usuario estará inclinado a ignorarla en su toma de decisiones. Por lo tanto, resulta importante anticipar la demanda y ofrecer aplicaciones creativas de la información de suelos, para así contribuir a la solución de problemas relacio-



ados con el manejo y la degradación de suelos, el uso sustentable de las tierras, la planificación del uso de las tierras, y la evaluación de riesgos ambientales, entre otros aspectos.

A continuación, se hace referencia a trabajos de investigación aplicada desarrollados en la División de Suelos del ITC en Holanda con base en tesis doctorales, tesis de maestría y proyectos cooperativos de investigación. Todos estos trabajos han utilizado teledetección para recolectar y monitorear datos, así como técnicas de SIG para procesar datos y generar información, pero con claro énfasis en solucionar problemas de desarrollo más bien que mejorar la tecnología de la información. Son ejemplos ilustrativos de las múltiples posibilidades de implementar información edáfica en un amplio espectro de aplicaciones, incluyendo degradación de suelos, manejo de suelos, riesgos ambientales inducidos por propiedades edáficas, los suelos en la planificación del uso de las tierras, y los suelos en los estudios sobre cambio climático. En todos estos trabajos, la geopedología constituye la piedra angular del marco conceptual y metodológico que sustenta la investigación. Se usó también este marco para estructurar un modelo conceptual de base geográfica de datos de suelo (Zinck y Valenzuela,

1990) y para analizar patrones espaciales de distribución de los suelos mediante índices cuantitativos (Saldaña, 1997; Saldaña, Stein y Zinck, 1998).

#### **LA DEGRADACIÓN DE SUELOS COMO RESULTADO DE UN MANEJO INAPROPIADO**

##### **LA COMPACTACIÓN DE LA CAPA ARABLE**

La creciente demanda de alimentos requiere un constante

incremento de la producción agrícola. Esto puede lograrse de dos maneras: mejorando la productividad de los cultivos o ampliando la superficie cultivada. La tendencia actual es hacia la expansión de la frontera agrícola con base en deforestación (100.000 km<sup>2</sup> por año a nivel mundial) e incorporación de tierras nuevas, especialmente en dos zonas agroecológicas: los trópicos húmedos y las áreas subhúmedas a semi-áridas. Resulta que en ambas zonas los suelos son particularmente frágiles y de baja resiliencia, frecuentemente con aptitudes marginales para agricultura y por lo tanto expuestos a rápida degradación, especialmente mediante compactación de la capa arable.

Se ha hecho un seguimiento de la compactación de suelos en la planicie subhúmeda a semiárida del Chaco, provincia de Tucumán, en el noroeste de Argentina, un área de frontera agrícola en plena expansión gracias a los precios muy favorables de la soya en los mercados internacionales. A este efecto se utilizó una serie temporal de datos de teledetección multi-fuentes, cubriendo un período de 25 años (Flores, 1997; ITC-INGEMA, en proceso). Los valores de los indicadores de compactación, incluyendo resistencia a la penetración y densidad aparente del suelo, aumentaron de 10-50%

en la capa arable después de apenas dos décadas de agricultura mecanizada. De igual manera, en la región semiárida de Shiraz, provincia de Fars, en Irán central, los altos valores de densidad aparente causados por el monocultivo mecanizado de trigo resultaron ser el factor más limitativo para el manejo sustentable del suelo (Moameni, 1999; Moameni y Zinck, 1999).

En los trópicos húmedos, una causa mayor de compactación del suelo es el pisoteo por bovinos en pastos establecidos. Se ha analizado este problema en el área de San José del Guaviare, en la Amazonía colombiana, donde 350,000 hectáreas de bosque han sido deforestadas durante las últimas dos a tres décadas para establecer pastizales. Después de unos pocos años dedicados a cultivos anuales, se introduce *Brachiaria* para la cría de ganado bovino, con densidades de animal relativamente altas (0.5-0.7 UA/ha) durante los primeros años, pero sin rotación de potreros. En el plazo de unos diez años, la calidad y la cantidad de los pastos disminuyen bajo el efecto de compactación del suelo por pisoteo, a tal punto que se abandonan los potreros y se rozan nuevas áreas de bosque mediante tala y quema (Martínez y Zinck, 1994, 2004).

#### *La salinización de suelos*

La salinización es un creciente problema de degradación de suelos en regiones subhúmedas, semiáridas y áridas, especialmente en áreas de regadío. Resulta relativamente fácil identificar y monitorear la presencia de sales en la superficie del terreno con datos de teledetección, pero el origen de las sales se encuentra frecuentemente en las capas profundas del manto edáfico, en el contacto con el material parental o la mesa freática, lo que necesita detallado trabajo de campo para diagnosticar el problema y seguir su evolución. Se han utilizado diversos enfoques para monitorear el riesgo ambiental de la salinización de suelos: (1) mediante la comparación de series

temporales de datos de teledetección en el área de Cochabamba, Andes orientales de Bolivia (Metternicht, 1996; Metternicht y Zinck, 1996, 1997, 2003), y en el área de Shiraz, Irán central (Moameni, 1999); y (2) mediante la comparación de mapas históricos y actuales de salinidad en el área de Gorgan, en el norte de Irán (Naseri, 1998).

#### *El agotamiento de la fertilidad de suelos*

En la agricultura mecanizada moderna se utilizan fertilizantes químicos para suministrar nutrientes a los cultivos. En cambio, casi nunca se aplica estiércol, lo que da como resultado que el contenido de materia orgánica en los suelos se encuentra usualmente por debajo de los niveles de requerimiento de las plantas. El diagrama de control de calidad, comúnmente utilizado en el campo de la producción industrial, es una técnica adecuada para evaluar y monitorear el estado de los nutrientes en el suelo por comparación con los niveles de aceptación/suficiencia específicos de cada cultivo. Esta técnica se implementó en el área de Shiraz, provincia de Fars, en Irán central, para diagnosticar el agotamiento de los nutrientes en el suelo bajo cultivo continuo de trigo. Esto permitió demostrar que los contenidos de carbono orgánico y de nitrógeno se encontraban completamente fuera de control agronómico en comparación con los requerimientos de dicha planta (Moameni y Zinck, 1997).

#### *La modelización integrada de la degradación de suelos*

Frecuentemente los procesos de degradación de suelos operan en cadena. Por ejemplo, el agotamiento de la materia orgánica contribuye a debilitar la estructura del suelo, una situación que a su vez favorece la compactación de la capa arable y, como consecuencia, se presenta la erosión laminar. El uso de indicadores para monitorear estos procesos en el tiempo, junto con

mapas multitemporales de uso de las tierras, permitió construir modelos de degradación continua del suelo en un dominio combinado tiempo-profundidad, en un área de producción de soya de la provincia de Río Grande do Sul, en el sur de Brasil (Wöhl-Coelho, 1999).

#### EL MANEJO DE SUELOS Y LA AGRICULTURA SUSTENTABLE

La degradación de los suelos afecta negativamente la sustentabilidad agrícola. Se han hecho grandes esfuerzos para identificar indicadores y calcular índices de sustentabilidad (Farshad y Zinck, 1993; Zinck y Farshad, 1995). Los términos de la sustentabilidad agrícola, incluyendo criterios e indicadores para la evaluación, son específicos, entre otras consideraciones, a las escalas espaciales y temporales, a los niveles jerárquicos de la estructura de los sistemas agrícolas, y a los tipos de sistemas de producción a nivel de finca. Por lo tanto, se necesita una amplia variedad de enfoques para evaluar correctamente la sustentabilidad a diferentes escalas, niveles y tipos de agricultura. Este problema se abordó mediante una metodología de pasos escalonados, con una serie de enfoques anidados que emplean indicadores simples o compuestos con fines de evaluar la sustentabilidad agrícola a cuatro niveles jerárquicos, incluyendo el sistema de manejo del suelo, el sistema de cultivo, el sistema de producción y el sistema del sector agrícola como un todo.

Se han realizado varios estudios de caso para ensayar y calibrar una serie de técnicas de evaluación específicas a cada nivel del macro-sistema agrícola (Zinck *et al.*, 2004).

§ *El sistema de manejo del suelo.* Un estudio de caso en Irán se enfoca al sistema de manejo del suelo a nivel de las unidades individuales de suelo, utilizando diagramas estadísticos de control de calidad para evaluar el estado de la fertilidad

del suelo y sus efectos en la sustentabilidad agrícola. Los límites estadísticos son adecuados para monitorear el comportamiento de una población de datos durante un lapso determinado, pero los mismos tienen que ser sustituidos por estándares de aceptación/suficiencia para evaluar la sostenibilidad. Una limitación importante de esta técnica es que se necesitan grandes series de datos para poder seleccionar al azar muestras representativas a partir de la población total y comprobar su distribución normal (Moameni y Zinck, 1997; Moameni, 1999).

§ *El sistema de cultivo.* Un segundo estudio de caso en Kenia se concentra en el sistema de cultivo a nivel de parcela, utilizando el análisis de la brecha de rendimientos para evaluar la sustentabilidad de la productividad de los cultivos. Aunque esta técnica no indica directamente qué nivel de rendimiento es sustentable, la misma señala que hay niveles de productividad de los cultivos más altos que los rendimientos actuales de los agricultores, que podrían alcanzarse con el uso de insumos adicionales y de prácticas de manejo mejoradas. Si el agricultor pudiese elevar el rendimiento a un nivel superior, su actividad agrícola sería más provechosa y por lo tanto económicamente más sustentable (Wokabi, 1994).

§ *El sistema de producción.* Otro estudio de caso en Irán se refiere al sistema agrícola a nivel de la unidad de producción, esto es, a nivel de finca, y utiliza el análisis del balance energético para comparar la sustentabilidad de sistemas agrícolas modernos y tradicionales. Esta técnica presenta la ventaja de expresar todos los parámetros de entrada y salida en una misma y sola unidad de medición. También permite establecer razones de entrada/salida y comparar diferentes sistemas de producción en términos cuantitativos con fines de evaluar su sustentabilidad. Sin embargo, este enfoque debe ser combinado con técnicas



complementarias para cubrir las variadas facetas del concepto de sustentabilidad (Farshad, 1997; Farshad y Zinck, 2000).

§ *El sistema del sector agrícola.* Un último estudio de caso realizado en Venezuela aborda el sector agrícola como un todo, y usa un índice agregado para monitorear la sustentabilidad de la actividad agrícola a nivel regional/nacional. Los indicadores componentes del índice fueron seleccionados de acuerdo con la disponibilidad de datos, la sensibilidad de estos datos a cambios temporales, y su capacidad para describir cuantitativamente el comportamiento del sector agrícola de una región o de un país. El índice que se utilizó necesita ser afinado con la integración de indicadores adicionales y la definición de pesos diferenciales a los indicadores para reflejar adecuadamente su relevancia y su dinámica (Berroterán y Zinck, 2000).

En general, se necesitan todavía esfuerzos para integrar los varios enfoques metodológicos en un marco coherente, que permita navegar a través de los niveles jerárquicos del macrosistema agrícola y tomar en cuenta los muchos requerimientos involucrados en un modelo holístico de la sustentabilidad.

#### **EL CONOCIMIENTO INDÍGENA Y EL MANEJO DE SUELOS**

En las sociedades rurales tradicionales, la coevolución entre ecosistema y sociosistema dio a los campesinos/agricultores un conocimiento profundo sobre manejo de suelos. Partiendo de esta realidad, se analizaron prácticas y sistemas integrados de manejo de suelos y aguas, que han demostrado su sustentabilidad gracias a una coevolución milenaria, en la provincia de Hamadan, Irán occidental (Farshad y Zinck, 1998). Paralelamente, se le dedicó especial atención a la definición del campo conceptual y metodológico de la etnopedología, la disciplina que estudia el conoci-

miento local (o indígena) de suelos (Barrera-Bassols, 2003; Barrera-Bassols y Zinck, 2003).

La etnopedología, una disciplina híbrida alimentada por las ciencias naturales y sociales, abarca todos los sistemas cognitivos de suelos y tierras en comunidades rurales, desde los más tradicionales hasta los modernos. Inicialmente, los estudios etnográficos clásicos concentraban su atención en el análisis lingüístico de los sistemas locales de clasificación de suelos y tierras, mientras que el enfoque comparativo se proponía establecer similitudes y diferencias entre conocimiento local e información científica. Más recientemente, el interés cambió y se dirigió hacia un enfoque más integral, que hace hincapié en el contexto cultural como base para la definición de modelos del manejo sustentable de suelos a nivel local. La investigación etnopedológica cubre un amplio abanico de tópicos, centrados alrededor de cuatro áreas mayores: (1) la formalización del conocimiento local sobre suelos y tierras en esquemas de clasificación, (2) la comparación entre clasificaciones de suelos locales y técnicas, (3) la descripción de los sistemas locales de evaluación de tierras, y (4) la evaluación de prácticas de manejo agroecológicas.

La situación actual de la etnopedología a nivel mundial se evaluó con base en una compilación de 895 referencias con respecto a la abundancia, la distribución y la diversidad de los estudios etnopedológicos (EPS) (Barrera-Bassols y Zinck, 2000). Los EPS recopilados se distribuyen en 61 países, esencialmente en África, América y Asia, y abarcan 217 grupos étnicos. Su densidad geográfica se correlaciona positivamente con la diversidad lingüística y la diversidad biológica. La mayoría de los EPS se ejecutó en zonas agroecológicas frágiles, donde las comunidades locales han desarrollado sistemas complejos de manejo de tierras y aguas para compensar la escasez de recursos. Entre los tres componentes principales de la etnopedología, los sistemas cognitivos locales (Corpus) y los sistemas de manejo locales (Praxis) han recibido hasta ahora

más atención que los sistemas locales de creencias y percepción (Kosmos). Si la investigación etnopedológica le diera más importancia a la cosmovisión de las comunidades locales, los EPS podrían mejorar su contribución a la formulación e implementación de los programas de desarrollo rural.

#### LOS SUELOS EN LA PLANIFICACIÓN DEL USO DE LAS TIERRAS

La planificación del uso de las tierras puede abordarse desde diferentes perspectivas. Se trata claramente de un área multidisciplinaria, que necesita la contribución concertada de una variedad de especialistas. Hay una tajada de suelos en el pastel, y ésta es la brecha que hemos tratado de ocupar con el propósito de contribuir a la planificación física a nivel local y al análisis de los conflictos de uso de las tierras a nivel regional. La planificación física en áreas rurales necesita información edáfica para agricultura, instalaciones sanitarias y obras de ingeniería civil, entre otras aplicaciones. Diseñar y desarrollar un sistema de riego, por ejemplo, necesita información de suelos para la selección de cultivos, método y frecuencia de riego. La construcción de un centro poblado para los regantes requiere información de suelos para casas, carreteras, rellenos sanitarios y campos de absorción de los pozos sépticos (Zinck, 1990).

Otro tipo de ambiente donde la información edáfica demostró ser de mucha utilidad son las áreas periurbanas, por donde las ciudades se expanden rápida y desordenadamente, en general a expensas de tierras agrícolas de primera calidad. Las periferias urbanas son áreas volátiles, donde ocurren cambios repentinos y no planificados en el uso de las tierras. En una economía de mercado global, planificar la ocupación del suelo puede resultar ser una actividad frustrante, ya que el uso de las tierras se encuentra controlado por el comportamiento de los mercados financieros. Aún con estas limitaciones, la informa-

ción de suelos es útil para detectar conflictos de uso, evaluar las aptitudes de las tierras para uso agrícola y uso urbano, establecer escenarios de uso de las tierras y proponer esquemas de usos preferidos. Se desarrolló un estudio de este tipo en la periferia occidental de Caracas, Venezuela (Rodríguez, 1995).

#### LOS PROCESOS Y LOS RIESGOS AMBIENTALES INDUCIDOS POR SUELOS

Las propiedades edáficas y la posición de los suelos en el paisaje determinan su susceptibilidad a ser dañados por procesos como son la erosión laminar, la incisión de cárcavas y los movimientos en masa.

##### LA EROSIÓN LAMINAR

La erosión laminar es mucho menos espectacular que la erosión por cárcavas o por deslizamientos, pero contribuye al truncamiento de los suelos años tras años, por lo que causa pérdidas considerables de la capa arable. Para entender los mecanismos involucrados en la erosión laminar y evaluar la magnitud de la pérdida de suelo que ocasiona, un enfoque adecuado consiste en caracterizar el comportamiento del suelo en pequeñas parcelas experimentales sometidas a lluvia artificial. Esto permite medir con precisión la contribución de la precipitación pluvial y del escurrimiento superficial, a la producción de sedimentos. Los resultados así obtenidos pueden extrapolarse a la totalidad de una cuenca hidrográfica con base en un mapa de suelos. Se ejecutó un estudio de esta naturaleza en la región semiárida de Maroua, en el norte de Camerún (Mainam y Zinck, 1998; Mainam, 1999; Mainam *et al.*, 2002).

##### LA EROSIÓN POR CÁRCAVAS

Los mecanismos que intervienen en la erosión por cárcavas todavía no se entienden cabalmente, lo



## LOS MOVIMIENTOS EN MASA

De manera similar a la formación de cárcavas, los movimientos en masa todavía escapan sustancialmente a la modelización determinística. Las propiedades del suelo (físicas, mecánicas, químicas y biológicas) controlan en gran parte la susceptibilidad intrínseca de la cobertura edáfica a la erosión por movimientos en masa (Zinck *et al.*, 2001). Este estrecho control permitió establecer relaciones de causa-efecto y preparar mapas de severidad de riesgos, a partir de una

combinación de información geomorfológica y edáfica, en las altiplanicies del centro de México (Bocco, 1990) y en los Andes colombianos (López y Zinck, 1991).

que vuelve engorrosa la definición determinista de modelos (Zinck *et al.*, 2001). Una cárcava, por ejemplo, puede iniciarse a partir de un entalle de surco, de un deslizamiento del suelo, o inclusive a partir de un conducto subterráneo de sufusión. La fusión de datos de teledetección para el reconocimiento de rasgos en la superficie del terreno y la modelización cartográfica en SIG ofrecen interesantes posibilidades para vencer las limitaciones de la modelización determinística. En la cuenca de Cochabamba, ubicada en la cordillera oriental de los Andes bolivianos, se logró discriminar áreas con cárcavas de otros rasgos de superficie gracias a la fusión de datos de Landsat TM y de JERS-1 SAR (Metternicht y Zinck, 1998). La exploración de relaciones de causa-efecto entre factores ambientales y cárcavas resultantes permite identificar los factores más favorables a la formación de cárcavas y sus valores umbrales. Estos valores pueden incorporarse en sistemas expertos para detectar áreas potencialmente susceptibles al entalle de cárcavas. Se implementó un enfoque de este tipo en dos pasos, exploratorio-predictivo, para evaluar el riesgo de erosión por cárcavas en un área de altiplanicie de la faja volcánica trans-mexicana en el centro de México (Vázquez-Selem y Zinck, 1994).

## LA FRAGILIDAD Y VULNERABILIDAD DE ECOSISTEMAS NATURALES

Los ecosistemas tropicales son intrínsecamente frágiles y altamente vulnerables a tensores externos. En estas condiciones, las intervenciones humanas inadecuadas pueden causar daños irreversibles. Las sabanas de arenas blancas sobre podzoles gigantes en la cuenca amazónica son muy vulnerables a la construcción de carreteras, mientras que los suelos rojos de baja fertilidad natural son muy vulnerables a la sedentarización de tribus nómadas, que practican la tradicional agricultura itinerante de roza-tumba-quema. Se analizó el impacto de acciones de este tipo en la Amazonía venezolana (Bastidas de Calderón, 1998; Bastidas y Zinck, 1998).

## EL BALANCE DE EROSIÓN-SEDIMENTACIÓN A NIVEL DE CUENCA

Un estudio en el Himalaya de Nepal central permitió determinar relaciones dinámicas entre áreas de erosión, almacenamiento (entrapamiento) y

sedimentación en la cuenca del río Trisuli (Shrestha, 2000). En las altas montañas, la producción de sedimentos por movimientos en masa y erosión glaciar se encuentra controlada esencialmente por procesos naturales de ablación, sin intervención humana. Las cuencas de las montañas medias, densamente pobladas y utilizadas intensivamente para el cultivo de arroz en terrazas, se comportan como sistemas cerrados, que retienen *in situ* una amplia proporción de los sedimentos producidos. Los sedimentos, que vienen de las altas montañas a través de grandes ríos troncales, causan degradación de tierras en las cuencas bajas debido al azolvamiento de los sistemas de riego y de su infraestructura de bombeo, conducción y distribución de agua.

#### LOS SUELOS Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

Los cambios climáticos, un tema de gran preocupación para la sociedad, pueden ser analizados desde varias perspectivas. El conocimiento de los cambios climáticos del pasado ayuda a predecir eventos futuros. La información edáfica puede contribuir a mejorar este conocimiento, ya que los suelos registran fielmente las condiciones climáticas vigentes en el pasado. Se abordó este tema a través de la datación radiocarbónica de paleosuelos, que cubren el Pleistoceno superior y el Holoceno en diferentes tipos de ambientes: turbas (Histosoles) en las altas mesetas (*tepuies*) de la Amazonía venezolana (Zinck *et al.*, en proceso), secuencias de loess-paleosuelos en los Andes secos y la planicie del Chaco en el noroeste de Argentina (Zinck y Sayago, 1999, 2001), y paleodunas en la cuenca del río Branco, en el norte de la Amazonía brasileña (Carneiro Filho y Zinck, 1994).

#### CONCLUSIÓN

Combinando técnicas convencionales de levantamiento (con datos de campo y de laboratorio),

teledetección, y procesamiento y modelización de datos en SIG, el inventario de suelos está en condiciones de suministrar una valiosa información para el manejo de suelos, la planificación del uso de las tierras y la evaluación de los riesgos ambientales.

#### BIBLIOGRAFÍA

- Barrera-Bassols, N. 2003. Symbolism, knowledge and management of soil and land resources in indigenous communities: ethnopedology at global, regional and local scales. Tesis doctoral. Ghent University, Ghent, Bélgica. Dos volúmenes, 796 pp.
- Barrera-Bassols, N. y J.A. Zinck. 2000. Ethnopedology in a worldwide perspective: An annotated bibliography. ITC Publication 77. ITC, Enschede, Holanda, 636 pp.
- . 2003. Ethnopedology: a worldwide view on the soil knowledge of local people. *Geoderma* 111: 171-195.
- Bastidas de Calderón, M. 1998. Environmental fragility and vulnerability assessment of Amazonian landscapes and ecosystems in the middle Orinoco River Basin, Venezuela. Tesis doctoral, Ghent University, Ghent, Bélgica, 394 pp.
- Bastidas, M. y J.A. Zinck. 1998. The vulnerability of fragile ecosystems in the Venezuelan Amazon. Impact assessment of road construction. Proceedings 16<sup>th</sup> World Congress of Soil Science, Symposium 36, Montpellier, France. 7 pages, CD-ROM.
- Berroterán, J.L. y J.A. Zinck. 2000. Indicadores de la sostenibilidad agrícola nacional cerealera. Caso de estudio: Venezuela. *Revista Facultad de Agronomía. Universidad del Zulia, Maracaibo, Venezuela* 17: 138-154.
- Bocco, G., 1990. *Gully erosion analysis using remote sensing and geographic information systems. A case study in Central Mexico*. University of Amsterdam, Amsterdam, Holanda, 130 pp.
- Carneiro Filho, A. y J.A. Zinck. 1994. Mapping paleo-aeolian sand cover formations in the northern Amazon Basin from TM image. *ITC Journal* 1994-3: 270-282.

- Dregne, H.E. 1990. Erosion and soil productivity in Africa. *Journal of Soil and Water Conservation* 45: 431-436.
- Dregne, H.E. y N.T. Chou. 1994. Global desertification dimensions and costs. En: H.E. Dregne (ed.). *Degradation and Restoration of Arid Lands*. Texas Technical University, Lubbock, EE.UU.
- Farshad, A. 1997. Analysis of integrated soil and water management practices within different agricultural systems under semiarid conditions of Iran and evaluation of their sustainability. Tesis doctoral, Ghent University, Ghent, Bélgica. ITC Dissertation 57, Enschede, Holanda, 395 pp.
- Farshad, A. y J.A. Zinck. 1993. Seeking agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 47: 1-12.
- . 1998. Traditional irrigation water harvesting and management in semiarid western Iran: a case study of the Hamadan region. *Water International* 23: 146-154.
- . 2000. Assessing agricultural sustainability using the six-pillar model: Iran as a case study. En: S.R. Gliessman (ed.). *Agroecosystem sustainability: Developing practical strategies*. CRC Press, Boca Raton, EE.UU. Pp.137-151.
- Flores, E., 1997. Monitoring land use changes and comparing soil physical properties between arable and forest land in the western Chaco plain, NW Argentina. Tesis de maestría, ITC, Enschede, Holanda, 151 pp.
- Ghassemi, F., A.J. Jakeman y H.A. Nix. 1995. *Salinisation of land and water resources: human causes, extent, management and case studies*. The Australian National University, Canberra, Australia y CAB International, Wallingford, Oxon, Gran Bretaña.
- Gill, W.R. 1971. *Economic assessment of soil compaction*. ASAE Monograph, St. Joseph, EE.UU.
- ITC-INGEMA (en proceso). Land use change and land degradation in the western Chaco plain, Tucuman province, northwest Argentina. Project Report.
- Lal, R. 1998. Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality. *Critical Reviews in Plant Sciences* 17: 319-464.
- López, H.J. y J.A. Zinck. 1991. GIS-assisted modelling of soil-induced mass movement hazards: a case study of the upper Coello river basin, Tolima, Colombia. *ITC Journal* 4: 202-220.
- Mainam, F., 1999. Modelling soil erodibility in the semi-arid zone of Cameroon. Assessment of interrill erodibility parameters for mapping soil erosion hazard by means of GIS techniques in the Gawar area. Tesis doctoral, Ghent University, Ghent, Bélgica. ITC Dissertation 67, Enschede, Holanda, 387 pp.
- Mainam, F. y J.A. Zinck. 1998. Erodibility assessment of selected soils in northern Cameroon using a field rain simulator. Proceedings 16<sup>th</sup> World Congress of Soil Science, Symposium 31, Montpellier, France. 7 páginas, CD-ROM.
- Mainam, F., J.A. Zinck y E. Van Ranst. 2002. Modelling interrill soil erosion in the semiarid zone of Cameroon. Proceedings 17<sup>th</sup> World Congress of Soil Science, Bangkok, Thailand, Symposium 23, Paper 37: 1-9, CD-ROM.
- Martínez, L.J. y J.A. Zinck. 1994. Modelling spatial variations of soil compaction in the Guaviare colonization area, Colombian Amazonia. *ITC Journal* 1994-3: 252-263.
- Martínez, L.J. y J.A. Zinck. 2004. Temporal variation of soil compaction and deterioration of soil quality in pasture areas of Colombian Amazonia. *Soil & Tillage Research* 75: 3-17.
- Metternicht, G., 1996. Detecting and monitoring land degradation features and processes in the Cochabamba valleys, Bolivia. A synergistic approach. Tesis doctoral, Ghent University, Ghent, Bélgica. ITC Dissertation 36, Enschede, Holanda, 390 pp.
- Metternicht, G.I., Zinck, J.A., 1996. Modelling salinity-alkalinity classes for mapping salt-affected topsoils in the semiarid valleys of Cochabamba (Bolivia). *ITC Journal* 1996-2: 125-135.
- . 1997. Spatial discrimination of salt- and sodium-affected soil surfaces. *International Journal of Remote Sensing* 18(12): 2,571-2,586.
- . 1998. Evaluating the information content of JERS-1 SAR and Landsat TM data for discrimination of soil

- erosion features. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 53: 143-153.
- . 2003. Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints. *Remote Sensing of Environment* 85: 1-20.
- Moameni, A. 1999. Soil quality changes under long-term wheat cultivation in the Marvdasht plain, South-Central Iran. Tesis doctoral, Ghent University, Ghent, Bélgica, 284 pp.
- Moameni, A. y J.A. Zinck. 1997. Application of statistical quality control charts and geostatistics to soil quality assessment in a semi-arid environment of south-central Iran. En: Conf. Geo-Information for Sustainable Land Management, ITC, Enschede, Holanda, CD-ROM.
- . 1999. Data integration for assessing agricultural soil degradation in south central Iran. En: Proceedings Intern. Conf. on Geoinformatics for Natural Resource Assessment, Monitoring and Management, IIRS, Dehradun, India, pp. 33-51.
- Movillon, M., B. Richards y H. Tumawis. 2001. What happens on earth in one minute? En: E.M. Bridges, I.D. Hannam, L.R. Oldeman., F.W.T Penning de Vries, S.J. Scherr, y S. Sombatpanit (eds.). *Response to Land Degradation*. Science Publishers Inc., Enfield, NH, EE.UU.
- Naseri, M. 1998. Characterization of salt-affected soils for modelling sustainable land management in semiarid environment. A case study in Gorgan Region, North-east Iran. Tesis doctoral, Ghent University, Ghent, Belgium. ITC Dissertation 52 (2001), Enshede, The Netherlands, 321 pp.
- Oldeman, L.R. 1994. The global extent of land degradation. En: D.J. Greenland e I. Szabolcs (eds.). *Land Resilience and Sustainable Land Use*. CABI, Wallingford, pp. 99-118.
- Purnell, M.F. 1995. Soil survey information supply and demand: international policies and stimulation programmes. FAO, World Soil Resources Report 80, Roma, pp. 30-35.
- Rodríguez, O. 1995. Land use conflicts and planning strategies in urban fringes. A case study of western Caracas, Venezuela. Tesis doctoral, Ghent University, Ghent, Bélgica. ITC Dissertation 27, Enschede, Holanda, 266 pp.
- Saldaña, A. 1997. Complexity of soils and soilscape patterns on the southern slopes of the Ayllon Range, Central Spain. A GIS-assisted modelling approach. Tesis doctoral, University of Amsterdam, Amsterdam, Holanda. ITC Dissertation 49, Enschede, Holanda, 251 pp.
- Saldaña, A., A. Stein y J.A. Zinck. 1998. Spatial variability of soil properties at different scales within three terraces of the Henares river (Spain). *Catena* 33: 139-153.
- Shrestha, D. 2000. Aspects of erosion and sedimentation in the Nepalese Himalaya: highland-lowland relations. Tesis doctoral, Ghent University, Ghent, Bélgica. ITC Dissertation 77, Enschede, Holanda, 265 pp.
- UNEP. 1994. Land degradation in South Asia: its severity, causes and effects upon the people. FAO, World Soil Resources Report 78, Roma.
- Vázquez-Selem, L. y J.A. Zinck. 1994. Modelling gully distribution on volcanic terrains in the Huasca area, Central Mexico. *ITC Journal* 1994-3: 238-251.
- Wöhl-Coelho, O. 1999. Modelamento da degradação de latossolos na Região de Fortaleza dos Valos, Rio Grande do Sul: uma aplicação SIG/sensoriamento remoto. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 165 pp.
- Wokabi, S. 1994. Quantified land evaluation for maize yield gap analysis at three sites on the eastern slope of Mount Kenya. Tesis doctoral, Ghent University, Ghent, Bélgica. ITC Dissertation 26, Enschede, Holanda, 289 pp.
- Zinck, J.A. 1990. Soil Survey: epistemology of a vital discipline. *ITC Journal* 1990-4: 335-351.
- Zinck, J.A., J.L. Berroterán, A. Farshad, A. Moameni, S. Wokabi y E. Van Ranst. 2004. Approaches to assessing sustainable agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture* 23 (4): 87-109.
- Zinck, J.A. y A. Farshad. 1995. Issues of sustainability and sustainable land management. *Canadian Journal of Soil Science* 75: 407-412.

- Zinck, J.A., P. García y O. Huber (en proceso). Characterization and radiocarbon dating of peat soils in the highlands of the Venezuelan Amazonia.
- Zinck, J.A., J. López, G.I. Metternicht, D.P. Shrestha y L. Vázquez-Selem. 2001. Mapping and modelling mass movements and gullies in mountainous areas using remote sensing and GIS techniques. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, JAG 3 (2001-1): 43-53.
- Zinck, J.A. y J.M. Sayago. 1999. Loess-paleosol sequence of la Mesada in Tucuman province, northwest Argentina. Characterization and paleoenvironmental interpretation. *Journal of South American Earth Sciences* 12 (1999): 293-310.
- . 2001. Climatic periodicity during the late Pleistocene from a loess-paleosol sequence in northwest Argentina. *Quaternary International* 78 (2001): 11-16.
- Zinck, J.A., Valenzuela, C.R., 1990. Soil geographic database: structure and application examples. *ITC Journal* 1990-3: 270-294.




---

Este artículo se recibió el 25 de noviembre de 2004; se revisó el 5 de febrero de 2005 y su revisión final se aceptó el 20 de junio de 2005. Este trabajo fue publicado originalmente en Francisco Bautista y Gerardo Palacios (eds.). 2005. *Caracterización y manejo de los suelos de la Península de Yucatán: implicaciones agropecuarias, forestales y ambientales*. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán, INE-SEMARNAT, CONACYT, México. Pp. 9-19.  
Las imágenes son de Rene Asmussen y Thomas Barbèy.

# La geografía física y el ordenamiento ecológico del territorio. Experiencias en México

GERARDO BOCCO,<sup>1</sup> ÁNGEL PRIEGO<sup>2</sup> Y HELENA COTLER<sup>1</sup>

<sup>1</sup> INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA. CORREO-E: GBocco@INE.GOB.MX Y HCOTLER@INE.GOB.MX

<sup>2</sup> INSTITUTO DE GEOGRAFÍA DE LA UNAM. CORREO-E: AGPRIEGO@IGIRIS.IGEOGRAF.UNAM.MX

**Resumen.** En este trabajo se describen algunas experiencias, desarrolladas en el INE, vinculadas con la geografía física y la planificación territorial. En primer lugar se presenta brevemente el sustento conceptual de la contribución de la geografía física al proceso de ordenamiento territorial. En segundo lugar, se describen algunas experiencias desarrolladas en términos de: (a) regionalización eco-geográfica; (b) ordenamiento territorial en cuencas fluviales, (c) patrones geográficos del cambio global e indicadores y (d) la cartografía digital, bases de datos y los sistemas de información geográfica. Finalmente se extraen algunas conclusiones a partir de la reflexión alcanzada.

**Palabras clave:** geografía física, planificación territorial, ordenamiento ecológico, política pública, México

**Abstract.** *In this paper we describe the use of physical geography as applied to land-use planning in Mexico. First, we briefly address the conceptual framework offered by the discipline in terms of its use in planning. Second, we describe several experiences developed at the National Institute of Ecology. Last, we draw some conclusions dealing with the role of physical geography in the applied realm in Mexico.*

**Keywords:** *physical geography, land-use planning, public policy, Mexico*



## INTRODUCCIÓN

### EL CONTEXTO

La geografía física se encuentra en la etapa de formular significados para el nuevo milenio (véase, por ejemplo, Trudgill y Roy, 2003). Junto con la geografía

humana, la otra porción del saber geográfico, la geografía física se enfrenta al dilema de tener que contribuir, por un lado, a la empresa científica de la



ciencia geográfica, y por otro, de participar en forma activa en los paradigmas integradores vinculados con el desarrollo sustentable. Entre otros, destacan aquí el cambio global y sus implicaciones regionales (desastres, vulnerabilidad), la conservación de la diversidad biológica con base en su distribución territorial, y la planificación del uso del territorio a partir del análisis de paisaje. Si el objetivo de la geografía es, en líneas generales, el comprender cómo los fenómenos están organizados en el territorio, el de la geografía física es determinar por qué los fenómenos naturales presentan patrones territoriales específicos. La naturaleza holística de la geografía, y por ende de la geografía física, es a la vez una fortaleza y una debilidad. La fortaleza radica en la habilidad de vincular relaciones funcionales que no resultan claras para campos monodisciplinarios. La debilidad más obvia es el riesgo a la superficialidad y a no superar, en su actividad científica, el ámbito de la descripción. Además de estudiar los patrones espaciales del clima, formas del relieve y suelo asociado, biota y agua, la geografía física analiza las interrelaciones entre estos fenómenos y las actividades humanas, algo que Pidwirny (2004) ha caracterizado como la vertiente humanista-paisajista (*human-land tradition*) en la disciplina. Este enfoque ha cobrado creciente relevancia debido al sostenido impacto de la actividad antrópica sobre los paisajes y los ecosistemas allí albergados. Así, desde la década de 1950, el campo disciplinario se ha visto controlado por dos tendencias centrales (pero vinculadas entre sí): una eminentemente orientada al análisis de procesos, cuantitativa, y otra más abocada al análisis espacial de la influencia de la actividad humana sobre el ambiente. La planificación territorial (y la modalidad mexicana de ordenamiento ecológico) se enmarcan en esta segunda tendencia, así como la evaluación del impacto ambiental, la vulnerabilidad a los desastres, el cambio de uso del suelo y la deforestación, entre otros.

#### EL ALCANCE DE LA ACTIVIDAD ACADÉMICA

Un indicador de la relevancia de la actividad de la geografía física en la planificación puede ser el número de sitios reportados en Internet que se refieren al tema, tanto en lo que respecta a publicaciones como agencias y universidades. Utilizando un buscador estándar ([www.google.com](http://www.google.com), 2004), el número de sitios reportado fue de algo más de 500,000 (en tanto que para geografía física solamente, la búsqueda arrojó un total de poco más de 2,500,000 referencias). Estos números no son despreciables, si se considera que la búsqueda utilizando, como ejemplo, el tema recursos naturales, de enorme amplitud y alcance, arrojó un total de 7,000,000 de sitios. Aplicando un buscador de tipo científico, la búsqueda arrojó casi 4,300 documentos de diversa índole en revistas especializadas (de los cuales 58 se refieren de manera específica a la contribución de la disciplina a la planificación territorial en revistas indizadas). Este último grupo obviamente no describe toda la actividad de la disciplina, ya que en muchos casos los artículos que resultan de investigación en el tema no incluyen los términos geografía física como palabras clave, o son publicados en revistas no indizadas. Sin embargo, su revisión sugiere algunos patrones interesantes en cuanto al alcance de la actividad, tal y como se describe en estas publicaciones. Si bien la enorme mayoría de los autores son miembros de departamentos universitarios de geografía, en prácticamente todos los casos, publicaron en colaboración con miembros de otros departamentos científicos. Asimismo, la mayor parte de las revistas en que aparecieron estos artículos no son específicamente de geografía física, y más bien corresponden a ámbitos diversos, que incluyen temas tales como estudios rurales, política pública, desarrollo, gestión ambiental, manejo de costas y océanos, y paisaje. Ambas características sugieren que los practicantes de la disciplina operan y colaboran en diversos ambientes científicos, y no

sólo en la matriz geográfica. Éste pareciera ser un rasgo saludable y estimulante.

#### EL PROPÓSITO DE LA CONTRIBUCIÓN

En México la geografía física ha contribuido en forma sistemática a las dos tendencias centrales mencionadas arriba, particularmente desde el ambiente académico, con diversos grados de éxito (medido en términos de las publicaciones internacionales sobre el tema). En lo que respecta al ordenamiento territorial, como política pública, buena parte de los esfuerzos se han plasmado en desarrollos técnicos en diferentes órdenes del gobierno, tanto federal como estatal. Destacan por su magnitud, desde hace al menos diez años, las experiencias en la Secretaría de Desarrollo Social (Sedesol), en el marco de los planes de desarrollo urbano y ordenación territorial, y en la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), en el marco del ordenamiento ecológico.

En este trabajo se describirán algunas experiencias, desarrolladas en el Instituto Nacional de Ecología (órgano técnico de la SEMARNAT), vinculadas con la geografía física y la planificación territorial. No se intenta analizar en forma exhaustiva las aplicaciones de la geografía física al tema en México. Sólo algunas que permitan ponderar el grado de desarrollo de la disciplina en relación con los aspectos biofísicos del ordenamiento ecológico territorial desde la perspectiva de la política pública ambiental.

El resto del trabajo está estructurado de la siguiente manera. En primer lugar se describe brevemente el sustento conceptual de la contribución de la geografía física al proceso de ordenamiento territorial en México. En segundo lugar, se describen algunas experiencias desarrolladas en términos de: (a) regionalización eco-geográfica; (b) ordenamiento territorial en cuencas fluviales, (c) patrones geográficos del cambio global e indicadores y (d) cartografía digital, bases de datos y sistemas de información geográfica. Finalmente se

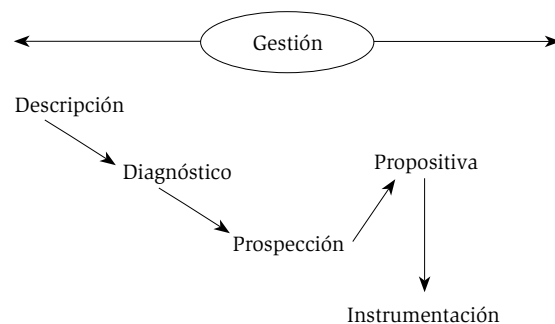
extraen algunas conclusiones acerca de los pasos a seguir a partir de la reflexión alcanzada.

#### LOS APORTES DE LA GEOGRAFÍA FÍSICA AL ORDENAMIENTO TERRITORIAL

Durante los últimos 25 años, la huella antrópica en el ambiente mexicano es notoria en el intenso cambio de uso del suelo y subsecuente deterioro: la deforestación ha sido estimada en 545,000 ha/año (Mas *et al.*, 2004); más del 70% de los suelos presenta algún tipo de degradación (Semarnat-Colegio de Posgraduados, 2002); más del 15% de los acuíferos del país se encuentran sobreexplotados, y más del 73% de las aguas superficiales tiene algún grado de contaminación (CNA, 2001). Esta situación sugiere un uso inapropiado de los recursos, los cuales deberían ser aprovechados en forma sustentable. Este proceso supone el ordenamiento ecológico del territorio, que tiene como punto de partida la regionalización biofísica o ecológica del mismo, es decir, la delimitación de espacios geográficos relativamente homogéneos en función del medio físico y biológico (figura 1).

Con la participación de la sociedad y del estado en forma articulada, el objetivo del ordenamiento territorial es garantizar que el uso de los recursos naturales, en un espacio específico, sea armónico y

FIGURA 1. ETAPAS EN EL ORDENAMIENTO ECOLÓGICO DEL TERRITORIO EN MÉXICO





duradero en el tiempo. El ordenamiento del territorio es a la vez un proceso técnico, político y jurídico. En México, el ordenamiento ecológico del territorio (que corresponde al ordenamiento ambiental o a la dimensión ambiental de la planificación territorial en otros países de América Latina) está consagrado en una ley general y su reglamento. El manejo integrado de cuencas, por su parte, es también una herramienta de planificación territorial, aunque en México no exista una figura jurídica o administrativa de respaldo. El manejo o gestión integrada de una cuenca fluvial supone planificación. De este modo, ambos procesos son perfectamente articulables a través de la ordenación del uso de los recursos en el territorio que denominamos cuenca fluvial.

La geografía física es una de las disciplinas que ofrece conocimiento científico a los procesos de planificación del territorio. Tal vez el aspecto central de esta contribución sea la perspectiva territorial, espacial, ofrecida por la geografía física, que es esencial al ordenamiento y la gestión de cuencas. Los temas

clave (no los únicos) donde existe un aporte de esta disciplina tienen que ver con la regionalización y delimitación de unidades de paisaje, así como con la evaluación de sus propiedades o atributos (oferta ambiental) y sus limitaciones (riesgos, vulnerabilidad territorial). A continuación describimos algunas aplicaciones concretas de la geografía física, a modo de ejemplificar, para la política pública ambiental, el enfoque mencionado.

#### **LA REGIONALIZACIÓN. ESCALAS Y APLICACIONES**

La integración y el análisis de las unidades espaciales que describen tanto los componentes relativamente estables del terreno (roca, forma del relieve y suelo, en forma integrada), como los menos estables, cuya tasa de cambio en el tiempo es más alta (vegetación y uso del suelo, fauna) sigue siendo tema de reflexión y discusión en el ámbito de la geografía física y, en particular, de la cartografía geomorfológica (Geissert, 1999; Bocco *et al.*, 2001). En ese sentido, son varios los esfuerzos de cartografía de formas del relieve a nivel nacional. Existe el sistema fisiográfico de INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, autoridad censal y cartográfica de México) (Quiñónez, 1987), el cual considera seis niveles jerárquicos; el levantamiento fisiográfico del Colegio de Posgraduados (Ortiz y Cuanalo, 1978), con ocho niveles jerárquicos; la cartografía de unidades geológico-geomorfológicas a escala 1:12,000,000 (Lugo y Córdova, 1990) donde se enfatizan procesos exógenos como modeladores del relieve, y la regionalización geomorfológica de índole genética, desarrollada por Ortiz (1997) bajo el auspicio del INE (ver la base de datos correspondiente en [www.ine.gob.mx](http://www.ine.gob.mx)). En la misma dependencia se ha desarrollado cartografía sistemática de algunos índices morfométricos del relieve, que sirven como base, a escala regional, para varios esfuerzos subsecuentes de mapeo de formas del terreno.

La caracterización morfométrica del relieve es esencial en el conocimiento físico-geográfico de un territorio, en particular aquellos con marcadas diferencias altitudinales. En México, la morfometría se ha utilizado como base para el levantamiento geomorfológico (ver, entre otros, Lugo *et al.*, 1985). Existen más de 30 índices morfométricos del relieve, pero entre ellos tres resultan básicos: el ángulo de inclinación de las pendientes, la disección horizontal y la disección vertical del relieve. Estos tres índices se han cartografiado, para todo México, a escala 1:250,000, a partir del procesamiento de modelos digitales de terreno originados a la misma resolución por INEGI (ver Priego *et al.*, 2003a).

La cuantificación de la inclinación de las pendientes permite zonificar las laderas en forma objetiva, y además resulta un criterio básico para la evaluación de la aptitud territorial (o potenciales naturales), y en la diferenciación de unidades de paisajes.

La disección horizontal es un índice erosivo natural que expresa la densidad de drenaje por unidad de área; permite realizar inferencias sobre el control litológico y los efectos de las precipitaciones en la superficie terrestre. La disección vertical ofrece información valiosa sobre la energía del relieve y la magnitud de las pulsaciones geotectónicas; permite determinar los tipos morfométricos del relieve, lo cual es imprescindible en la elaboración de los mapas de paisajes y en la comprensión de la relación proceso-forma del relieve. Asimismo, se han diferenciado las cuencas hidrográficas y la red de drenaje, a la misma escala. Todo el material está disponible para dominio público vía Internet ([www.inegob.mx](http://www.inegob.mx)).

El cuadro 1 presenta los resultados de la clasificación morfométrica del relieve mexicano. Esta información facilita la evaluación del relieve con respecto a diferentes actividades socioeconómicas (ver, por ejemplo, el caso de la cuenca Lerma-Chapala en

Priego-Santander *et al.*, 2003b, y consultar las bases de datos en [www.inegob.mx](http://www.inegob.mx)).

El cuadro 2 ofrece criterios de evaluación del relieve para la actividad agropecuaria (con exclusión de los sistemas agrícolas tradicionales) a partir de los cuales se puede valorar una porción del territorio con respecto a esta actividad productiva. Aun cuando tales criterios no fuesen suficientes ni apropiados para todas las porciones del territorio nacional, ni para todos los sistemas productivos, a partir de ellos se puede obtener una primera aproximación susceptible de verificación y profundización.

#### LAS UNIDADES DE PAISAJE PARA LA EVALUACIÓN DE APTITUD PRODUCTIVA Y LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA

Desde un punto de vista biofísico, los paisajes son unidades integrales de la superficie terrestre relativamente homogéneas en su estructura y composición (Mateo, 2002), lo cual hace que sean adecuadas como objetos de evaluación para el ordenamiento ecológico. En México son diversos los ejemplos en que se ha ocupado el mapa de paisajes como base para la zonificación funcional socioeconómica que supone un ordenamiento territorial. PLADEYRA (2000) partió del mapa de paisajes para el ordenamiento territorial de la cuenca del río Filobobos, en Veracruz. Aquí, los paisajes sirvieron de marco geográfico para el cálculo de los potenciales naturales para diferentes actividades socioeconómicas (turismo y ecoturismo, forestal, agrícola y pecuaria). Este procedimiento contribuye a analizar el uso potencial o vocación de uso de una unidad cartográfica en función de sus características y de los requerimientos de uno o varios sistemas productivos seleccionados.

El cuadro 3, sin pretender agotar el tema, lista algunas ventajas y desventajas del empleo de los paisajes para la evaluación de actividades productivas y como base para el ordenamiento ecológico. Quizás, una de las ventajas más valiosas del enfoque de pai-

CUADRO 1. CLASIFICACIÓN MORFOMÉTRICA DEL RELIEVE DE MÉXICO A ESCALA 1:250,000

ÍNDICE MORFOMÉTRICO	RANGO	CLASIFICACIÓN
Disección vertical (m/km <sup>2</sup> )	< 2.5	Llanuras planas
	2.5-5	Llanuras onduladas ligeramente diseccionadas
	5-10	Llanuras onduladas medianamente diseccionadas
	10-15	Llanuras onduladas fuertemente diseccionadas
	15-20	Colinas (llanuras colinosas) ligeramente diseccionadas
	20-30	Colinas (llanuras colinosas) medianamente diseccionadas
	30-40	Colinas (llanuras colinosas) fuertemente diseccionadas
	40-60	Lomeríos ligeramente diseccionados
	60-80	Lomeríos medianamente diseccionados
	80-100	Lomeríos fuertemente diseccionados
	100-250	Montañas ligeramente diseccionadas
	250-500	Montañas medianamente diseccionadas
	500-1000	Montañas fuertemente diseccionadas
> 1000	Montañas extraordinariamente diseccionadas	
Ángulo de inclinación de las pendientes (°)	< 1	Pendientes planas
	1-3	Pendientes muy suavemente inclinadas
	3-5	Pendientes suavemente inclinadas
	5-10	Pendientes ligeramente inclinadas
	10-15	Pendientes ligera a medianamente inclinadas
	15-20	Pendientes medianamente inclinadas
	20-30	Pendientes fuertemente inclinadas
	30-45	Pendientes muy fuertemente inclinadas
	> 45	Pendientes abruptas
Disección horizontal (km/km <sup>2</sup> )	< 0.3	Superficies muy suavemente diseccionadas
	0.3-1	Superficies suavemente diseccionadas
	1-2	Superficies ligeramente diseccionadas
	2-3	Superficies ligera a medianamente diseccionadas
	3-4	Superficies medianamente diseccionadas
	4-5	Superficies fuertemente diseccionadas
	> 5	Superficies muy fuertemente diseccionadas

CUADRO 2. CRITERIOS DE EVALUACIÓN MORFOMÉTRICA DEL RELIEVE PARA LA ACTIVIDAD AGROPECUARIA

POTENCIAL	AP (°)	DV (m/km <sup>2</sup> )	DH (km/km <sup>2</sup> )	CARACTERÍSTICAS
Bajo-Medio	< 1	< 2.5	< 0.3	Útil con limitaciones. Desfavorable a la mayoría de los cultivos en zonas bajas con inundaciones periódicas. Necesita obras de drenaje para su uso agrícola. Favorable cuando ocupan zonas elevadas o mesetas.
Muy alto	1-3	2.5-10	0.3-1	Óptimo agropecuario. No existen riesgos de inundación y no se manifiestan los procesos erosivos. Mecanización total. Riego por aspersión y por gravedad. Adecuada tipificación agrícola. Ganadería extensiva y/o intensiva de alta densidad.
Medio-Alto	3-5	10-20	1-2	Útil con limitaciones, pero aceptable para la agricultura y la ganadería. Comienzan procesos erosivos. Se recomienda el riego por aspersión. Pueden presentarse ligeras limitaciones para la mecanización, pero se puede implementar. Breves dificultades para la tipificación agrícola. Puede requerir técnicas antierosivas. Ganadería extensiva de media densidad.
Bajo	5-10	20-60	2-3	Poco favorable. Se incrementan los procesos erosivos. Límite para el roturado anual de la tierra y para los cultivos anuales. Riego únicamente por aspersión. Fuertes limitaciones para la mecanización agrícola. Se incrementan las dificultades para la tipificación de la mayoría de los cultivos y se incrementan los costos de mecanización. Aumenta la necesidad de técnicas antierosivas. Ganadería controlada (estabulada) y de media a baja densidad.
Muy bajo	10-15	60-100 > 100	3-4	Desfavorable. Fuertes procesos erosivos. No se recomienda riego ni mecanización. Muy difícil la tipificación agrícola y a costos muy elevados. Necesita de técnicas antierosivas. Aceptable, únicamente, para cultivos perennes. De no existir otra opción, ganadería muy controlada y de mínima densidad.
Sin potencial agropecuario	> 15		> 4	Uso forestal.

sajes sea el evitar la constante formación de nuevos polígonos que ocurre cuando se acude al análisis por componentes parciales. Una de sus limitaciones es el tiempo requerido para capacitar en forma rigurosa a especialistas en el tema.

En otros casos, se ha utilizado el enfoque denominado Evaluación de Tierras (ver el tema en [www.fao.org](http://www.fao.org)) como una estrategia para analizar qué tanto las características del terreno (medidas en términos de las propiedades de los suelos) satisfacen los requerimientos de sistemas productivos (ver un ejemplo para México en Rosete *et al.*, 2003).

Una de las ventajas que ofrece el enfoque de paisajes es la elevada correlación que presenta la heterogeneidad de los paisajes con la distribución de la biodiversidad. EL cuadro 3 resume resultados obtenidos en esta relación para diferentes territorios (Priego, 2004). Este hecho puede ser de gran utilidad

a los propósitos del ordenamiento ecológico, porque no siempre está disponible la información biológica actualizada y confiable sobre la distribución de especies o sus hábitats; en estos casos, el contar con un adecuado pronóstico de su riqueza puede ayudar a la definición de las políticas ambientales de protección y conservación y a la zonificación de las áreas naturales protegidas. Además, conocer las probables áreas de mayor potencial de presencia de especies puede ser un criterio valioso para propósitos de restauración ecológica de hábitats, allí donde no exista información suficiente sobre la distribución de la biodiversidad.

La necesidad de planificar el uso del territorio y sus recursos a escalas más detalladas requirió una cartografía geomorfológica con escalas adecuadas. En la última década se ha multiplicado el número de estudios de regionalización geomorfológica como base para el ordenamiento ecológico regional

CUADRO 3. ALGUNAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE LOS PAISAJES COMO BASE PARA EL ORDENAMIENTO ECOLÓGICO

VENTAJAS	DESVENTAJAS
§ Sólida concepción teórico-metodológica.	§ Personal especializado para la elaboración del mapa de paisajes; tanto desde el punto de vista teórico de la geografía del paisaje como en el desarrollo de aplicaciones de SIG.
§ Unidad geográfica integral de la superficie terrestre, equivalente a ecosistemas a nivel ecológico.	§ Necesidad de grupos de trabajo transdisciplinarios.
§ Sistema de clasificación taxonómico con una estructura jerárquica, que permite esclarecer la estructura compleja del territorio.	§ Necesidad de insumos sobre todos los componentes naturales para la confección del mapa.
§ Clara distinción entre unidades tipológicas y regionales, así como definición e índices diagnósticos para todas las unidades a cualquier escala de trabajo.	§ Alto consumo de tiempo y de recursos para la elaboración del mapa en comparación con otros enfoques.
§ Unidades areales durante todo el proceso de evaluación y análisis.	§ Leyendas excesivamente grandes, difíciles de simplificar.
§ Definición de todos los componentes naturales en cualquier nivel taxonómico.	§ La representación cartográfica puede ser compleja, ocupando cuando menos, dos o tres métodos de representación; fondo cualitativo, símbolos lineales y símbolos numéricos.
§ Facilita la modelación geográfica como método para la evaluación y zonificación funcional.	

CUADRO 4. RELACIÓN HETEROGENEIDAD DEL PAISAJE-BIODIVERSIDAD PARA DIFERENTES TERRITORIOS

TERRITORIO	ESCALA	SUPRFICIE (km <sup>2</sup> )	RELACIÓN ESTADÍSTICA CON LA BIODIVERSIDAD	
			P	r <sup>2</sup>
Archipiélago de Camagüey, Cuba	1:250 000	1,845	< 0.01	0.82
Cuencas de La Mancha, El Farallón y El Llano, Veracruz, México	1:50 000	154	< 0.01	0.95
Cayo Guillermo, Cuba	1:25 000	13.2	< 0.01	0.96
Reserva de la Biosfera Mapimí, Durango, México	1:75 000	172	< 0.01	0.56
Cuenca Lerma-Chapala, México	1:250 000	53,591	<0.01	0.81

y local (Bocco *et al.*, 2001; Geissert, 1999; Lopez-Blanco y Villers, 1995). Asimismo, varios de estos trabajos presentan enfoques jerárquicos y proponen estrategias para anidar la información a nivel de semidetalle (1:50,000). Además de la generación de la cartografía geomorfológica, la geografía física, aunada a otras disciplinas, tales como la edafología, ha impulsado el desarrollo de unidades integrales, bien con el enfoque de unidades de terreno (Bocco *et al.*, 2001), unidades morfo-edafológicas (Geissert *et al.*, 1994; Cotler *et al.*, 2002) o de unidades de paisaje físico-geográfico (véase más adelante). Salvando las diferencias que existen entre estas unidades, provenientes de enfoques diferentes, existe un común denominador entre ellas, constituido por el sustento geomorfológico. La constitución integral de estas unidades facilita el conocimiento sobre la distribución de los recursos naturales, su dinámica en el tiempo, la tolerancia del medio a la intervención humana, permitiendo así evaluar la aptitud productiva del territorio así como los conflictos potenciales entre aptitud y uso actual del suelo. Falta, sin embargo, estandarizar los métodos y técnicas para poder arribar a una cartografía geomorfológica de uso múltiple, a escala 1:50,000 o más detallada.

#### EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL EN CUENCAS FLUVIALES

Un aporte relevante al tema es la contribución en el diseño y elaboración de mapas de paisajes hidrológicos, los cuales han probado ser una base eficaz para la ejecución del balance hídrico. En la elaboración de estos mapas se delimitan las diferentes zonas hidro-funcionales (cabecera, captación-transporte y emisión-confinamiento); a su vez, las mismas se subdividen en unidades inferiores según la tipología de la red de drenaje, la disección horizontal y otros indicadores hidro-morfométricos, tales como la concavidad de la cuenca.

Por ejemplo, PLADEYRA (2000) elaboró el mapa de paisajes hidrológicos para la cuenca del río Filobobos y la delimitación de las zonas de funcionamiento hidrográfico fue uno de los criterios básicos para la definición de usos permisibles y políticas ambientales. Más recientemente, Travieso-Bello *et al.* (2005) evaluaron el potencial natural para la actividad pecuaria en las cuencas de las lagunas La Mancha, El Farallón y El Llano, donde la información sobre zonas funcionales hidrográficas fue igualmente clave.

La definición de las zonas funcionales para el ejemplo de la cuenca Lerma-Chapala (Priego *et al.*, 2003b) resulta un criterio básico para determinar



prioridades de eco-rehabilitación; el mapa de paisajes hidrológicos es el punto de partida para el análisis de fragilidad y deterioro de los recursos hídricos.

#### **LA EVALUACIÓN DE PATRONES REGIONALES DEL CAMBIO GLOBAL**

Otro de los temas destacados en los procesos técnicos para programas de ordenamiento del territorio, muy particularmente en la formulación de pronósticos, es la evaluación de patrones regionales de cambio planetario, así como el monitoreo de las alteraciones a través de indicadores. Si bien la predicción en estos temas es, en términos de exactitud y precisión, poco posible, sí hay espacio para el modelamiento y la formulación de escenarios, asociados a diversos grados de probabilidad.

Uno de los estudios más relevantes es el del cambio de cobertura del terreno como un indicador de cambio de uso del suelo. El INE auspició la elaboración de un análisis a nivel nacional con base en datos preexistentes del periodo 1976-2000 (Mas *et al.*, 2002, 2004). Los resultados permitieron cuantificar patrones no deseados de cambio de uso del suelo, e identificar aquellas zonas prioritarias para su atención por parte de los tomadores de decisiones. Destacan los patrones de pérdida y deterioro de la cubierta vegetal natural y el crecimiento no planeado de ciudades e infraestructura en regiones con escasez en la disponibilidad del recurso agua. Este saber es un insumo para el diagnóstico integrado y la formulación del pronóstico en el ordenamiento ecológico.

Otro proceso que se vincula estrechamente con los patrones regionales del cambio global es la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos extraordinarios. Para ello empleamos técnicas de análisis estadístico (tendencias históricas sobre las temperaturas y precipitaciones), en particular en zonas sujetas a eventos de sequías e inundaciones. Es de particular interés detectar cuál es la contribución de estos eventos al

incremento de la vulnerabilidad de las sociedades, como un insumo clave para el ordenamiento territorial (Esquivel, 2002).

En general, es importante rescatar la contribución de la geografía física a la formulación de indicadores de sustentabilidad. Sobre este aspecto existe una gran cantidad de grupos desarrollando investigación a nivel mundial, y uno de los temas clave es el de la escalas (para medición e integración). Es un desafío trabajar con indicadores en grandes regiones (del orden de los cientos de miles de kilómetros cuadrados), tales como las áreas de posible afectación por megaproyectos de desarrollo (por ejemplo, el Plan Puebla-Panamá en el sur-sureste de México, véase Negrete y Bocco, 2003).

Un último tema que interesa inscribir en esta agenda es el del uso del conocimiento tradicional en el manejo de los recursos naturales, como una estrategia para solventar la falta de datos a nivel de micro-cuencas, en áreas del orden de la decena de kilómetros cuadrados, para las cuales no disponemos de cartografía base ni temática (Bocco y Pulido, 2003). Además de la conveniencia operativa, el uso del conocimiento local en forma sistemática es uno de los pilares de la investigación participativa en manejo de recursos. Aspectos tales como las clases campesinas de relieve, los suelos y la cobertura del terreno, levantadas en campo con los productores rurales, han sido usadas, en forma exitosa, en diferentes ambientes culturales y ecológicos.

#### **CARTOGRAFÍA DIGITAL, BASES DE DATOS Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

El acervo cartográfico que resulta de las aplicaciones señaladas consta de productos en dos escalas espaciales principales 1:1,000,000 y 1:250,000. Las coberturas de estas bases de datos es nacional y, cuando se trata de análisis de problemáticas concretas, tienen alcance regional. La información debe tener la resolución sufi-

cientemente para realizar análisis a nivel regional para diagnósticos y propuestas de manejo ambiental (1:250,000 o mayor). Para facilitar el acceso a estas bases de datos, se diseñó con Arc-IMS (ESRI), una interfase para la publicación de la cartografía por Internet. Toda la base de datos es de dominio público (<http://mapas.ine.gob.mx>) (Esquivel *et al.*, 2004).



## CONCLUSIONES

Las conclusiones sugieren que el desarrollo de la disciplina en México ha alcanzado un grado de madurez importante en términos de sus aplicaciones. Debemos fortalecer el aporte a la cuestión territorial en política pública ambiental. Para ello, creemos importante, jugar un papel más decisivo en el marco de la investigación integrada fuera del ámbito académico de la geografía. En particular, pensamos que la disciplina debe ofrecer un mayor liderazgo en cuestiones tales como el análisis de paisaje (en forma integral, y no sólo desde la perspectiva biológico-ecológica) y la vulnerabilidad regional a los patrones de cambio planetario. En este sentido, se abre una excelente oportunidad para el desarrollo de una agenda compartida entre la academia y los tomadores de decisiones en sentido amplio.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bocco G., M. Mendoza y A. Velázquez. 2001. Remote sensing and GIS-based regional geomorphological mapping- a tool for land use planning in developing countries. *Geomorphology* 39:211-219.
- Bocco, G. y J. Pulido. 2003. Geomorphologic and landscape wisdom. Managing slopes through local knowledge. En Trudgill, S. y A. Roy. *Contemporary meanings in Physical Geography*. Arnold, Londres, pp. 109-209.
- Comisión Nacional de Agua. 2001. *Programa Nacional Hidráulico 2001-2006*. CNA, SEMARNAT, México, 121 pp.
- Cotler H., E. Durán y C. Siebe. 2002. Caracterización morfo-edafológica y calidad de sitio de un bosque seco caducifolio. En: R. Ayala, F. Noguera (eds.). *Historia Natural de Chamela*. UNAM, México.
- Esquivel, N. 2002. Lluvia y sequía en el Norte de México: un análisis de la precipitación histórica en Chihuahua. *Gaceta ecológica* 65: 24-42.
- Esquivel N., G. Cuevas y G. Bocco. 2004. Supporting Environmental and Natural Resources Management. The National Institute of Ecology of Mexico. *GIM International* 18(4): 69-71.
- Geissert, D. 1999. Regionalización geomorfológica del estado de Veracruz. *Investigaciones Geográficas* 40: 23-47.
- Geissert, D., D. Dubroeuq, A. Campos y E. Meza. 1994. Carta de unidades geomorfo-edafológicas de la región natural Cofre de Perote, Veracruz, México, escala 1:75,000. Instituto de Ecología-ORSTOM-CONACYT, Instituto de Ecología A.C. Xalapa, Veracruz.
- López-Blanco, J. y L. Villers-Ruiz. 1995. Delineating boundaries of environmental units for land management using a geomorphological approach and GIS: A study in Baja California, México. *Remote Sensing of Environment* 53:109-117.
- Lugo, J., M.A. Ortiz, J.L. Palacio y G. Bocco. 1985. Las zonas más activas en el Cinturón Volcánico Mexicano (entre Michoacán y Tlaxcala). *Geofísica Internacional* 24(1): 83-96.

- Lugo, H. J. y C. Córdova. 1990. Regionalización geomorfológica de la República Mexicana. *Investigaciones Geográficas* 25: 25-63.
- Mas, J.F., A. Velázquez, J.L. Palacio, G. Bocco, A. Peralta y J. Prado. 2002. Assessing forest resources in Mexico: wall-to-wall land use/cover mapping. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 68: 966-968.
- Mas, J.F., A. Velázquez, J. Reyes, R. Mayorga-Saucedo, C. Alcántara, G. Bocco, R. Castro, T. Fernández y A. Pérez-Vega. 2004. Assessing land use/cover changes: a nationwide multirate spatial database for Mexico. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 5(4): 249-338.
- Mateo, J. 2002. *Geografía de los paisajes*. Facultad de Geografía, Universidad de La Habana. MES, 194 pp.
- Negrete, G. y G. Bocco (comps.). 2003. Datos y bases de datos para la evaluación del impacto de la política pública en el Sur-Sureste de México. INE-SEMARNAT. México.
- Ortiz, M. 1997. Regionalización Ecológica 1:4,000,000 y compatibilización de leyendas niveles III, IV, V. Informe técnico realizado para el Instituto Nacional de Ecología, México ([www.ine.gob.mx](http://www.ine.gob.mx)).
- Ortiz-Solorio A.C. y E.H. Cuanalo de la Cerda. 1978. *Metodología del levantamiento fisiográfico. Un sistema de clasificación de tierras*. Colegio de Posgraduados de Chapingo, México, 85 pp.
- Pidwirny, M. 2005. Introduction to Physical Geography. [www.physicalgeography.net/fundamentals/1a.html](http://www.physicalgeography.net/fundamentals/1a.html).
- Priego-Santander, A., E. Isunza-Vera, N. Luna-González y J.L. Pérez-Damián. 2003a. Mapas de Cuencas Hidrográficas, Ángulo de la Pendiente, Red de Drenaje y Disección Vertical de México a escala 1:250 000. INE, <http://mapas.ine.gob.mx/webite/cuencas>.
- Priego-Santander, A., H. Morales, A. Fregoso, R. Márquez y H. Cotler. 2003b. Diagnóstico biofísico, pp: 13-84. En: Diagnóstico bio-físico y socio-económico de la cuenca Lerma-Chapala. INE, Dirección General de Investigación en Ordenamiento Ecológico y Conservación de Ecosistemas, 285 pp. [www.ine.gob.mx/dgoece/cuencas/download/dag\\_lerma\\_chapala.pdf](http://www.ine.gob.mx/dgoece/cuencas/download/dag_lerma_chapala.pdf).
- Priego-Santander A., J.L. Palacio-Prieto, P. Moreno-Casasola, J. López-Portillo y D. Geissert. 2004. Heterogeneidad del paisaje y riqueza de flora: Su relación en el archipiélago de Camagüey, Cuba. *Interciencia* 29 (3): 138-144.
- Quiñónez, G.H. 1987. El sistema fisiográfico de la Dirección General de Geografía. *Revista de Geografía* 1(2): 13-20.
- Rosete, F., Sánchez, J. y G. Bocco. 2003. El sistema automatizado de evaluación de tierras. En: A. Velázquez, A. Torres y G. Bocco (comps.). *Las enseñanzas de San Juan. Investigación participativa para el manejo integral de recursos naturales*. Instituto Nacional de Ecología. México, D.F. pp. 437-472. (Disponible en [www.ine.gob.mx](http://www.ine.gob.mx)).
- SEMARNAT-Colegio de Posgraduados. 2002. *Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la República Mexicana, escala 1:250,000*. Memoria Nacional, SEMARNAT-Colegio de Posgraduados, 58 pp.
- Travieso-Bello, A., P. Moreno y A. Campos. 2005. Efecto de diferentes manejos pecuarios sobre el suelo y la vegetación en humedales transformados a pastizales. *Interciencia*. 30(1): 12-18.
- Trudgill, S. y A. Roy. 2003. *Contemporary meanings in Physical Geography*. Arnold, Londres.

---

Este artículo se recibió en noviembre de 2004. El texto revisado se aceptó el 20 de junio de 2005. Las imágenes son de Helyn Davenport y Thomas Barbèy.

# La geografía física y el ordenamiento territorial en Cuba

EDUARDO SALINAS CHÁVEZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Geografía, Universidad de La Habana, Cuba. Correo-e: esalinas@geo.uh.cu

**Resumen.** El ordenamiento territorial, como estrategia para orientar la distribución espacial del desarrollo, se sustenta en la aplicación de la concepción holística y sistémica del paisaje, con una larga historia de desarrollo teórico-metodológico y práctico dentro de las ciencias geográficas, lo que se apoya en la actualidad en el uso de los sistemas de información geográfica para el análisis y la toma de decisiones de carácter espacial, que contribuyan a una adecuada planificación y gestión ambiental del territorio.

**Palabras clave:** paisaje, geografía física, ordenamiento territorial y planificación ambiental

**Abstract.** *The land-use planning, as strategy to orientate the spatial distribution of the development, it is sustained in a holistic and systemic conception of the landscape, with a long history of theoretical-methodological and practical development inside the geographical sciences, which relies at present on the use of the SIG for the analysis and the capture of decisions of spatial character, which they contribute to a suitable planning and environmental management of the territory.*

**Keywords:** *landscape, physical geography, land-use planning, environmental management*



## LA GEOGRAFÍA FÍSICA, PAISAJES Y ORDENAMIENTO

### TERRITORIAL: UNA INTRODUCCIÓN NECESARIA

El nuevo milenio ha visto llegar el fracaso de los modelos desarrollistas neoliberales, paralelamente con el decrecimiento en los instrumentos de la planificación, el agravamiento de los problemas socioeconómicos

de gran parte de la humanidad, así como, la incapacidad de los gobiernos para resolverlos, lo que ha condicionado el incremento del interés en lograr la sostenibilidad del desarrollo económico y social, a

mediano y largo plazos, basada en el establecimiento de una planificación más participativa y centrada en la localidad (Friedmann, 1991).

Los intentos de importar modelos y teorías provenientes de los países desarrollados a la realidad latinoamericana no han dado los resultados esperados, lo que hace pensar que no puede haber un modelo único de planificación y ordenamiento del territorio aplicable a distintas realidades sino que cada región y país deben construir su propia metodología de planificación y ordenamiento, ajustada a su realidad natural, económica y social (Gastó *et al.*, 2002; Gudiño, 2003).

Se habla entonces de un nuevo tipo de planificación, llamada ecológica, ambiental o estratégica y que puede ser concebida como: “El instrumento dirigido a planear y programar el uso del territorio, las actividades productivas, la ordenación de los asentamientos humanos y el desarrollo de la sociedad, en congruencia con el potencial natural de la tierra, el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y humanos, y la protección y calidad del medio ambiente”. Esta idea se cimienta en la posibilidad de pensar y crear el futuro a partir del conocimiento y valoración del presente y de su articulación al pasado, y debe entenderse, entonces, como un instrumento de gestión pública para controlar, promover y dirigir los sistemas sociales contemporáneos, articulados en su base de sustentación geoecológica (Salinas, 1991; Lavanderos *et al.*, 1994; Gabiña, 1998; Méndez, 2002; Dourojeanni, 2000).

El sujeto de esta planificación se corresponde, según diversos autores, con el objeto de estudio de la geografía, definido, según diversas escuelas de pensamiento, como: espacio geográfico, medio geográfico, paisaje, región, territorio, etc., coincidiendo siempre ese objeto con la existencia de patrones espaciales y atributos sistémicos propios (Compan, 1992; Mateo *et al.*, 1994).

Es en este contexto que la geografía física, como ciencia de síntesis, debe constituirse en la base del

desarrollo de esta nueva planificación, que con un enfoque sistémico y holístico debe ser considerada como una actividad cognoscitiva multidimensional, compleja y dinámica, que sirva como elemento regulador de las relaciones entre los sistemas naturales y los sociales, y que incluye como nivel más amplio y abarcador al ordenamiento ecológico o territorial.

FIGURA 1. LA PLANIFICACIÓN AMBIENTAL



El ordenamiento ecológico o territorial (visto como el fundamento de la planificación) es un hecho cultural y político íntimamente relacionado con el desarrollo socioeconómico de cada sociedad y se señalan sus orígenes en Francia, a fines de la Segunda Guerra Mundial, donde fue propuesto como una alternativa para solucionar los problemas relacionados con la distribución y utilización de la tierra, siendo en Europa y Norteamérica, donde esta concepción alcanza un importante desarrollo, especialmente durante los últimos años (Caballero, 1997 a y b; Hildenbrand, 1996). También en los llamados países de economía centralizada de Europa oriental se realizaron importantes aportes al ordenamiento del territorio como hoy lo conocemos y, desde hace algunos años en América Latina, el empleo de nuevos enfoques en esta temática ha enriquecido su teoría y su práctica (Almeida *et al.*, 1993; Mateo *et al.*, 1985; Massiris, 2001; Gastó *et al.*, 2002).

Tres ideas centrales guían esta ordenación del territorio:

- § Proporcionar las oportunidades mínimas que garanticen una adecuada calidad de vida para toda la población.
- § Conservar y desarrollar los fundamentos naturales de la vida (bio y geodiversidad, procesos ecológicos esenciales, etc.).
- § Mantener a largo plazo el potencial de utilización del suelo y los recursos que contiene.

Muchas definiciones se han propuesto en todos estos años, sin embargo, hay tres que se complementan y que consideramos son suficientes para nuestra propuesta metodológica.

El *ordenamiento ecológico o ambiental* visto como: “El instrumento de política ambiental que permite articular, regular e inducir el uso del suelo y las actividades productivas con el fin de lograr la protección del medio ambiente y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y humanos, a partir del análisis de las tendencias del deterioro y las potencialidades de aprovechamiento de los mismos, con el fin de alcanzar la máxima armonía posible en las interrelaciones de la sociedad con el ámbito donde ésta se desarrolla” (INE-Semarnap, 1996; Asamblea Nacional del Poder Popular, 1997; Gastó *et al.*, 2002; Negrete *et al.*, 2003; Schlotfeldt, 1998).

El *ordenamiento territorial* como “una disciplina científica, una técnica administrativa y una política concebida como actuación interdisciplinaria y global cuyo objetivo central es el desarrollo equilibrado de las regiones y la organización física del espacio según un concepto rector” (Consejo de Europa, 1983; Barragán, 2003; Pujadas y Font, 1997, Instituto de Planificación Física, 1999; Gómez Orea, 2002).

El *ordenamiento del territorio* como: “El nivel más amplio y abarcador de la planificación ambiental, dirigido a determinar un modelo territorial constituido por tipos funcionales de uso para cada parte del territorio, sus entidades de operación y gestión, y los instrumentos administrativos, jurídicos y sociales que

aseguren su aplicación, buscando garantizar el buen uso del territorio y la sostenibilidad del ambiente en armonía con el desarrollo de la población, los servicios e infraestructura y el funcionamiento eficaz del gobierno.” (Salinas, 1991, 1994 y 2001; Lavanderos *et al.*, 1994; Méndez, 2002; Gobierno de Navarra, 2002; Gómez Orea, 2002; Navarro, 2003)

El ordenamiento del territorio tiene tres dimensiones principales: la *ecológico-ambiental*, preocupada por las relaciones entre la sociedad y su medio ambiente; la *espacial*, interactiva a su vez con la anterior y orientada a evaluar las interacciones entre los asentamientos, las ciudades y las regiones; en donde las redes desempeñan un rol determinante; y la *política*, relacionada con la administración y la gestión del territorio (Mantobani, 1997).

Es necesario apuntar que la ordenación del territorio es un proceso público y técnico de la planeación y, por lo tanto, debe ser flexible, continuo y a largo plazo; siendo además holístico y sistémico, ya que no sólo es ambiental sino social, económico, político y administrativo, debiendo traducirse en una zonificación de las capacidades potenciales del territorio (oferta u objeto de la planificación) para acoger a determinada actividad socioeconómica (demanda o sujeto de la planificación) y que permita solucionar los principales problemas y conflictos presentes en el territorio.

Según Mantobani (1997) “el ordenamiento territorial es una forma de intervención social del Estado encargada de regular los distintos requerimientos de las empresas (acumulación del capital), la sociedad (reproducción de la vida cotidiana, reducción de desigualdades sociales y protección ambiental) y el gobierno (legitimación política) mediante la organización, administración y gestión racional y técnico-científica a nivel urbano y regional de aquellas condiciones generales que sostienen un proceso de desarrollo sustentable y de aquellos medios provistos por el Estado para elevar o mantener los niveles de



equidad y de eficiencia de la sociedad” (Mantobani, 1997). Esta definición puede considerarse la síntesis de las anteriores y se enfoca más a la dimensión social y política del ordenamiento, dejando a un lado otros elementos de suma importancia para alcanzar el desarrollo sostenible como lo entendemos nosotros.

Hasta el momento, en la mayoría de los países, la planificación y el ordenamiento del territorio han sido vistos y estudiados, usando límites políticos, cuencas hidrológicas o algunas otras unidades, lo que demuestra un desconocimiento del desarrollo teórico-metodológico y práctico alcanzado por la geoecología o ecología del paisaje, rama de las ciencias físico-geográficas, que proporciona una base sólida para el análisis holístico y sistémico del territorio, permitiendo clasificar y delimitar unidades homogéneas por sus características, que pueden ser estudiadas, evaluadas y gestionadas en el propio proceso de planificación del espacio (Naveh y Liebermann, 1984; González-Bernaldez, 1981; Forman y Godron, 1986; Rougerie y Beroutchachvili 1991; Mateo, 1991; Zonneveld, 1995; Bolos, 1992; Bailey, 1996; Ortega, 1997; Farina, 1998; Zoido y Venegas, 2002; Burel y Baudry, 2002; Salinas, 1991, 1994, 2001, 2004; entre otros).

El paisaje geográfico o geosistema, como categoría científica general de carácter transdisciplinario, se concibe entonces como “un sistema espacio-tempo-

ral, complejo y abierto, que se origina y evoluciona justamente en la interfase naturaleza-sociedad, en un constante estado de intercambio de energía, materia e información, donde su estructura, funcionamiento, dinámica y evolución reflejan la interacción entre los componentes naturales (abióticos y bióticos), técnico-económicos y socio-culturales. Constituyéndose así en verdaderos espacios naturales, que las sociedades transforman para producir, habitar, vivir y soñar (NC93-06-101, 1987; Mateo, 1991, 2000, 2005; Salinas, 1991, 2001), o como lo definió

la Convención Europea del Paisaje en Florencia, en el año 2000, “cualquier parte del territorio tal como es percibido por las poblaciones, cuyo carácter resulta de factores naturales y/o humanos, y de sus interrelaciones.” (Consejo de Europa, 2000)

En las últimas dos décadas dentro del enfoque holístico y sistémico que acompaña cada vez más al ordenamiento del territorio se ha producido un incremento en la utilización de los paisajes como unidades básicas para el análisis, diagnóstico y propuesta del modelo de uso del territorio, lo que se sustenta en los avances teórico-metodológicos de la geografía y la ecología del paisaje, la creación de organizaciones internacionales como la IALE (Internacional Association for Landscape Ecology) la publicación de numerosos libros, revistas especializadas como *Landscape and Urban Planning* y *Landscape Ecology*, entre otras, la realización de numerosas conferencias, simposios, etc., la creación de numerosas cátedras y grupos dedicados a estos estudios, en diferentes universidades, donde existen diversos posgrados en ecología del paisaje, y por último, al surgimiento de varios sitios web relacionados con la temática del paisaje (Bastian y Steinhardt, 2002; Capacci, 2003, entre otros).

El paisaje como base del ordenamiento del territorio puede ser considerado como sujeto y objeto de la actividad humana. Objeto en la medida en que el

paisaje posee una serie de características que sirven de soporte básico al desarrollo socioeconómico del territorio y sujeto en cuanto que la actividad humana lo transforma. Esta doble función del paisaje se constituye entonces, en el fundamento para comprender la dinámica natural y social, desde la perspectiva del ordenamiento del territorio.

Las ventajas de esta concepción para las tareas de la planificación ambiental y el ordenamiento territorial pueden resumirse en:

- § Refleja la interrelación de los fenómenos que ocurren en un territorio de forma objetiva, lo que se manifiesta en una serie de regularidades de diferenciación espacial.
- § Puede considerarse al paisaje como una unidad de “común denominador”, mediante la cual es posible calcular, analizar, comparar y evaluar el potencial de recursos naturales de un territorio, asociado espacialmente y subordinado a las regularidades de su formación y diferenciación.
- § Contribuye a la correcta localización de los elementos y usos del territorio, así como de las estructuras o sistemas que lo conforman.
- § Es posible la obtención de resultados concretos al analizar a la sociedad y a la naturaleza, como sistemas constituidos por la asociación de condiciones, potenciales y recursos.
- § Permite la jerarquización y taxonomía de las unidades delimitadas que se manifiestan como unidades de diverso tamaño, complejidad y nivel de organización y que pueden ser espacialmente diferenciadas y cartografiadas.
- § Como sistemas naturales y antroponaturales están subordinados a una serie de leyes y regularidades generales, tanto naturales como sociales y económicas, que tienen un carácter objetivo y que pueden usarse como principios en el proceso propio de la planificación y ordenamiento de los territorios.

A pesar de los diferentes puntos de vista profesionales, podemos considerar al paisaje integrado al territorio y, por tanto, dentro de la planificación ambiental. Esta interpretación y contenido del paisaje nos parece entonces la más científica, política y justificada para el hombre y la naturaleza. Ello se debe a que para la solución de las tareas de la protección, manejo y pronóstico de la naturaleza y para la planificación regional y local, se requiere cada vez más de una unidad territorial o un sistema de unidades que constituyan y funcionen como un todo, que sean distinguibles y cartografiables espacialmente (Salinas y Middleton, 1998).

### **Los paisajes como fundamento del ordenamiento territorial y ambiental en Cuba**

Los estudios físico-geográficos en Cuba comenzaron con los trabajos realizados en el siglo XIX por Alejandro de Humboldt sobre la base del análisis de las relaciones existentes entre los diferentes componentes de la naturaleza, ya que los estudios realizados por otros investigadores en los siglos XVII y XVIII se habían limitado principalmente a la ubicación y descripción de los accidentes geográficos más sobresalientes de nuestro archipiélago.

Es a partir de estos importantes aportes realizados por el sabio alemán, que en el siglo XX un grupo de prestigiosos especialistas cubanos encabezados por el Dr. Salvador Massip, promueven el conocimiento integral de la naturaleza cubana y sientan las bases para el inventario y cartografía de los diferentes componentes físico-geográficos del paisaje (relieve, clima, agua, suelos, etc.). Los trabajos con este enfoque, realizados a partir de los años 1960, tienen su inicio con la publicación, en 1970, del *Atlas Nacional de Cuba*, que da inicio a una nueva etapa en los estudios físico-geográficos y la creación en la década de los 1980 del Grupo de Investigaciones en Geoecología y Paisajes en la Facultad de Geografía de la Universidad



de La Habana (centro de desarrollo teórico-metodológico de la geografía física compleja o geoecología en Cuba). Este proceso culmina en 1989 con la inclusión en el *Nuevo Atlas Nacional de Cuba* de una sección dedicada a los paisajes (con 14 mapas a diversas escalas) y la realización en los años posteriores de más de 30 tesis de doctorado y maestría sobre la temática del paisaje como fundamento del ordenamiento de los territorios, así como numerosas investigaciones y publicaciones en Cuba y el extranjero.

La concepción del paisaje como componente objetivo del territorio y recurso para su ordenamiento está presente en los estudios de este grupo desde los inicios de su constitución y ha posibilitado establecer una plataforma teórico-metodológica y práctica importante para el ordenamiento territorial en Cuba, que se ha consolidado y extendido a otras instituciones desde hace más de una década. Además, se han llevado a cabo numerosos proyectos de investigación y en otros países latinoamericanos, donde sobre la base de esta concepción integradora del paisaje se han realizado los ordenamientos ecológicos y territoriales de diversas regiones y a diversas escalas, lo cual ha sido apoyado en el uso de los sistemas de información geográfica.

El esquema metodológico propuesto para el ordenamiento del territorio en Cuba, y que hemos utilizado en numerosos estudios especialmente en México y en Brasil, está avalado por más de 20 años de investigaciones de la Facultad de Geografía de la Universidad de la Habana (Mateo *et al.*, 1985; Salinas, 1991, Mateo *et al.*, 1994; Baume *et al.*, 1994; Salinas *et al.*, 2001; González *et al.*, 2003) y está compatibilizado con los principales esquemas metodológicos propuestos en las últimas décadas por diversos especialistas (Barragán, 2003; Almeida *et al.*, 1993; Zonneveld, 1995; Romani, 1996; Pujadas y Font, 1997, Gómez Orea, 2002; Geneletti, 2002 y Salas, 2002; entre otros) y guarda una estrecha relación con el esquema propuesto en México para los ordenamientos ecológico y territorial a escalas

medias y grandes, es decir, a los niveles estatal, municipal y regional (Sedue, 1988; Sedesol *et al.*, 2000; Sedesol-UNAM, 2002) (véase figura 2).

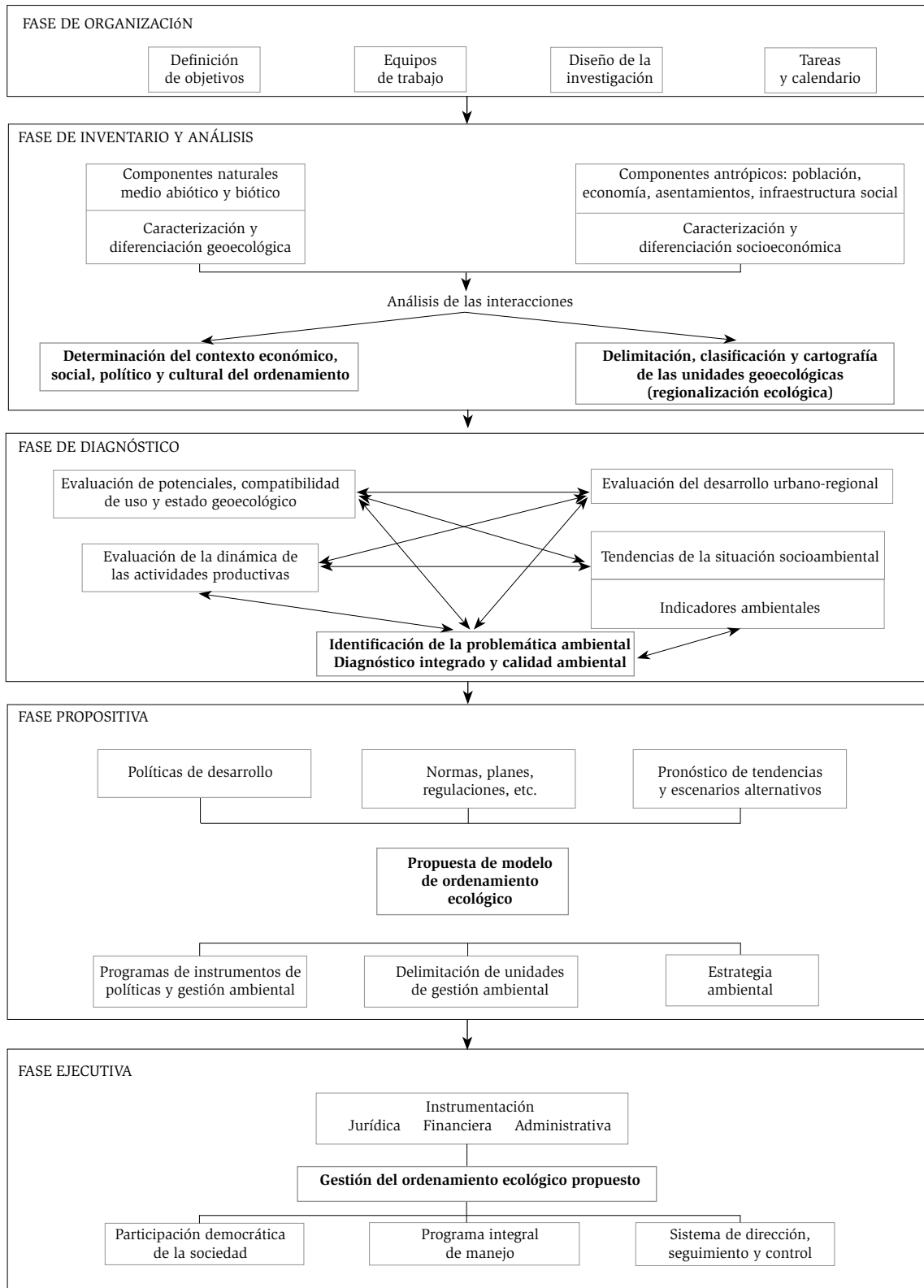
El esquema establece de forma simplificada las fases y sus contenidos principales, aspectos que hemos venido desarrollando y complementando desde el punto de vista teórico-metodológico y práctico en estas dos últimas décadas, y que se soporta en la concepción integradora del paisaje a que nos hemos referido anteriormente y la implementación y uso de los sistemas de información geográfica en los diferentes momentos de la investigación.

#### **LA CARTOGRAFÍA Y EL USO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA ORDENACIÓN DEL TERRITORIO**

Una de las tareas básicas, pero también una de las más importantes en toda investigación del paisaje, es la distinción, la clasificación y la cartografía de las unidades que existen en un territorio (Quintela, 1995; Salinas, 1991). Este objetivo se logra mediante el estudio de los componentes naturales y antrópicos del paisaje y de la interrelación que existe entre ellos.

La diferenciación, clasificación y cartografía de las unidades del paisaje constituye la base para el análisis y ordenamiento del territorio y debe responder entonces a las regularidades de formación, desarrollo y diferenciación de los geosistemas. Para esta clasificación y cartografía se han utilizado de manera global tres enfoques que se sustentan en los niveles básicos de estudio de la envoltura geográfica y que son: el tipológico, el regional y el local o topológico. Cada uno de ellos presenta una serie de características y principios, un sistema de unidades taxonómicas y unos índices de diagnóstico para su estudio y diferenciación y están asociados a determinadas escalas de representación cartográfica. Es por esto que los diversos niveles de la planificación y ordenamiento (nacional, estatal o provincial y municipal) demandan el uso de diferen-

FIGURA 2. ESQUEMA METODOLÓGICO PARA EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL UTILIZADO EN NUESTRAS INVESTIGACIONES



tes enfoques para la clasificación y cartografía de los paisajes (Salinas, 1991; Salinas *et al.*, 1993).

Las unidades del paisaje (independientemente de su jerarquía) constituyen una síntesis de un conjunto de componentes; en otras palabras, son entidades espaciales en las que existe una homogeneidad relativa en cuanto al comportamiento de cada uno de ellos. Atendiendo a factores como las dimensiones del territorio y su relación con la escala de trabajo, y al propio comportamiento de los componentes naturales (principalmente del relieve, de quien se reconoce su papel como redistribuidor de energía, sustancias e información), la importancia relativa de cada componente puede variar de un caso de estudio a otro. Ésta es una de las razones por las cuales se puede plantear que no existe una receta absoluta para confeccionar un mapa de paisajes, producto básico para el ordenamiento del territorio. Tampoco, por supuesto, existe una regla que defina lo que se pueda hacer mediante el uso de los sistemas de información geográfica (Salinas y Quintela, 2000; Quintela *et al.*, 2001).

Durante los últimos años hemos empleado en nuestros trabajos de ordenamiento del territorio los SIG como base para manejar, relacionar y analizar la gran cantidad de información disponible y su posterior salida cartográfica. El empleo de los SIG en la ordenación del territorio comienza con la propia selección de la plataforma a utilizar, la escala o escalas de trabajo y la delimitación del área de estudio, lo que permite confeccionar una base cartográfica única con los atributos básicos necesarios para volcar en ellos la información analógica o digital existente en anuarios, mapas temáticos, etc., así como, la generación de nuevos productos cartográficos por la superposición y análisis de los ya existentes u obtenidos mediante el empleo del SIG.

Posteriormente, se realiza la entrada de datos al SIG por diversas vías, los análisis necesarios y la generación de nuevos productos a partir de la

información existente, como por ejemplo, los mapas de hipsometría y pendientes obtenidos a partir del Modelo Digital de Elevación, lo que posibilita la confección del mapa de unidades de paisaje (a partir del análisis de la información temática, topográfica y fotográfica), síntesis del subsistema natural y sobre el cual se realiza el análisis de las potencialidades del territorio para las diversas actividades socioeconómicas, así como el estudio de los principales problemas ambientales, los cambios del uso del suelo y la vegetación, y los peligros o amenazas naturales.

En el estudio de los subsistemas económico y social, el SIG se convierte en una herramienta de gran utilidad por la posibilidad de realizar análisis cruzados de diversas variables, relacionar considerables volúmenes de datos de población, actividades económicas, etc., y referirlas a determinadas unidades espaciales como asentamientos y municipios, entre otras. La posibilidad que brindan los SIG para calcular índices como la densidad de vías de comunicación por municipio y su relación con la población, la distancia a los principales servicios, etc., los que permiten, a su vez, establecer la regionalización y jerarquización de estos problemas a nivel de estado, municipio o región, para finalmente proponer el Modelo de Ordenamiento Territorial, lo que permite avanzar en la planificación y gestión ambiental del mismo, estableciendo los lineamientos apropiados para su implementación.

El empleo de los sistemas de información geográfica permite generar una cartografía sobre el territorio de gran calidad que puede ser integrada posteriormente a estudios regionales y nacionales, y que posibilita su actualización con la nueva información que el propio desarrollo de estos trabajos produzca a nivel nacional, municipal o regional. Asimismo, es posible la creación de productos de divulgación científica de más amplia aceptación a partir de multimedia y otros.

## LOS CASOS DE ESTUDIO

El archipiélago Jardines del Rey, conocido también como Sabana-Camagüey, constituye el sistema insular más extenso y numeroso del archipiélago cubano. Está integrado por más de 1,000 islas o cayos, extendido por la costa norte del centro de la Isla de Cuba, desde la Península de Hicacos (Matanzas), por el Oeste; hasta la Bahía de Nuevitas (Camagüey), por el Este; a lo largo de 465 km, en dirección NW-SE y separado de tierra firme por un conjunto de bahías o macrolagunas de la parte interior de la plataforma insular submarina y bordeado, al Norte, por una de las formaciones coralinas más extensas del planeta (Acevedo y Pérez, 2000). Los rasgos naturales que distinguen al territorio están caracterizados por su situación tropical, su origen y evolución paleogeográfica cuaternaria, su insularidad y el alto grado de conservación de sus paisajes (Salinas, 1988, 1991; Acevedo y Barcia, 2003).

El desarrollo sostenible de los sistemas insulares constituye una tarea de máxima prioridad en los momentos actuales y un reto, en particular, para el caso Jardines del Rey, donde se lleva a cabo la construcción de más de 30,000 capacidades de alojamiento para el turismo internacional y donde, no obstante los trabajos de ordenamiento y gestión del territorio desarrollados desde hace más de una década, existen ejemplos de prácticas insostenibles en el proceso inversionista que se realiza, como son: el relleno de algunas lagunas costeras y la alteración del relieve natural; la apertura de canteras de áridos en áreas ecológicamente sensibles; el sobredimensionamiento y ubicación inadecuada de algunos hoteles; las tallas excesivas realizadas para la construcción de la infraestructura vial y de apoyo; los serios impactos directos e indirectos a los manglares; los altos tendidos eléctricos y telefónicos; el empleo de jardinería convencional con plantas exóticas; la proliferación de basureros en lugares inapropiados y los dragados

sin previo estudio de impacto ambiental, entre otros (GEF/PNUD, 1999)

Se pueden señalar, además, la presencia de otros problemas ambientales de escala local y regional que pueden comprometer a mediano y largo plazo el desarrollo sostenible del turismo en el territorio, como son:

- § Afectaciones a la diversidad biológica (especies y ecosistemas).
- § Erosión de las playas.
- § Contaminación.
- § Disminución de los recursos pesqueros por la sobreexplotación y el uso de artes de pesca inadecuadas, entre otros.
- § Pérdida de calidad de los paisajes.
- § Salinización de los cuerpos de agua y los suelos.
- § Aumento del nivel del mar y penetraciones.
- § Actividad forestal inadecuada y caza furtiva.

El impetuoso desarrollo inversionista en Jardines del Rey ha estado acompañado de cambios socioeconómicos importantes en la provincia Ciego de Ávila y la región, que abarca el municipio Morón y los municipios adyacentes al norte de esta provincia. Esto se encuentra condicionado, en primer lugar, por la necesidad de crear la infraestructura básica para este desarrollo, que comenzó con la construcción de la carretera a Cayo Coco en 1988 e incluye la construcción de los asentamientos para los trabajadores del turismo y los constructores, las conductoras de agua y electricidad, y posteriormente, toda la infraestructura turística (hoteles, marinas, bases de transporte, aeropuerto, etc.) lo que ha conllevado a incrementos en la inmigración de la población, la oferta de nuevos empleos, la necesidad de calificar al personal que debe trabajar en los hoteles y otros aspectos que ocasionan que en estos momentos este municipio y los colindantes hayan modificado grandemente muchas de sus características sociales y culturales.

En estos más de diez años se han ejecutado inversiones muy importantes en esta región, pero detrás se esconde un complejo proceso de transformación económica, tecnológica y cultural del territorio aun más relevante. El número de turistas que visitan las islas y Morón se ha incrementado paulatinamente, alcanzando en el año 2001 los 157,500 visitantes, lo que a su vez guarda una correlación directa con el crecimiento de la población en el municipio (que supera la tasa de 25 por mil), pues al brindarle mayores ingresos a la región se eleva la tendencia a aumentar la natalidad y más significativamente el saldo migratorio hacia la provincia, en primer lugar, y hacia el municipio de Morón, en particular, lo que hace que la población crezca a razón de 1,540 habitantes por año.

Los estudios realizados a diversas escalas desde inicios de la década de 1980, han permitido establecer las bases más adecuadas para el ordenamiento del territorio, tanto insular como de la zona norte de la provincia Ciego de Ávila, y han posibilitado comprobar que el turismo ejerce una importante influencia en las características de la población de la provincia y en algunos de sus cambios, como son la estructura por sexos, las migraciones y la participación de la población en la actividad económica. Además, el turismo ha inducido cambios en el uso del espacio aumentando la red de servicios e industrias vinculadas a él, está generando una reanimación en la construcción de viviendas, ha provocado un contraste importante en el nivel adquisitivo de una parte de la población lo cual repercute en las diferencias sociales, el consumo y el cambio de hábitos de conducta y valores de esta población.

Con toda certeza esta región está sentando las bases para el desarrollo de un notable destino turístico y esto requerirá de estudios más detallados de ordenamiento y gestión territorial, así como del análisis de los impactos sociales y culturales que se están produciendo y que pueden estimular o coartar el futuro desarrollo sostenible de la región.

El territorio de las Playas del Este de La Habana se localiza aproximadamente a 20 minutos del centro de la ciudad y abarca un área de 2,690 ha; se vincula con el centro de La Habana y con el importante polo turístico de Varadero y su singularidad se debe a su vocación natural turístico-recreativa y sus características físico-espaciales particulares, donde se conjugan un medio urbano y natural valioso, lo que motivó que fuera declarado en 1999 Zona de Alta Significación para el Turismo por el Comité Ejecutivo del Consejo de Ministros.

En su desarrollo se presenta una dualidad, por una parte, como sitio excelente para el desarrollo del turismo internacional y, por otra, como lugar de veraneo para los habitantes de La Habana y del turismo nacional, que durante décadas han constituido los usuarios habituales, fundamentalmente de los sectores de playas con arenas. La capacidad total de alojamiento actual (turismo nacional e internacional) es de 2,704 habitaciones entre villas, hoteles y apartoteles, además de otras 363 habitaciones en arrendamiento de viviendas particulares. Existen unas 4,220 viviendas y unos 21,000 habitantes en todo el polo turístico, destacándose Guanabo como el sector más residencial y el centro de servicios de la población residente.

El principal recurso natural lo constituye su litoral de 15,6 km de extensión, de los cuales 12,6 km son de playa de buena calidad, con un ancho promedio de arena de 30 m. En las áreas marinas existe un paisaje submarino de gran belleza y habitan una gran variedad de especies vegetales y animales, por lo que su vocación turística es esencialmente de sol y playa combinada con actividades náuticas y el turismo ecológico principalmente asociado a sus fondos marinos y las áreas protegidas existentes en el área (Laguna del Cobre-Itabo y Rincón de Guanabo).

Los principales problemas ambientales existentes en el territorio están asociados con:

- § Déficit de agua potable y subutilización de los acueductos existentes.
- § Problemas con los líquidos residuales por el vertimiento de albañales a la playa.
- § Mal drenaje de las vías principales, déficit de alcantarillado e inundaciones provocadas por el desbordamiento de los ríos en épocas de lluvias intensas.
- § Construcciones y/o restos de ellas encima de las dunas y de la playa.
- § Erosión y pérdida de la arena de la playa.
- § Afectación a la calidad ambiental de las playas por la elevada cantidad de usuarios, especialmente en el verano y déficit de servicios complementarios para los visitantes por un día.
- § Deterioro del paisaje por el inadecuado diseño y/o localización de instalaciones y servicios en el área (DPPF. Ciudad de La Habana, 2003; Remond *et al.*, 2003).

Según diversas estimaciones, la zona recibe más de 250,000 personas al día en verano y alrededor de 50,000 en invierno, lo que implica la masificación estacional de algunas porciones de la playa, especialmente los sectores de Boca Ciega y Guanabo, y una demanda de servicios aun insatisfechos, lo que contribuye a acrecentar los problemas ya señalados para el territorio.

Como forma de dar continuidad a los trabajos realizados desde la década de los años 80 en el área y por las nuevas demandas de crecimiento del turismo internacional, en este territorio se trabaja actualmente en un proyecto de investigación conjunto con la Universidad de Málaga, España, para la planificación y gestión sostenible del turismo mediante el empleo de los sistemas de información geográfica.

Por la necesidad de obtener resultados concretos que sirvan para la planificación y gestión del turismo y su relación con la población residente en el área, se ha trabajado a una escala 1: 2,000, lo que posibilita



la inclusión en el SIG de las instalaciones y viviendas como polígonos, lo que ha requerido de un arduo trabajo de levantamiento de la información necesaria para la alimentación del sistema.

Finalmente, con el propósito de diferenciar la calidad ambiental de los sectores de playas en el área de estudio, se utilizaron diversos indicadores, como la presencia de basureros y su relación con los contenedores de basura existentes, calles en mal estado, áreas de playa erosionada, restos de construcciones, rompimiento de la duna, vertimiento de aguas albañales a la playa, calles potencialmente inundables, contaminación de la playa e instalaciones sobre la playa y su zona de protección, entre otros, lo que permitió ordenar a los sectores de playas en función de su problemática ambiental (Remond *et al.*, 2003).

El municipio de Viñales, con un área aproximada de 700 km<sup>2</sup> y localizado en la porción centro norte de la provincia Pinar del Río, extremo occidental de Cuba, a unos 25 kilómetros al norte de la capital provincial, constituye uno de los territorios interiores de Cuba más conocidos en el ámbito internacional

e incluido en una de las regiones naturales más peculiares y bellas de nuestro país, por lo excepcional de sus paisajes, donde se combinan alturas de rocas metamórficas de edad jurásica cubiertas de bosques de pinos y encinos, al sur y al norte, con montañas kársticas del Cretácico, conocidas localmente como “mogotes”, valles intramontanos, marginales o de contacto, de elevada fertilidad como el conocido Valle de Viñales e importantes sistemas cavernarios.

En este valle se desarrolla una agricultura tradicional, especialmente con plantaciones de tabaco y frutos menores, lo que junto a las casas tradicionales de los campesinos (“bohíos”), y la arquitectura del pueblo de Viñales, fundado en 1875, han permitido que se desarrolle una cultura de muy rica historia y gran diversidad de costumbres y tradiciones, lo que hizo que la región fuera declarada, en 1979, Monumento Natural Nacional por el Ministerio de Cultura de Cuba y en el año 2001 Paisaje Cultural de la Humanidad por la UNESCO.

En la actualidad se trabaja en la declaración del Parque Nacional Viñales que incluirá una porción del valle del mismo nombre y la mayor parte de las sierras cársticas que lo rodean, integrando un paisaje de alto valor científico y estético, que constituye una importante región florística y faunística del país, con una alta diversidad biológica y numerosas especies endémicas y en diversas categorías de protección.

En las últimas décadas, el área ha conocido un importante desarrollo de la actividad turística, asociada con el disfrute de los elevados valores de su naturaleza. Por ello ha sido considerada como una región turística especial, en la cual los atractivos principales se consideran el patrimonio natural y cultural de la zona y donde la modalidad de desarrollo turístico que se implemente debe estar acorde con los principios de la protección y conservación de estos valores.

Las principales ramas económicas en el municipio Viñales son el turismo (con unas 200 habitaciones en tres hoteles de la Cadena Horizontes y más de

200 casas particulares que arriendan habitaciones a los visitantes en el pueblo, recibéndose durante el año 2002 más de 70,000 turistas), la agricultura (fundamentalmente asociada al cultivo del tabaco), la actividad forestal y la pecuaria. Más del 70 % del área municipal está cubierta por bosques de pinos asociados a las Alturas de Pizarra del Norte y el Sur, y bosques semidecíduos y vegetación de mogote en las sierras y mogotes kársticos.

La población del municipio, según datos del año 2002, es de 27,111 personas, de ellas 13,935 hombres y 13,176 mujeres, con una tasa anual de crecimiento de 0,6 % y una densidad de 38,51 habitantes por km<sup>2</sup>. Del total de población del municipio, el 60 % está en edad laboral, el 47,8 % es población económicamente activa y el 47,33 % es rural.

A partir de marzo del año 2003 hemos comenzado a coordinar, conjuntamente con las autoridades y la población de Viñales, la realización de los estudios de base necesarios para la puesta en marcha de la Agenda 21 Local de este municipio, cuyos objetivos básicos son:

- § realizar el diagnóstico ambiental del municipio de Viñales mediante el uso de indicadores seleccionados y otros instrumentos de investigación participativa.
- § contribuir a la elaboración del Plan de Manejo del Parque Nacional Viñales.
- § diseñar e implementar un Sistema de Información Geográfica (SIG) que apoye el proceso de la investigación.
- § establecer los compromisos necesarios entre los diferentes actores sociales, económicos y políticos del municipio para avanzar en el desarrollo sostenible del mismo.

Hasta el momento se han realizado los trabajos correspondientes a la recopilación y análisis de la amplia información existente sobre el territorio, la

digitalización y entrada de información al SIG, la confección del mapa de unidades de paisaje a escala 1: 25,000, recorridos de campo y talleres participativos con la población, lo que permitió la elaboración del diagnóstico de la situación ambiental, económica y social en el municipio, el cual, después de una discusión y concertación con los diferentes actores existentes en el área, permitirá alcanzar el necesario consenso para avanzar en los compromisos de la Agenda 21 local de Viñales, aspecto de suma importancia y de gran novedad en nuestro país.

La implementación de una Agenda Local 21 como foro participativo y base de los compromisos entre las instituciones, el gobierno municipal y los ciudadanos para avanzar en el desarrollo sostenible de este municipio, permitirá solucionar a corto y mediano plazos los problemas que han sido detectados en este estudio, avanzando hacia la sustentabilidad económica, social y ambiental del municipio de Viñales y facilitando el acceso a proyectos de inversión para el desarrollo de nuevas y variadas alternativas para el territorio (Prats, 1999; Salinas *et al.*, 2004).

## Conclusiones

- § El ordenamiento del territorio es necesario como fundamento de la planificación ambiental, al establecer que el territorio es patrimonio del desarrollo, portador de recursos naturales y humanos (frágiles, vulnerables y finitos), recurso económico (ya que genera bienes y servicios), y finalmente, escenario de vida. Por esto se requiere de un adecuado manejo y gestión.
- § Por otro lado, se puede apuntar que el ordenamiento ecológico, ambiental o territorial es también un proceso técnico del planeamiento y, por lo tanto, debe ser flexible, continuo y a largo plazo; siendo, por último, holístico y sistémico, ya que además de ser ambiental, es social, económico, político y administrativo,

debiendo traducirse en una zonificación de las capacidades y potenciales del territorio (oferta u objeto de la planificación) para determinada actividad socio-económica (demanda o sujeto de la planificación).

- § El ordenamiento del territorio debe plantearse necesariamente dentro de un enfoque holístico y sistémico que permita trascender la naturaleza específica de los conflictos que se generan en el territorio para replantearlos en un contexto global. Por ello se convierte en un instrumento de gestión que deberá orientar la distribución espacial del desarrollo permitiendo la integración de las políticas nacionales, regionales y locales.
- § La cultura del ordenamiento del territorio busca generar cambios de actitudes y valores, creación de destrezas y habilidades en las instituciones y en la sociedad para pasar de ser administradores de recursos a gerentes del desarrollo.
- § La incorporación de los conceptos de potencial, impacto, capacidad de carga y capacidad de acogida en nuestras investigaciones nos ha permitido acercarnos de forma teórico-metodológica y práctica a la realidad y permite una utilización mayor de nuestros trabajos para la solución de problemas concretos del desarrollo socio-económico del país.
- § La aplicación de los principios teórico-metodológicos aquí presentados contribuyen ya, en Cuba, a la elaboración de planes y programas de desarrollo más objetivos que posibilitan la utilización óptima de los potenciales de los paisajes, haciendo más efectiva la planificación y la gestión ambiental en sus diferentes niveles.
- § La implementación de las Agendas 21 locales permitirá avanzar en uno de los retos más importantes de la planificación, el ordenamiento y la gestión de los territorios, que es precisamente la participación en este proceso de todos los actores



implicados, buscando alcanzar el compromiso de marchar de forma conjunta hacia el desarrollo sostenible.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, P. y J. Pérez. 2000. Impacto ambiental del desarrollo del turismo en las islas del archipiélago Jardines del Rey, Cuba, en *Geographicalia*, Zaragoza. Publicación no seriada, pp.139-149.
- Acevedo, P. y S. Barcia. 2003. La degradación ambiental inducida por el desarrollo del turismo en las pequeñas islas, en el ejemplo de Cayo Coco, Archipiélago Jardines del Rey (Cuba). En: A. Cappaci (ed.). *Paisaje, ordenamiento territorial y turismo sostenibl.*, Universidad degli Studi di Génova, Génova, pp. 1-12.
- Almeida J.R. et al. 1993. *Planeamiento Ambiental*. Editorial Thex, Río de Janeiro, Brasil, 154 pp.
- Asamblea Nacional del Poder Popular. 1997. Ley N° 81 del Medio Ambiente. *Gaceta Oficial de la República de Cuba*. La Habana, Edición extraordinaria, pp. 47-68.
- Barragán, J.M. 2003. Medio ambiente y desarrollo en áreas litorales. Introducción a la planificación y gestión integradas. Servicios de Publicaciones Universidad de Cádiz, 301 pp.
- Bailey, R.G. 1996. *Ecosystem Geography*. USDA Forest Service, Springer-Verlag, New York, 104 pp.
- Bastian, O. y U. Steinhardt. 2002. *Development and Perspectives of Landscape Ecology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 498 pp.
- Baume, O., O. Bastian y M. Roder. 1994. Entwicklung und Stand der geographischen Landschaftsforschung in Kuba. *Petermanns Geographische Mitteilungen* 138: 235-244, Gotha, Alemania.
- Bolós, M. de (dir.). 1992. *Manual de Ciencia del Paisaje: Teoría, métodos y aplicaciones*. Editorial Masson, Barcelona, España, 273 pp.
- Burel, F. y J. Baudry. 2002. *Ecología del paisaje. Conceptos, métodos y aplicaciones*. Ediciones Mundi- Prensa, Madrid, 353 pp.
- Caballero, J.V. 1997a. El programa de Europa 2000. Apreciaciones Conceptuales y metodología para la ordenación del territorio. *Cuadernos Geográficos* 27: 253-265.
- . 1997b. Los conceptos geográficos de los documentos de planificación física: el caso de la Charte de L'île de France. *Cuadernos Geográficos* 27: 267-274.
- Capacci, A. (ed.). 2003. *Paisaje, ordenamiento territorial y turismo sostenible*. Università degli Studi di Genova, Génova, 205 pp.
- Compan, D. 1992. Planificación y ordenamiento territorial, material para un curso de postgrado. Universidad de Granada, 123 pp.
- Consejo de Europa. 1983. Carta Europea de la Ordenación del Territorio aprobada en la 6ta CEMAT celebrada en Torremolinos, España, 4 pp.
- . 2000. Convención Europea del Paisaje. Congreso de poderes locales y regionales de Europa, Florencia, 12 pp.
- Dourojeanni, A. 2000. *Procedimientos de Gestión para el Desarrollo Sustentable*. Naciones Unidas, Santiago de Chile, 408 pp.
- Dirección Provincial de Planificación Física Ciudad de La Habana (DPPF). 2003. Ordenamiento territorial del polo turístico Playas del Este. Resumen Ejecutivo. Noviembre, 21 pp.
- Farina, A. 1998. *Principles and Methods in Landscape Ecology*. Chapman and Hall, 345 pp.
- Forman, R.T.T. y M. Godron. 1986. *Landscape Ecology*. John Wiley and Sons, New York, 619 pp.
- Friedmann, J. 1991. Planificación para el siglo XXI: El desafío del Postmodernismo. *Eure* XVIII(55): 79-89.
- Gabiña, J. 1998. *Prospectiva y ordenación del territorio: Hacia un proyecto de futuro*. Marcombo, S.A., Barcelona, 182 pp.
- Gastó, J., P. Rodrigo e I. Aránguiz. 2002. *Ordenación territorial, desarrollo de predios y comunas rurales*. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal. Pontificia Universidad Católica de Chile, LOM Ediciones, Santiago de Chile, 998 pp.
- GEF/PNUD. 1999. Protección de la Biodiversidad y desarrollo Sostenible en el Ecosistema Sabana- Camaguey.

Proy. GEF/PNUD Sabana-Camaguey, CUB/92/G31, Cuba, 314 pp.

Geneletti, D. 2002. *Ecological Evaluation for Environmental Impact Assessment*. Geographical Studies 301, Amsterdam, 218 pp.

Gobierno de Navarra 2002. Ley Foral 35/2002, de 20 de diciembre, de Ordenación del Territorio y Urbanismo. BON numero 156, Pamplona, 98 pp.

Gómez Orea, D. 2002. *Ordenación territorial*. Editorial Agrícola Española y Mundi-Prensa, Madrid, España, 704 pp.

González-Bernaldez, F. 1981 *Ecología y paisaje*. Editorial H. Blume, Madrid, 250 pp.

González, R., E. Salinas, S. Montiel, R. Remond, P. Acevedo y A. Herrera. 2003. Programa estatal de ordenamiento territorial, Baja California Sur, México, 987 pp.

Gudiño, M.E. 2003. Desafíos para el neoliberalismo. Ordenamiento territorial y planificación estratégica. *Proyección 2*. Revista del CIFOT, Universidad de Cuyo, Mendoza, pp.33-40.

Hildenbrand, A. 1996. Política de Ordenación del Territorio en Europa. Universidad de Sevilla-Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía, Sevilla, España, 76 pp.

INE-SEMARNAP. 1996. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. *Gaceta Ecológica* 40: 84-120.

Instituto de Planificación Física. 1999. Ley de Ordenamiento Territorial y el Urbanismo (proyecto) Ministerio de Economía y Planificación, La Habana, 32 pp.

Lavanderos, L., J. Gasto y P. Rodrigo. 1994. *Hacia un ordenamiento ecológico-administrativo del territorio*. Sistemas de Información Territorial. Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad Católica de Valparaíso y Corporación Chile Ambiente, 197 pp.

Mantobani, J.M. 1997. El ordenamiento territorial ¿política social o política económica? VI Encuentro de Geógrafos de América Latina, Buenos Aires, 9 pp.

Massiris, A. 2001. Cualidades y desafíos de las políticas latinoamericanas de OT. En: Coloquio Geográfico sobre



América Latina. Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, 14 pp.

Mateo, J. 1991. Geoecología de los Paisajes. Apuntes para un curso de postgrado. Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela, 222 pp.

———. 2000 Geografía de los paisajes (3 partes). Universidad de La Habana, 436 pp.

———. 2005. La concepción sobre los paisajes vista desde la Geografía. Universidad de La Habana, 29 pp.

Mateo, J. y A. Mauro. 1994. Análise da paisagem como base para una estrategia de organizacao geoambiental. Corumbatai (SP), UNESP, Río Claro, 29 pp.

Mateo, J., E. Salinas y J.L. Guzmán. 1985. El análisis de los paisajes como fundamento para la planificación de los territorios. Primera Jornada sobre Planificación Regional, y Urbana, IPF-JUCEPLAN, La Habana, 18 pp.

Méndez, E. 2002. *Municipio: ordenación del territorio y gestión ambiental*. Universidad de los Andes, Mérida, 227 pp.

Navarro, E. 2003 *¿Puede seguir creciendo la Costa del Sol? Indicadores de Saturación de un destino turístico*. Colección Monografías 23, Servicio de Publicaciones, Diputación Provincial de Málaga, 360 pp.

- Naveh, Z. y A.S. Liebermann. 1984. *Landscape Ecology: Theory and Application*. Springer Verlag; New York, 341 pp.
- NC 93-06-101. 1987. Paisaje. Términos y definiciones. Sistema de Normas para la Protección del Medio Ambiente. Comité Estatal de Normalización, La Habana, 15 pp.
- Negrete, G. 2003. Espacio, territorio y ordenamiento, Dirección de Ordenamiento Ecológico General del Territorio, INE, México (publicación en soporte magnético).
- Ortega, F. 1997. Conceptos de paisaje y opciones de intervención. *Cuadernos Geográficos* 26: 153-173.
- Prats, F. (dir.). 1999. *Calviá Agenda Local 21. La Sostenibilidad de un Municipio Turístico*. Ajuntament de Calviá, 94 pp.
- Pujadas, R. y J. Font. 1997. *Ordenación y planificación territorial: espacios y sociedades*. Serie Mayor, No. 8, Editorial Síntesis, Barcelona, 399 pp.
- Quintela, J. 1995. El inventario, el análisis y el diagnóstico geocológico de los paisajes mediante el uso de los SIG. Tesis de doctorado. Universidad de La Habana, 105 pp.
- Quintela, J., R. Seco y E. Salinas. 2001. Geomorphological and Landscape Mapping of the Cuyutlan Lagoon, Mex., GIS for Natural Environment Mapping. *GIM International* 7 (15): 44-47.
- Remond, R., E. Salinas, Y. Del Risco, P. Acevedo, E. Navarro y R. Cortés. 2003. Diagnóstico ambiental de playas del Este, La Habana, Cuba. Resultados preliminares del proyecto de colaboración entre la Universidad de Málaga y la Universidad de La Habana, 52 pp.
- Romani, V. 1996 La planificación del paesaggio: appunti per una traccia metodológica orientativa. En: G. Campioni, Adele Caucci, Luciano Piazza, Ines Romitti, Lorenzo Vallerini (coord.). *La pianificazione del paesaggio e l'ecologia della Città*. Editorial Alinea, Roma, pp. 17-23.
- Rougerie, G. y N. Beroutchachvili. 1991. *Geosystemes et Paysages, Bilan et Methodes*. Collection Geographie, Editorial Armand Colin, París, 302 pp.
- Salas, E. 2002. *Planificación ecológica del territorio. Guía metodológica*. Universidad de Chile y GTZ, 93 pp.
- Salinas, E. 1988. Methodical contribution to landscape analysis and evaluation for territorial planning with special reference to Key Coco, Cuba, *Ecosystem Management in Developing Countries*. Volumen 2, UNEP, Nairobi, pp. 305- 326.
- . 1991. Análisis y evaluación de los paisajes en la planificación regional en Cuba. Tesis de doctorado, Universidad de la Habana, 187 pp. (inédito)
- . 1994. El ordenamiento geocológico en la planificación regional en Cuba, *Medio Ambiente y Urbanización* 49: 89-99, Buenos Aires, Argentina.
- . 2001. Landscape Ecology as a basis for Regional Planning in Cuba. En Zee, D. van der y I. S. Zonneveld (eds.). *Landscape Ecology Applied in Land Evaluation, Development and Conservation. Some worldwide selected examples*. Enschede, ITC publication 81, pp. 181- 194.
- . 2004. Los paisajes como fundamento del ordenamiento ambiental. Experiencias y perspectivas, Convención Trópico 2004, La Habana (formato digital), 22 pp.
- Salinas, E., P. Acevedo, Y. Del Risco, R. Remond, R. Tortajada y F. Alonso. 2004. Viñales: una agenda local 21 para el desarrollo sostenible. Convención Trópico 2004, La Habana (formato digital), 14 pp.
- Salinas, E. y J. Middleton (eds.). 1998. Landscape Ecology as a Tool for Sustainable Development in Latin America, libro electrónico, ([www.brocku.ca/epi/lebk/lebk.html](http://www.brocku.ca/epi/lebk/lebk.html)).
- Salinas, E., J. Quintela y R. González. 2001. Ordenamiento Ecológico Territorial Estado de Hidalgo. *Periódico Oficial del Estado*. Tomo CXXXIV No. 14, 2 de Abril del 2001, 473 pp.
- Salinas, E., J. Mateo y R. Machado. 1993. Estudios Geográficos y Clasificación de los Paisajes de Cuba. En: *Latinoamérica. Territorios y países en el Umbral del siglo XXI*. I Congreso Nacional de Geografía sobre Latinoamérica, Edit. MAPFRE América Tarragona, España, pp. 401-411.

- Salinas, E. y J. Quintela. 2000. Paisajes y ordenamiento territorial. Obtención del mapa de paisajes del Estado de Hidalgo en México a escala media con el apoyo de los SIG, *Alquibla, Revista de Investigaciones del Bajo Segura* 7: 517-527.
- Schlotfeldt, C. 1998. El ordenamiento territorial ambiental: una tarea factible. Documento Serie Azul 20. Instituto de Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile, 66 pp.
- Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL). 2000. Guía metodológica para el análisis y la caracterización de los subsistemas natural, social y económico. Versión interinstitucional (SEMARNAP-SEDESOL-CONAPO-INEGI). Aprobada por el grupo interinstitucional de Ordenamiento Territorial, México.
- SEDESOL, UNAM. 2002. *Programas estatales de ordenamiento territorial*. Segunda Parte. Guía Conceptual y Metodológica para el Diagnostico Integrado del Sistema Territorial. Instituto de Geografía, UNAM, México, 176 pp.
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE). 1988. *Manual de Ordenamiento Ecológico del Territorio* (documento central). Subsecretaría de Ecología, México, 355 pp.
- Zoido F. y C. Venegas. 2002. *Paisaje y ordenación del territorio*. Consejería de Obras Publicas y Transporte/ Fundación Duques de Soria, Junta de Andalucía, Sevilla, 353 pp.
- Zonneveld, I.S. 1995. *Land Ecology*. SPB Academic Publication Amsterdam, 199 pp.



---

Este artículo se recibió el 21 de febrero de 2005. Su revisión final se aceptó el 20 de junio de 2005.  
Las imágenes son de Helyn Davenport y Thomas Barbey.

# ¡Súmate a la cuenta!

Del 4 al 29 de octubre...



Un representante del INEGI, debidamente identificado con su credencial, visitará tu domicilio para preguntarte datos de la vivienda, los hogares y las personas que viven en ella.

Contestar es importante y sencillo...  
Recuerda, tu información es de interés para el país.

01 800 111 46 34  
atencion.usuarios@inegi.gob.mx

¡México cuenta con el INEGI!



[www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx)

# La sustentabilidad agrícola: un análisis jerárquico

J.A. ZINCK,<sup>1</sup> J.L. BERROTERÁN,<sup>2</sup> A. FARSHAD,<sup>1</sup>  
A. MOAMENI,<sup>3</sup> S. WOKABI<sup>4</sup> Y E. VAN RANST<sup>5</sup>

<sup>1</sup> ITC, PO Box 6, 7500 AA Enschede, Holanda

<sup>2</sup> Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Instituto de Zoología Tropical, Caracas, Venezuela

<sup>3</sup> Soil and Water Research Institute, North Kargar Avenue, Jalale Ale, Teherán, Irán

<sup>4</sup> Kenya Soil Survey, KARI, PO Box 14733, Nairobi, Kenia

<sup>5</sup> Ghent University, Laboratory of Soil Science, Krijgslaan 281 (S8), B-9000 Ghent, Bélgica

**Resumen.** Como el concepto de sustentabilidad no puede medirse directamente, se requieren indicadores para determinar los niveles y las variaciones espacio-temporales que presenta la sustentabilidad de una determinada actividad. Este artículo analiza la sustentabilidad agrícola en cuatro niveles jerárquicos: el sistema de manejo de la tierra, el sistema de cultivo, el sistema de producción y el sistema del sector agrícola como un todo. Se aplicaron diferentes enfoques metodológicos y técnicas, empleando indicadores simples o compuestos, para evaluar la sustentabilidad agrícola en cada nivel mediante un estudio de caso.

**Palabras clave:** agricultura sostenible, sistema de manejo de la tierra, sistema de cultivo

**Abstract.** *This paper brings together several case studies in which different methodological approaches and techniques mobilizing single or composite indicators were applied to assess agricultural sustainability at four hierarchical levels, including the land management system, the cropping system, the farming system, and the agricultural sector system.*

**Keywords:** *sustainable agriculture, land management system, cropping system*



## INTRODUCCIÓN

Agricultura sustentable implica, entre otras cosas, conservación de los sistemas naturales a largo plazo, producción óptima con reducidos costos de pro-

ducción, adecuado nivel de ingreso y beneficio por unidad de producción, satisfacción de las necesidades alimentarias básicas, y suficiente abastecimiento para

cubrir las demandas y necesidades de las familias y comunidades rurales (Brown *et al.*, 1987; Liverman *et al.*, 1988; Lynam y Herdt, 1989). Todas las definiciones de agricultura sustentable promueven armonía ambiental, económica y social para cumplir con el significado del concepto de sustentabilidad. Por ser un concepto, la sustentabilidad no puede medirse directamente, por lo que se requieren indicadores adecuados para determinar el nivel y la duración de la sustentabilidad (Zinck y Farshad, 1995; Bell y Morse 1999). Si se acepta que la agricultura es una jerarquía de sistemas anidados (Fresco, 1986; Conway, 1987; Giampietro y Pastore, 2001), un indicador de sustentabilidad es una variable que permite describir y monitorear procesos, estados y tendencias de los sistemas de producción agrícola en diferentes niveles jerárquicos.

Este artículo reúne y contrasta varios estudios de caso en los cuales se aplicaron diferentes enfoques metodológicos y diferentes técnicas, que emplean indicadores simples o compuestos para evaluar la sustentabilidad agrícola en cuatro niveles jerárquicos, incluyendo el sistema de manejo de la tierra,

el sistema de cultivo, el sistema de producción y el sistema del sector agrícola nacional (cuadro 1) (Zinck *et al.*, 2004). El primer estudio de caso (Irán) analiza el sistema de manejo de la tierra a nivel de unidades de suelo individuales; utiliza gráficos de control de calidad estadístico para evaluar el estado de fertilidad del suelo y su efecto en la sustentabilidad agrícola. El segundo estudio de caso (Kenia) se concentra en el sistema de cultivo a nivel de parcela; emplea el análisis de la brecha de rendimientos para evaluar la sustentabilidad de la productividad de los cultivos. El tercer estudio (Irán) se refiere al sistema agrícola a nivel de la unidad de producción (la finca); hace uso del análisis del balance energético para comparar la sustentabilidad de sistemas agrícolas tradicionales y modernos. El último estudio de caso (Venezuela) concierne al sector agrícola como un todo; utiliza un índice agregado para monitorear la sustentabilidad de la actividad agrícola a nivel regional/nacional. En cada caso se implementa un enfoque metodológico adaptado al nivel jerárquico en estudio. Se pone a prueba su aptitud para evaluar la sustentabilidad y se resaltan sus limitaciones.

CUADRO 1. LA AGRICULTURA COMO JERARQUÍA DE SISTEMAS Y LA SECUENCIA DE LOS ENFOQUES APLICADOS A LA EVALUACIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD AGRÍCOLA

NIVEL JERARQUICO	UNIDAD	INDICADOR	ENFOQUE / TÉCNICA
Sistema de manejo de la tierra	Unidad de suelo	Propiedad de suelo	Control de calidad
Sistema de cultivo	Parcela	Rendimiento del cultivo	Brecha de rendimientos
Sistema de producción	Finca	Entradas y salidas	Balance energético
Sistema del sector agrícola	Región o país	Índices parciales	Índice agregado
		§ agrodiversidad	
		§ eficiencia del sistema	
		§ recurso tierras	
		§ seguridad alimentaria	

Fuente: adaptado de Zinck *et al.*, 2004.

En condiciones ideales, un intento como el que se propone aquí debería realizarse en el contexto de un solo y mismo país en todos los niveles categóricos de la jerarquía agrícola, para así lograr una correcta agregación e integración de los datos, indicadores y enfoques de evaluación. Hasta ahora, en apariencia, no se ha logrado un intento de esta naturaleza. A menudo se ha discutido y llamado la atención sobre la necesidad de integrar los diferentes enfoques de evaluación, pero más desde un punto de vista conceptual que a través de casos concretos de aplicación, anidados en un marco jerárquico a nivel de un mismo país (Bell y Morse, 1999; Giampietro y Pastore, 2001). Este artículo analiza de manera crítica las bondades y limitaciones de varios enfoques de evaluación de la sustentabilidad agrícola, específicos de cada nivel jerárquico de esta actividad, con el fin de contribuir a que se logre algún día la deseada integración metodológica. Para ello se han empleado datos provenientes de diferentes países.

#### EL SISTEMA DE MANEJO DE LA TIERRA: GRAFICO DE CONTROL DE CALIDAD

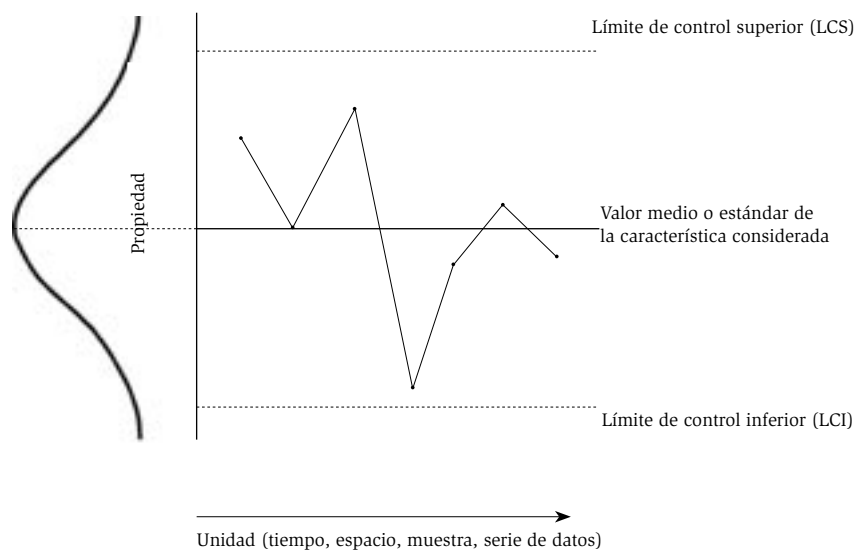
##### EL ENFOQUE

Usualmente, los agricultores y campesinos, tanto los que laboran en sistemas tradicionales como los que operan en sistemas modernos, adaptan sus prácticas de manejo a las propiedades de cada unidad de suelo. Estas propiedades sufren modificaciones y, a menudo, un claro deterioro provocado

por el uso prolongado y/o intensivo, lo que conduce a cambios en la calidad del suelo. Su estado en determinado momento y su tasa de evolución a través del tiempo proveen indicación sobre la sustentabilidad de un tipo de utilización de las tierras, en una unidad de suelo sujeta a determinadas prácticas de manejo, por comparación con valores de referencia que reflejen aptitud óptima para cultivos específicos. Se han usado métodos estadísticos, incluyendo análisis de regresión y de varianza, para diseñar modelos para las variaciones de las propiedades de suelo en el tiempo y espacio y para evaluar el efecto de los cambios de calidad edáfica causados por un mal manejo. Larson y Pierce (1994) han sugerido que los gráficos de control de calidad estadístico (*statistical quality control charts* o SQC), comúnmente utilizados para controlar la variabilidad de procesos en la industria manufacturera de bienes y servicios, podrían ser instrumentos estadísticos adecuados para evaluar y monitorear los cambios en la calidad del suelo (figura 1).

Cuando se utilizan gráficos de control para evaluar la calidad de suelo, hay que hacer una distinción entre

FIGURA 1: FORMA BÁSICA DEL GRÁFICO DE CONTROL ESTADÍSTICO DE CALIDAD



Fuente: adaptado de Ryan, 1989; Larson y Pierce, 1994.



límites de control estadístico, calculados con base en procedimientos estadísticos, y límites de control de metas basados en normas de suficiencia o aceptación. Por ejemplo, la media de una población de datos que describe una propiedad de suelo puede estar bajo control estadístico, por encontrarse entre el límite de control superior (LCS) y el límite de control inferior (LCI), fijados generalmente a valores de 3-sigma (3 desviaciones estándar), y sin embargo, caer por debajo de un valor umbral crítico indicando aptitud marginal. En este sentido, se necesitan normas de calidad del suelo para determinar lo que es bueno o malo y detectar si un determinado sistema de manejo de tierras está funcionando a un nivel aceptable de desempeño (Doran y Parking, 1994). El LCS y el LCI para evaluar calidad de suelo y tomar decisiones con respecto al manejo de tierras deberían basarse en niveles de tolerancia conocidos o deseados, o derivarse de la varianza media obtenida a partir de datos de desempeño pasado (Larson y Pierce, 1994).

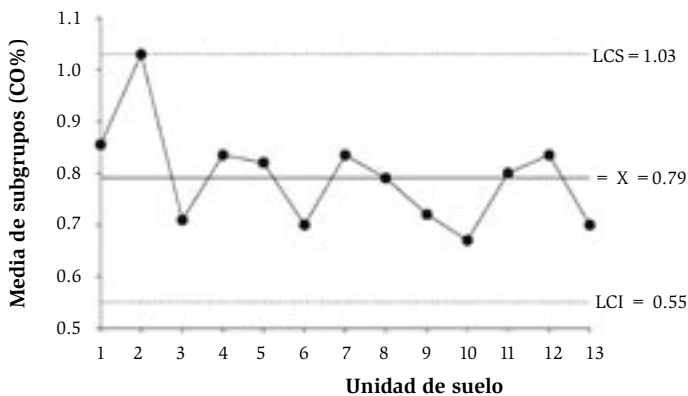
#### ESTUDIO DE CASO (IRÁN)

Se aplicó la técnica SQC a un conjunto de datos proveniente de la planicie de Marvdasht, una cuenca intramontana semiárida a 1,500 m de altitud, ubicada en la provincia de Fars, en el corazón del antiguo imperio persa, en el suroeste de Irán. Los suelos son esencialmente Aridisoles calcáreos y salinos, localmente asociados con suelos poco desarrollados de tipo Entisol. Las precipitaciones anuales son de 150-200 mm. La temperatura media anual es de 17°C, con veranos calientes e inviernos fríos (Moameni, 1999). Esta área ha sido cultivada por siglos con trigo de riego, lo que ha causado cambios sustanciales en la calidad del suelo. En tiempos recientes se ha intensificado considerablemente el sistema de producción agrícola para satisfacer la creciente demanda de alimentos, con aplicación masiva de agroquímicos y mecanización pesada. Esto ha dado lugar a una severa degradación

de tierras, especialmente a una pérdida de la fertilidad y a compactación del suelo, y ha llevado a plantearse la cuestión de la sustentabilidad del sistema moderno de manejo y uso de las tierras. Para evaluar el grado de severidad de la degradación de tierras se aplicó un esquema sistemático de muestreo de suelos en una cuadrícula de 500 x 500 m, arrojando un total de 2,100 puntos de observación. En cada intersección de la cuadrícula se tomaron muestras compuestas de la capa arable (0-25 cm) para determinación del carbono orgánico, junto con otros aspectos influenciadas por el manejo de las tierras tales como nitrógeno total, fósforo disponible, potasio disponible y densidad aparente. La cuadrícula de muestreo se sobrepuso en un mapa de suelos semi-detallado, escala 1:50,000, y para cada unidad de suelo se seleccionó al azar un conjunto de 20 puntos para formar subgrupos estadísticamente representativos de la población de datos con distribución normal. Lo anterior se hizo con el fin de realizar un análisis estadístico y control de calidad (Moameni y Zinck, 1997).

La figura 2 muestra la gráfica del carbono orgánico del suelo. Las medias de los 13 subgrupos considerados, que representan 13 unidades de suelo, caen entre los límites de control superior e inferior. Desde el punto de vista estadístico, la propiedad carbono orgánico se encuentra bajo control y su variabilidad se estabilizó al nivel de 3-sigma. La dispersión de las medias de subgrupos alrededor del valor promedio de todos los subgrupos (0.79%) resulta relativamente estrecha, indicando qué prácticas de manejo similares podrían aplicarse en todas las unidades del mapa de suelos, para mantener el nivel actual de carbono orgánico. Pero el control estadístico no revela si el nivel actual de carbono orgánico es suficiente para garantizar un desempeño rentable y sostenido de los cultivos producidos en el área, porque los límites de control estadístico no corresponden a valores meta. El promedio 0.79% se encuentra por debajo del valor de aceptación para una propiedad edáfica tan dinámica

FIGURA 2. GRÁFICO DE CONTROL DE CALIDAD BASADO EN LÍMITES ESTADÍSTICOS PARA EL CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO (CO%). SUBGRUPOS DE 20 OBSERVACIONES ESCOGIDAS AL AZAR EN CADA UNIDAD DE SUELO



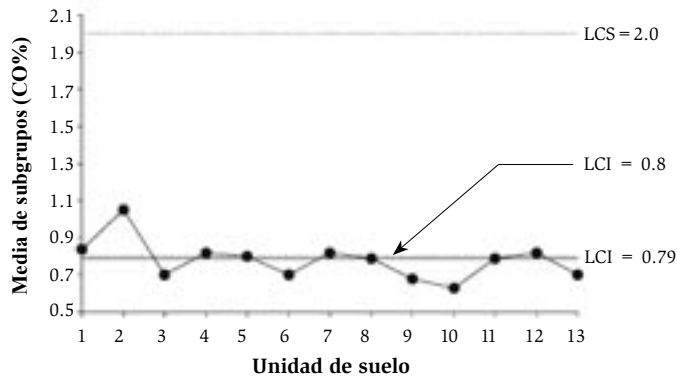
Fuente: adaptado de Moameni y Zinck, 1997.

y tan subordinada al manejo como lo es el carbono orgánico. Inclusive el LCS de 1.03% no se acerca al nivel de adecuación requerido para obtener un buen rendimiento de trigo, el principal cultivo alimenticio en el área.

Con el fin de transformar el gráfico de control estadístico en un gráfico de control de metas, se

seleccionaron normas de suficiencia de fertilidad para el cultivo de trigo de acuerdo con diversas fuentes bibliográficas (Sys *et al.*, 1991). Para construir el gráfico del carbono orgánico para producción de trigo se adoptaron los valores de 0.8% y 2% como límites de aceptación superior e inferior, respectivamente (figura 3). Los subgrupos 3, 6, 9, 10 y 13 caen por debajo del LCI, mientras que otros subgrupos coinciden con el LCI o se encuentran cerca del mismo. Todas estas unidades de suelo están fuera de control desde el punto de vista de la sustentabilidad, lo cual refleja un manejo inadecuado y un uso agotador del suelo. El balance de carbono orgánico está fuera de control. Solamente en la unidad de suelo 2 el contenido de carbono orgánico resulta apto para la producción sostenida de trigo. En todas las demás unidades se requiere aplicación masiva de composta y/o estiércol.

FIGURA 3. GRÁFICO DE CONTROL DE CALIDAD BASADO EN LÍMITES DE SUFICIENCIA PARA EL CONTENIDO DE CARBONO ORGÁNICO EN EL SUELO (CO%). SUBGRUPOS DE 20 OBSERVACIONES ESCOGIDAS AL AZAR EN CADA UNIDAD DE SUELO



Fuente: adaptado de Moameni y Zinck, 1997.

## CONCLUSIÓN

La técnica SQC es útil para evaluar el control que ejercen las propiedades edáficas específicas sobre la sustentabilidad de un determinado tipo de uso y sistema de manejo de las tierras en cada unidad de suelo. Los gráficos de control pueden aplicarse solamente a propiedades individuales de suelo, ya que estas últimas tienen diferentes umbrales de LCS y LCI. Los límites estadísticos son adecuados para monitorear el comportamiento de una población de datos a través del tiempo, pero tienen que ser sustituidos por patrones de aceptación/suficiencia en evaluación de sustentabilidad. Una

limitación importante del SQC es que se requieren amplios conjuntos de datos para permitir la selección al azar de subgrupos a partir de la población total y controlar la distribución normal de los datos.

#### EL SISTEMA DE CULTIVO: EL ANALISIS DE LA BRECHA DE RENDIMIENTOS

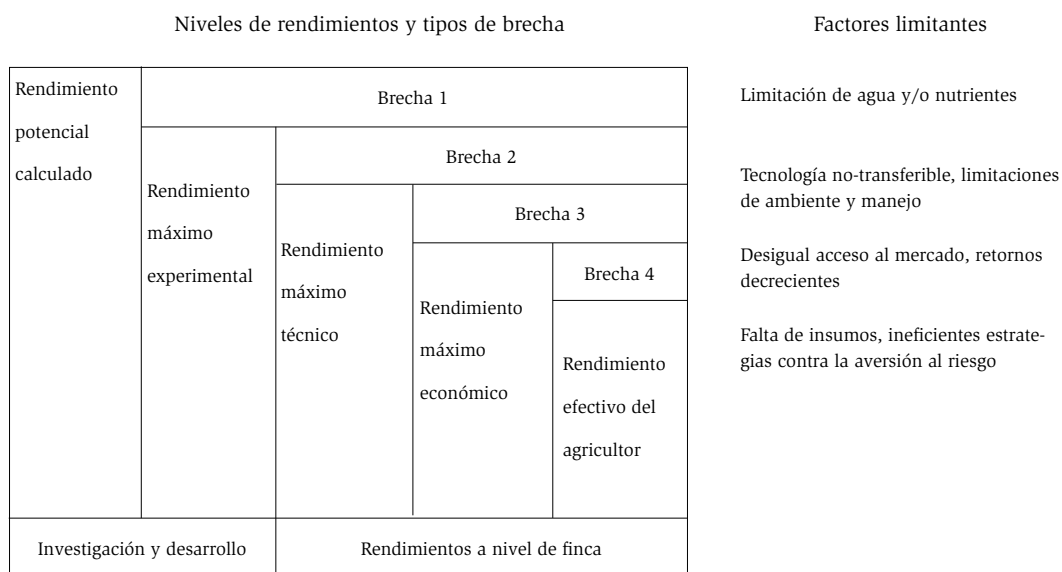
##### EL ENFOQUE

Una parcela cultivada en el seno de una unidad de producción agrícola incluye usualmente varias unidades de suelo. Las diferencias de propiedades entre unidades de suelo se encuentran a menudo enmascaradas por la aplicación de prácticas de manejo indiferenciadas a un cultivo específico sobre toda la extensión de la parcela. Por lo tanto, el sistema de cultivo representa un nivel escalar apropiado para evaluar la sustentabilidad dentro de la jerarquía de sistemas que constituye la actividad agrícola. El rendimiento es un buen indicador de la productividad de un cultivo,

porque permite evaluar a la vez la sustentabilidad biológica y la sustentabilidad económica de un sistema de cultivo. Rara vez se obtiene el rendimiento máximo de una parcela debido a una serie de limitaciones, tales como: invasión de malezas, inadecuada fertilización, presencia de plagas y enfermedades y mal manejo en general. De esto resulta frecuentemente una brecha entre el rendimiento efectivo y el rendimiento esperado. El análisis de la brecha de rendimientos (ABR) permite medir la distancia entre el rendimiento real de campo y el rendimiento potencial, identificar las causas de la brecha y formular estrategias para elevar los rendimientos obtenidos por los agricultores a niveles más altos de productividad sustentable de las tierras. La brecha de rendimientos ha sido propuesta como un adecuado indicador del manejo sustentable de tierras (Bindraban *et al.*, 2000; Dumanski y Pieri, 2000).

Se han desarrollado modelos conceptuales de los factores que causan y explican las brechas de rendimientos (Gomez, 1979; De Datta, 1981; Tang *et al.*, 1992; Ye y Van Ranst, 2002). La figura 4 muestra un

FIGURA 4. MODELO CONCEPTUAL DE LA BRECHA DE RENDIMIENTOS



Fuente: adaptado de Fresco *et al.*, 1994.

modelo conceptual de esta naturaleza (Fresco *et al.*, 1994), el cual describe las brechas entre rendimiento potencial calculado, rendimiento máximo a nivel de estación experimental y rendimiento efectivo del agricultor. Para explicar la existencia de brechas se invocan factores a la vez biofísicos y socio-económicos.

Para analizar brechas de rendimientos hay que comenzar por establecer niveles, incluyendo rendimientos calculados, experimentales y reales. Existen diversos modelos para predecir o simular rendimientos de cultivos, como modelos estadísticos, determinísticos, estocásticos y empíricos. Entre estos, la modelización determinística de simulación representa un enfoque interesante, que permite predecir niveles de rendimientos por orden consecutivamente decreciente al incrementarse sucesivamente las limitaciones que afectan la producción de los cultivos (por ejemplo, deficiencias de agua, de nutrientes, de prácticas agrícolas). Un ejemplo de modelo determinístico es el enfoque de World Food Studies (WOFOST) (Driessen y Van Diepen, 1987), el cual ha sido utilizado para simular el crecimiento de cultivos anuales bajo diferentes niveles de producción. Los rendimientos obtenidos por agricultores tradicionales y campesinos, que no acostumbran llevar registros de producción, se determinan generalmente con base en mutuo acuerdo entre productor y técnico, por cosecha y pesada de la cosecha durante varios años consecutivos en un área de dimensión conocida en la parcela (técnica del corte de cultivo).

#### ESTUDIO DE CASO (KENIA)

Se aplicó el análisis de la brecha de rendimientos a un conjunto de datos de Kenia, recolectado en la finca experimental del Embu Regional Research Center y en parcelas campesinas de los alrededores, ubicadas a aproximadamente 1,500 m de altitud en el piedemonte oriental del Monte Kenia (Wokabi, 1994). La precipitación media anual del área es de 1,250 mm, repartidos en dos períodos de lluvia por



año (610 mm durante la estación I de marzo a julio y 400 mm durante la estación II de octubre a enero). El rango de temperatura media anual es de 18 a 21° C. Los suelos son predominantemente Humic Nitisols (Ustic Palehumults) arcillosos, desarrollados a partir de fonolitas meteorizadas, con moderado nivel de fertilidad natural. Las tierras se encuentran distribuidas en pequeñas parcelas en manos de campesinos que practican una agricultura tradicional, con producción destinada mayormente al autoconsumo. Los principales cultivos alimenticios son el maíz, el frijol y los plátanos. Se produce también café para el mercado local. Cada familia cría unas pocas vacas lecheras en establo. Se seleccionó el maíz para conducir el análisis de la brecha de rendimientos, ya que éste es el cultivo alimenticio más importante en el área.

#### *Niveles de rendimientos*

Se obtuvieron datos sobre rendimientos experimentales en maíz a partir de una serie temporal de ensayos

de fertilización conducidos durante el período de 1986-1993 (Wokabi, 1994). Se implementó el modelo WOFOST para calcular los rendimientos potenciales máximos y los rendimientos limitados por deficiencia de agua durante el mismo período. La producción de maíz limitada por deficiencia de agua corresponde básicamente a las condiciones de la agricultura de secano y se encuentra, por lo tanto, teóricamente al alcance de los agricultores, si se aplican apropiadas prácticas de manejo. Los datos sobre rendimientos reales a nivel de finca se generaron utilizando la técnica del corte de cultivo, cuando el maíz estaba listo para cosechar en seco, en lotes de 10 x 10 m distribuidos al azar a través de las parcelas de los campesinos durante el período de 1992-1993. Los valores medios de los rendimientos potencial, limitado por agua, experimental y campesino fueron, respectivamente, 12.9, 5.8, 4.4 y 4.1 t ha<sup>-1</sup> para las dos estaciones de lluvia combinadas del período 1986-1993.

Los rendimientos potenciales calculados para la estación I durante el período 1986-1993 son bastante uniformes, con media de 13.3 t ha<sup>-1</sup> y un coeficiente de variación de 1%. Los rendimientos calculados con base en deficiencia de agua para el mismo período revelan un coeficiente de variación algo más alto, de 19%, con una media de 5.8 t ha<sup>-1</sup>. En la estación II los rendimientos potenciales calculados tienen una media de 12.5 t ha<sup>-1</sup> y un coeficiente de variación de 1%. Los rendimientos calculados con limitación de agua tienen un coeficiente de variación de 49% y una media de 5.8 t ha<sup>-1</sup>. El amplio coeficiente de variación de la estación II puede atribuirse a variaciones interanuales de humedad más altas. Los rendimientos experimentales para la estación I durante un período de seis años, con un 50% de probabilidad, se estiman en 4.6 y 3.7 t ha<sup>-1</sup> con y sin aplicación de fertilizantes, respectivamente. Para la estación II, los resultados son 3.4 y 2.1 t ha<sup>-1</sup>. Los rendimientos obtenidos por los campesinos varían entre 2.5 y 3.8 t ha<sup>-1</sup>, con una

media de 3.4 t ha<sup>-1</sup> para la estación I. Para la estación II el rango de variación es 3.8-5.6 t ha<sup>-1</sup>, con una media de 4.7 t ha<sup>-1</sup>. En general, las variaciones interanuales no son excesivas, de manera que los valores promedio pueden usarse para el análisis de la brecha de rendimientos.

#### *Brechas de rendimientos*

Para el lapso 1986-1993, el cual puede considerarse un período de investigación de mediana duración, la magnitud de las brechas de rendimientos disminuye en el siguiente orden: brecha 4 > brecha 1 > brecha 5 > brecha 2 > brecha 3, para ambas estaciones de lluvia I y II (cuadro 2 y figura 5).

La brecha de rendimientos 1 refiere a la diferencia entre el rendimiento calculado potencial y el rendimiento calculado con deficiencia de agua (116% y 129%). El factor que contribuye más a la brecha de rendimientos es la limitación de humedad. En la determinación del rendimiento potencial se supone que la disponibilidad de humedad es óptima. Si las lluvias son suficientemente abundantes y bien distribuidas, la brecha de rendimientos puede ser pequeña y hasta insignificante en estaciones excepcionalmente favorables. Esta brecha puede estrecharse mediante prácticas agrícolas que faciliten el uso eficiente de la humedad disponible en un ambiente determinado. Tales prácticas incluyen, entre otras, la preparación de la tierra, la siembra y el control de malezas en momentos oportunos, combinados con la aplicación de composta o estiércol para mejorar la estructura del suelo, intensificar la actividad biológica y, por consecuencia, aumentar la capacidad de almacenamiento de humedad en el suelo.

La brecha de rendimientos 2 se refiere a la diferencia entre rendimiento calculado con deficiencia de agua y rendimiento experimental (23% y 38%). En la determinación del rendimiento limitado por agua se supone que el único factor que restringe el crecimiento

CUADRO 2. NATURALEZA Y MAGNITUD DE LAS BRECHAS DE RENDIMIENTOS DE MAÍZ EN EMBU (1986-1993)

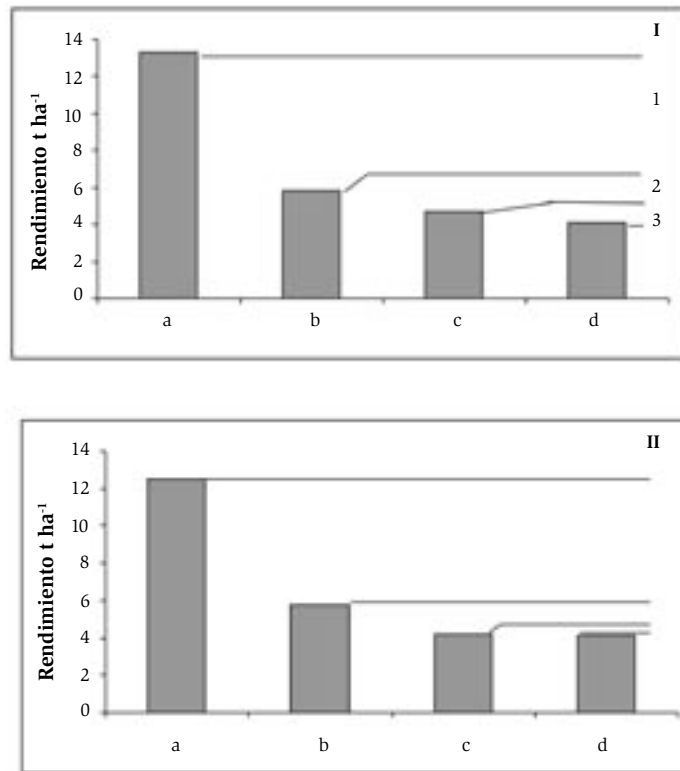
TIPO DE RENDIMIENTO	RENDIMIENTO EN GRANOS (t ha-1)	% DEL RENDIMIENTO POTENCIAL	BRECHA DE RENDIMIENTOS		
			t ha-1	%	No.
<i>Estación de lluvia I</i>					
Rendimiento potencial	13.3	100	7.5	129	1
Rendimiento limitado por agua	5.8	44	1.1	23	2
Rendimiento experimental	4.7	35	0.6	15	3
Rendimiento del agricultor	4.1	31			
Rendimiento potencial	13.3	10			
Rendimiento experimental	4.7	33			
Rendimiento limitado por agua	5.8	38	8.6	183	4
Rendimiento del agricultor	4.1	25			
<i>Estación de lluvia II</i>					
Rendimiento potencial	12.5	100			
Rendimiento limitado por agua	5.8	46	6.7	41	5
Rendimiento experimental	4.2	34	6.7	116	1
Rendimiento del agricultor	4.1	33	1.6	38	2
Rendimiento potencial	12.5	100	0.1	2	3
Rendimiento experimental	4.2	34	8.3	198	4
Rendimiento limitado por agua	5.8	46			
Rendimiento del agricultor	4.1	33	1.7	41	5

Fuente: adaptado de Wokabi, 1994.

del cultivo es la disponibilidad de humedad aportada por las lluvias, tal como ocurre en la agricultura de secano. En condiciones experimentales de secano, el crecimiento del cultivo puede verse afectado no solamente por la escasez de lluvia, sino también por la insuficiencia de insumos (por ejemplo, fertilizantes y estiércol), así como por brotes de malezas, plagas y enfermedades. Esta brecha es relativamente pequeña, lo que indica que las posibilidades de incrementar los rendimientos experimentales de maíz en Embu son limitadas, aún cuando la aplicación de insumos externos fuese óptima.

La brecha de rendimientos 3 describe la diferencia entre rendimiento experimental y rendimiento de los agricultores (2% y 15%). Un desempeño inadecuado de los cultivos a nivel de finca puede resultar de varios factores, tales como: la falta de fertilización, las pérdidas causadas por plagas y enfermedades, los daños a los cultivos por pájaros y animales silvestres, entre otros. Es posible disminuir esta brecha de rendimientos mediante la preparación oportuna de tierras, la aplicación de fertilizantes y estiércol en cantidades adecuadas, el control eficiente de plagas, enfermedades y malezas, y siembra temprana de variedades de

FIGURA 5: BRECHAS DE RENDIMIENTOS EN MAÍZ PARA LAS ESTACIONES DE LLUVIA I Y II EN EMBU



a = rendimiento potencial; b = rendimiento limitado por agua; c = rendimiento experimental; d = rendimiento del agricultor; 1, 2 y 3 = brechas de rendimientos.

Fuente: adaptado de Wokabi, 1994.

maíz adaptadas. Estas actividades de remediación deben ser apoyadas por asistencia técnica, facilidades de crédito y políticas de precios, que estimulen a los agricultores a incrementar los rendimientos de maíz bajo condiciones de sustentabilidad.

La brecha de rendimientos 4 que mide la diferencia entre el rendimiento potencial calculado y el rendimiento experimental (183 % y 198 %), es considerablemente alta y refleja el efecto decisivo de la insuficiencia de lluvia en la disminución de los rendimientos.

La brecha de rendimientos 5 corresponde a la diferencia entre rendimiento calculado con deficiencia de agua y rendimiento de los agricultores (41 % y 41 %), y es posiblemente, entre todas, la más importante a

considerar y es indudablemente más significativa, desde el punto de vista de la sustentabilidad, que la brecha de rendimientos 3 que mide lo rezagado de los rendimientos obtenidos por los agricultores en relación con los rendimientos experimentales. El rendimiento simulado con limitación de agua representa una meta realista para la agricultura de secano, alcanzable siempre que se utilicen los insumos necesarios y se apliquen las prácticas de manejo adecuadas. Por lo tanto, la brecha de rendimientos 5 señala la magnitud del esfuerzo necesario para elevar los rendimientos campesinos aproximadamente 40 % por encima del nivel actual, lo que haría la actividad agrícola sustentable.

## CONCLUSIÓN

La producción de alimentos puede incrementarse mediante la expansión del área cultivada y/o mediante el mejoramiento de los rendimientos en las superficies ya cultivadas. En muchos países, la posibilidad de aumentar la extensión de tierras arables es limitada debido a que la disponibilidad de tierras no usadas está disminuyendo rápidamente o las tierras todavía disponibles son de calidad marginal o simplemente no son aptas para la agricultura. Si bien existen posibilidades de cultivar tierras de bajo potencial productivo, éstas son generalmente frágiles y susceptibles de degradación cuando se manejan de manera inadecuada. Esto significa que los agricultores deberían esforzarse para obtener rendimientos máximos posibles de cada pedazo de tierras cultivadas, lo que implica el uso de altas cantidades de fertilizantes, plaguicidas y herbicidas. Una aplicación desbalanceada de estos insumos incrementa el riesgo de destruir los ecosistemas naturales y, en consecuencia, de disminuir la sustentabilidad de la productividad de las tierras. Por lo tanto, la meta a alcanzar debería ser la de rendimiento máximo sustentable, no la del máximo rendimiento posible (Schaller, 1993). El análisis de la brecha de rendimientos no indica por sí mismo qué nivel de rendimiento es sustentable, pero apunta a niveles de productividad de los cultivos más altos que los rendimientos de los agricultores, los cuales son alcanzables con insumos adicionales y prácticas de manejo mejoradas. Esto permite identificar oportunidades de rendimiento residual y fijar metas. Si el agricultor logra llevar el rendimiento a un nivel más alto, su actividad agrícola va a ser más lucrativa y, en consecuencia, económicamente más sustentable.



## EL SISTEMA DE PRODUCCION: EL ANALISIS DEL BALANCE ENERGETICO

### EL ENFOQUE

Uno o más sistemas de cultivo, a veces combinados con otras actividades tales como la cría de ganado o la artesanía, pueden ser considerados como un sistema agrícola a nivel de la unidad de producción (o finca). Un sistema agrícola sustentable es política y socialmente aceptable, económicamente viable, agrotécnicamente adaptable, institucionalmente manejable, y ambientalmente saludable, de acuerdo con el modelo de los seis pilares (Smyth y Dumanski, 1993; Farshad y Zinck, 2001). Satisfacer todos estos requerimientos de sustentabilidad y los correspondientes criterios analíticos es una tarea compleja, tanto que el modelo probablemente nunca va a poder ser aplicado en todos sus componentes a un determinado sistema agrícola o a una región. Métodos parciales de evaluación de la sustentabilidad, que enfocan una faceta en particular, resultan más prácticos de implementar, aunque los mismos puedan generar incertidumbre en cuanto a la sustentabilidad de conjunto de los agro-ecosistemas (Zinck y Farshad, 1995).

El enfoque del balance energético permite aproximarse a la complejidad de un sistema agrícola al expresar insumos y productos en la misma unidad de medición, lo que los hace comparables con fines



de evaluación de la sustentabilidad agrícola. Los agroecosistemas dependen de formas de energía a la vez ecológicas y agrícolas. La energía ecológica incluye la radiación solar para fotosíntesis y condiciones atmosféricas apropiadas, mientras que la energía agrícola incluye componentes biológicos (por ejemplo, mano de obra, estiércol) e industriales. Cuando un sistema natural, capaz de producir cierta cantidad de biomasa portadora de energía, se convierte en agroecosistema, se excede su límite natural de capacidad productiva, por el hecho de habersele agregado insumos energéticos adicionales. Cuanto mayor es la adición de energía externa, tanto más puede sobrepasarse la capacidad natural del sistema, pero en detrimento de su sustentabilidad. Gracias a esta relación, la razón de balance energético de un agroecosistema es un indicador relativamente comprensivo de su sustentabilidad. Ya que los datos sobre consumo de energía resultan a menudo difíciles de obtener o carecen de precisión, el análisis del balance energético (ABE) requiere comprobar esos datos mediante entrevistas múltiples y mediciones directas *in-situ*, como por ejemplo, determinar el rendimiento del cultivo utilizando la técnica del corte directo en la parcela del agricultor.

#### ESTUDIO DE CASO (IRÁN)

El estudio de caso se desarrolló en el área de Hamadan-Komidjan, un paisaje de planalto enclavado en la cadena montañosa de Zagros a 1,750 m de altitud, en la provincia de Hamadan situada en el oeste de Irán (Farshad y Zinck, 2001). El clima es de tipo estepario semiárido, con veranos suaves e inviernos muy fríos. Las precipitaciones anuales, incluyendo nieve, son de 320-350 mm y la temperatura media anual es de 11° C. Los suelos más comúnmente utilizados para la agricultura son Xerochrepts delgados a moderadamente espesos. El trigo es el cultivo principal en esta área, donde coexisten la agricultura tradicional y la

agricultura moderna, a pesar de que aquella tiende a desaparecer.

#### *La agricultura moderna*

Los sistemas agrícolas modernos utilizan agua de pozos profundos y de represas artificiales, semillas mejoradas, maquinaria pesada (por lo menos tractores), fertilizantes químicos, herbicidas y plaguicidas. La introducción de nuevas fuentes de energía, nueva tecnología y maquinaria pesada ha cambiado la relación entre insumos y productos, en comparación con el sistema agrícola tradicional. La producción de cultivos, la cría de animales y las industrias rurales dejaron de ser actividades interdependientes a nivel de finca, como ocurre todavía en la agricultura tradicional.

La agricultura moderna en Irán se basa en una serie de operaciones altamente mecanizadas, que consumen grandes cantidades de energía en términos de mano de obra y uso de maquinaria. La energía consumida para la producción mecanizada de trigo ( $41.8 + 10.5 = 52.3 \text{ Gj ha}^{-1}$ ) es aproximadamente la mitad de la energía producida ( $99.5 \text{ Gj ha}^{-1}$ ), lo que arroja una razón de entradas/salidas del orden de 1 a 2 (cuadros 3, 4 y 5).

#### *La agricultura tradicional*

La agricultura tradicional utiliza el arado de madera con tracción animal, semillas locales, agua suministrada por *ghanat* (túnel subterráneo para captación y conducción de agua), por *cheshmeh* (manantial) y/o por cosecha del escurrimiento superficial, estiércol y otros insumos internos a la finca, sin maquinaria agrícola pesada y sin agroquímicos. La datación radiométrica ( $^{14}\text{C}$ ) de un suelo enterrado por debajo de escombros apilados alrededor de la boca de un pozo de acceso a un *ghanat* reveló que el túnel que intercepta los acuíferos del piedemonte para conducir el agua a un oasis irrigado, en una planicie adyacente,

CUADRO 3. ENERGÍA DIRECTA CONSUMIDA POR EL SISTEMA MECANIZADO DE PRODUCCIÓN DE TRIGO

INSUMO	TIEMPO (hr ha-1)	NÚMERO DE TRATAMIENTOS	COMBUSTIBLE (L ha-1)	VALOR ENERGÉTICO	ENERGÍA TOTAL REQUERIDA (Gj ha-1)
Pase de arado	5	2	40	42.7 Mj L-1	3,416
Nivelación	1	1	10	42.7 Mj L-1	0,427
Siembra	1	1	15	42.7 Mj L-1	0,640
Riego	7	5-6	150	42.7 Mj L-1	35,227
Cosecha	2	-	40	42.7 Mj L-1	1,708
Transporte	-	-	5	42.7 Mj L-1	0,213
Mano de obra	110	-	-	1.9 Mj hr-1	0,210
Total	126	-	260	-	41,841

Fuente: adaptado de Farshad y Zinck, 2001.

tenía por lo menos 700 años de antigüedad (Farshad y Zinck, 1998). Esto da una idea de la longevidad de los sistemas tradicionales de uso de las tierras y aguas en esta área, antes de su desintegración en tiempos recientes.

Una unidad de producción tradicional es un sistema complejo de actividades interrelacionadas y ejecutadas por una familia. El sistema incluye tres componentes principales: la producción de cultivos, la cría de ganado y la artesanía. La integración funcional y la distribución temporal de estas actividades exigen que todos los miembros del núcleo familiar participen en las labores de tiempo completo durante todo el año. Los animales domésticos más comunes son bueyes, vacas, ovejas, cabras, gallinas y palomas. Se producen huevos, carne, productos lácteos, harina de trigo y cebada, legumbres, frutos, cuero y lana. Esta amplia variedad de productos generados en la finca permite mitigar los riesgos climáticos (por ejemplo, períodos de sequía) y económicos (por ejemplo, fluctuaciones de los precios de mercado).

La agricultura tradicional consume poca energía (6.1 Gj ha<sup>-1</sup>) para producir una cantidad relativamente grande (46.8 Gj ha<sup>-1</sup>). Esto da una razón de entradas/salidas del orden de 1 a 8, que es mucho mejor que la razón de 1 a 2 alcanzada por el sistema mecanizado (cuadros 6 y 7). Si se asumiera que la razón de 1:8 del sistema tradicional representa el umbral de sustentabilidad en esta región, entonces el sistema mecanizado se encontraría al borde de la insustentabilidad. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que el sistema moderno produce dos veces más trigo por unidad de superficie que el tradicional, lo que lo hace más apto para satisfacer, por lo menos a corto plazo, la creciente demanda del mercado. Desafortunadamente, la maquinaria pesada utilizada en la agricultura moderna causa severa compactación de suelo, la cual lleva, en última instancia, a una disminución de los rendimientos. Mediante modelos de simulación, se ha estimado que la reducción del rendimiento del trigo podría ser del orden de dos toneladas por hectárea como consecuencia del efecto de la mecanización sobre el deterioro de la porosidad del suelo (Farshad *et al.*, 2000).

CUADRO 4. ENERGÍA INDIRECTA CONSUMIDA POR EL SISTEMA MECANIZADO DE PRODUCCIÓN DE TRIGO

INSUMO	CANTIDAD (KG HA-1)	VALOR ENERGÉTICO (MJ KG-1)	ENERGÍA TOTAL REQUERIDA (GJ HA-1)
Nitrógeno (N)	34	75	2,550
Fósforo (P)	48	13	0,624
Insecticida	1	180	0,180
Semilla	250	18	4,500
Maquinaria	30	87	2,610
Total	-	-	10,464

Fuente: adaptado de Farshad y Zinck, 2001.

CUADRO 5. ENERGÍA GENERADA POR EL SISTEMA MECANIZADO DE PRODUCCIÓN DE TRIGO

PRODUCCIÓN	RENDIMIENTO (KG HA-1)	VALOR ENERGÉTICO (MJ KG-1)	ENERGÍA GENERADA (GJ HA-1)
Grano	3.750	14	52,5
Paja	4.700	10	47,0
Total	-	-	99,5

Fuente: adaptado de Farshad y Zinck, 2001.

## CONCLUSIÓN

El análisis del balance energético tiene la ventaja de expresar todos los parámetros de entrada y salida del sistema agrícola en una sola y misma unidad de medición. Esto permite elaborar razones de entradas/salidas y comparar diferentes sistemas agrícolas en términos cuantitativos para evaluar su sustentabili-

CUADRO 6. ENERGÍA CONSUMIDA POR EL SISTEMA TRADICIONAL DE PRODUCCIÓN DE TRIGO

INSUMO	VALOR ENERGÉTICO	CANTIDAD (HA-1)	ENERGÍA TOTAL REQUERIDA (GJ HA-1)
Mano de obra	2.1 Mj hr-1	330 horas	0,69
Tracción animal	2.9 Mj hr-1	190 horas	0,56
Maquinaria	0.4 Mj L-1	60 L gasoil	0,024
Fertilizante	60 Mj kg-1	50 kg	2,99
Estiércol	1 kj kg-1	1.600 kg	0,002
Semilla	14 Mj kg-1	130 kg	1,795
Total	-	-	6,061

Fuente: adaptado de Farshad y Zinck, 2001.

CUADRO 7. ENERGÍA GENERADA POR EL SISTEMA TRADICIONAL DE PRODUCCIÓN DE TRIGO

PRODUCCIÓN	VALOR ENERGÉTICO (MJ KG-1)	CANTIDAD (KG HA-1)	ENERGÍA GENERADA (GJ HA-1)
Grano	14	2.000	28,438
Paja	9	2.000	18,400
Total	-	-	46,838

Fuente: adaptado de Farshad y Zinck, 2001.

dad. El concepto de flujo de energía representa una buena base para examinar un sistema agrícola desde el punto de vista económico y ambiental, sin embargo, toma en cuenta un número limitado de los criterios contemplados en el modelo de los seis pilares. Un enfoque más holístico para evaluar la sustentabilidad de los sistemas agrícolas necesitaría implementar conjuntamente técnicas complementarias para asegurar

el efecto de transversalidad a través del modelo de los pilares.

## **EL SISTEMA DEL SECTOR AGRÍCOLA: EL ÍNDICE**

### **AGREGADO DE SUSTENTABILIDAD**

#### EL ENFOQUE

El conjunto de los sistemas agrícolas que operan en una región o sobre un territorio nacional conforma un sector de actividad o de producción llamado el sector agrícola. Para evaluar la sustentabilidad de un área tan compleja como ésta es necesario utilizar una amplia gama de indicadores para asegurar que todos los aspectos pertinentes estén bien cubiertos. Por coherencia, los indicadores pueden agruparse en familias de criterios que describen los componentes biofísicos, agronómicos, sociales, económicos y políticos del sector agrícola. A este nivel superior de la jerarquía de los sistemas agrícolas, cuatro dominios de criterios adquieren particular relevancia: la agrobiodiversidad, la eficiencia del agrosistema, el uso del recurso tierra y la seguridad alimentaria. Los siguientes indicadores resultan apropiados para medir estos criterios: (1) para la agrobiodiversidad: el índice de dominancia de cultivos, el factor de la agrobiodiversidad regional de cultivos, la variabilidad genética de los cultivos, la variabilidad de la superficie ocupada por los cultivos principales; (2) para la eficiencia del agrosistema: el rendimiento, la brecha de rendimientos, la razón ingreso/costo, el índice de paridad; (3) para el uso del recurso tierra: una serie de razones areales tales como la disponibilidad de tierras/demanda de tierras, la demanda de tierras/tierras cultivadas, tierras cultivadas/tierras deforestadas, tierras degradadas/tierras cultivadas, tierras cultivadas/habitante, tierras regadas/tierras regables; y (4) para la seguridad alimentaria: el índice de producción *per capita*, población agrícola/población total, exportación/importación de bienes agrícolas, y producción de alimentos/suministro de alimentos.

Los indicadores individuales y los índices parciales, calculados con base en unos pocos indicadores, son apropiados para describir componentes específicos o aspectos particulares del sector agrícola, pero resultan limitados para evaluar el sector en conjunto. Hay, por lo tanto, una necesidad de integrar los índices parciales en expresiones más comprensivas de la sustentabilidad. En este contexto, la sustentabilidad de conjunto del sector agrícola a nivel nacional puede ser evaluada mediante un índice agregado, que se obtiene promediando los valores normalizados de los indicadores seleccionados para el efecto del cálculo. Un índice de esta naturaleza sería capaz de aproximar con una sola figura cuantitativa el nivel de sustentabilidad del sector agrícola en un momento determinado y monitorear su evolución en el tiempo, no obstante toda la reserva involucrada en tal simplificación. Este tipo de enfoque se aplicó en el estudio de caso de Venezuela (Berroterán y Zinck, 1997, 2000).

Con el propósito de cuantificar el nivel de sustentabilidad/insustentabilidad alcanzado por la agricultura venezolana durante las últimas dos o tres décadas, se seleccionaron indicadores provistos de series temporales de datos más largas que 20 años para establecer índices parciales. Un plazo de 20 años corresponde aproximadamente al término largo (> 25 años) considerado por Smyth y Dumanski (1993) para el manejo sustentable de las tierras, mientras que este mismo plazo es intermedio entre los términos establecidos por Lal *et al.* (1990) para la sustentabilidad de la productividad agrícola (5-10 años) y la sustentabilidad de la estabilidad ambiental (50-100 años). En el presente estudio de caso, sólo unos pocos indicadores satisficieron el requerimiento del plazo de registro (> 20 años). Los índices parciales que los describen se normalizaron entre 0 y 1 en relación con sus valores máximos. Promediando estos índices parciales se generó un índice agregado de sustentabilidad para años consecutivos, de acuerdo con el método aplicado a los sistemas agrícolas por Hansen y Jones (1996). La

media aritmética de los índices parciales normalizados representa una aproximación gruesa pero razonable de la sustentabilidad del sector agrícola a nivel de una región o de un país. Se representaron gráficamente los valores promedio del índice de sustentabilidad para intervalos de dos y cinco años, respectivamente, para mostrar la tendencia evolutiva de la sustentabilidad en el tiempo.

### ESTUDIO DE CASO (VENEZUELA)

Aproximadamente 80% del territorio venezolano está por debajo de los 400 m de altitud, con temperaturas medias superiores a los 25° C y un régimen de lluvias estacional. Una amplia parte de la producción agrícola se realiza en las planicies de los Llanos, al norte del río Orinoco, especialmente la de cereales que incluyen maíz, arroz y sorgo. El 85% del PIB se deriva de la explotación del petróleo y de la minería. Debido a que la agricultura genera solamente 5% del PIB, una parte sustancial de los alimentos tiene que ser importada.

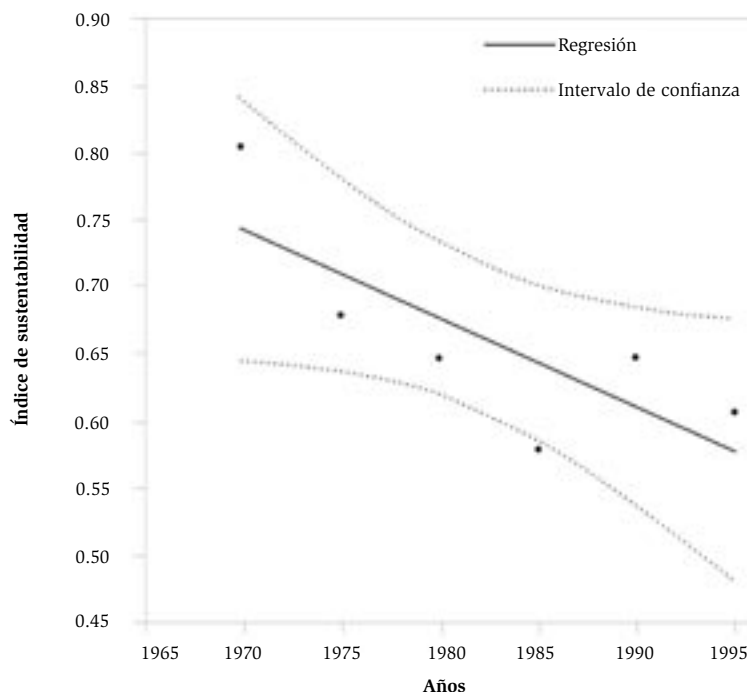
Varios indicadores individuales e índices señalan que la agricultura venezolana tiende hacia un estado de insustentabilidad: bajo índice de dominancia de cultivos (0.06), bajo factor de agrodiversidad regional de cultivos (0.24), insuficiente variación de los principales grupos de cultivos en el tiempo (0.23-0.30), bajo desempeño de los principales cultivos en relación con su productividad potencial (0.43) a pesar de que la producción por hectárea aumentó de 25-50%, baja razón de ingreso/costo (1.1-1.28), bajo índice de paridad (0.6-0.75), desfavorable razón de disponibilidad de tierras/demanda de tierras, deficiente uso de las tierras para el abastecimiento de la demanda de alimentos, baja superficie cultivada por habitante (0.08 ha), desfavorable razón de tierras cultivadas/tierras deforestadas, baja razón de tierras regadas/tierras regables (0.22), alta razón de tierras degradadas/tierras cultivadas (0.76), insuficiente

producción de alimentos en relación a la demanda ( $< 0.5$ ) con tasas de crecimiento negativas, baja razón de exportación/importación (0.19), baja estabilidad del índice de producción de cereales *per capita*, baja proporción de población agrícola (0.09) con tasa de crecimiento negativa.

Seis de estos indicadores están provistos de registros de datos de largo plazo ( $> 20$  años). Estos son los siguientes: la proporción de población agrícola, el índice relativo de producción de cereales *per capita*, el rendimiento de cereales, la producción total de alimentos, la superficie agrícola total y la superficie agrícola por habitante. Estos son los indicadores que se utilizaron para establecer un índice agregado de sustentabilidad (IAS) para intervalos de dos y cinco años. Los valores del índice correspondientes a intervalos de dos años resultaron altamente variables, lo que limitó su idoneidad para establecer un modelo de regresión al nivel de confianza de 95% y obligó a incrementar este nivel a 99% para poder incluir toda la información disponible en el rango de confianza. Esta alta variabilidad temporal del índice refleja la baja estabilidad del sector agrícola nacional y su limitada sustentabilidad. En cambio, los valores del índice calculados para intervalos de cinco años resultaron ser menos variables y pudieron ser ajustados a una regresión lineal con pendiente negativa ( $IAS = 13.8583 - 6.657968 * \text{año}$ ) (figura 6). Lo anterior sugiere que un intervalo de cinco años es un tiempo mínimo para detectar tendencias de sustentabilidad a largo plazo ( $> 25$  años) y mejorar las estimaciones para años futuros. Sin embargo, el análisis de la variabilidad interanual no deja de ser relevante para la evaluación de la estabilidad del sector agrícola a corto plazo.

El grado de desarrollo sustentable puede expresarse en términos de clases de probabilidad tales como fuertemente sustentable ( $> 0.70$ ), débilmente sustentable (0.59-0.70) y no sustentable ( $< 0.59$ ). De acuerdo con este criterio, la sustentabilidad agrícola en Venezuela ha sido sólida hasta mediados de la

FIGURA 6. INDICE AGREGADO DE SUSTENTABILIDAD DEL SECTOR AGRÍCOLA, VENEZUELA ( $R^2 = 0.62$ )



Fuente: adaptado de Berroterán y Zinck, 2000.

década de 1970-1980, pero se debilitó posteriormente. La tendencia de la sustentabilidad agrícola a deteriorarse con el tiempo no podrá mitigarse si no cambian las actuales condiciones de monocultivo de cereales, la creciente degradación de tierras, la baja eficiencia económica y los bajos niveles de producción, en comparación con la productividad genética de los cultivos y a pesar del uso intensivo de insumos.

#### CONCLUSIÓN

A pesar de sus evidentes limitaciones intrínsecas, un simple índice agregado puede dar una visión del nivel de sustentabilidad alcanzado por el sector agrícola a nivel regional o nacional, así como ayudar a detectar cambios en el tiempo. Los indicadores componentes tienen que escogerse de acuerdo con la disponibilidad de datos, la sensibilidad de estos

a cambios temporales y su capacidad de describir en forma cuantitativa el comportamiento del sector agrícola como un todo. El índice necesita ser afinado integrando indicadores adicionales y atribuyendo pesos diferenciales a los indicadores para reflejar mejor su relevancia y dinámica.

#### CONCLUSION GENERAL

La agricultura es una jerarquía de sistemas cuya sustentabilidad puede evaluarse mediante indicadores simples o una combinación de indicadores. En este artículo se aplicaron varios enfoques metodológicos comprensivos, combinando indicadores, a cuatro niveles escalares de la actividad agrícola, incluyendo el sistema de manejo de la tierra, el sistema de cultivo, el sistema de producción y el sistema del sector agrícola.



La pertinencia de los gráficos de control de calidad para evaluar la sustentabilidad del sistema de manejo de las tierras aumenta cuando se utilizan estándares de aceptación/suficiencia como umbrales, en vez de los habituales límites estadísticos de 3-sigma. En el caso de Marvdasht (Irán), las propiedades edáficas, tanto físicas como biológicas y químicas, se han deteriorado severamente debido al monocultivo de trigo durante siglos. Los gráficos de control de calidad revelaron que, si bien el contenido de carbono orgánico está bajo control estadístico, también se encuentra muy por encima de los límites de control de sustentabilidad debido a que, en la agricultura moderna, se ha descuidado o abandonado la aplicación periódica de abonos orgánicos.

El análisis de la brecha de rendimientos, tal como se aplicó en el caso de Embu (Kenia), muestra que los rendimientos de maíz obtenidos por los agricultores son sustancialmente inferiores a los rendimientos experimentales y calculados. Las brechas más amplias son entre los rendimientos potenciales calculados y los rendimientos experimentales (media = 191 %) y entre los rendimientos potenciales calculados y los rendimientos calculados con deficiencia de agua (media = 123%). Esto refleja el efecto negativo de factores tales como la insuficiencia de lluvia, la fertilización inapropiada, el inadecuado control de los ataques de plagas y enfermedades, y otras deficientes prácticas

de manejo. El rendimiento simulado con deficiencia de agua es una meta realista en agricultura de secano, alcanzable si se aplican adecuados insumos y prácticas de manejo. Por lo general, el análisis de la brecha de rendimientos no indica por sí mismo qué nivel de rendimiento es sustentable, pero sí señala oportunidades de rendimiento residual que pueden contribuir a hacer la actividad agrícola más provechosa y, por lo tanto, económicamente más sustentable.

El análisis del balance energético, desarrollado en el caso de Hamadan (Irán), tiene la ventaja de expresar todos los parámetros de insumos y productos en una sola y misma unidad de medición. Las razones de entradas/salidas permiten comparar el desempeño de los diferentes sistemas de producción agrícola vigentes en un área. El sistema tradicional, con una razón de 1:8 parece ser más sustentable que el sistema moderno, con una razón de 1:2. Pero la agricultura mecanizada produce rendimientos más altos y es, por lo tanto, más apta para satisfacer por lo menos a corto plazo, la creciente demanda del mercado de consumo. Esto subraya que el análisis del balance energético no cubre todas las facetas de la sustentabilidad agrícola y tiene que ser combinado con otras técnicas para asegurar un enfoque más holístico.

Finalmente, se utilizó un índice agregado para evaluar la sustentabilidad del sector agrícola a nivel nacional. Todavía no se dispone de algoritmos afinados que permitan colocar pesos diferenciales a indicadores individuales o índices parciales. Sin embargo, en el estudio de caso de Venezuela, un simple índice agregado, basado en la media de una serie de indicadores normalizados, muestra inequívocamente que la sustentabilidad del sistema del sector agrícola ha declinado constantemente durante las últimas décadas.

En este ensayo, los diversos enfoques empleados resultaron apropiados para escalas específicas. Sin embargo, se requiere todavía hacer un gran esfuerzo con fines de integrarlos en un marco metodológico coherente, que permita navegar a través de los niveles jerárquicos del macrosistema agrícola y tomar en cuenta los muchos requerimientos involucrados en un modelo holístico de la sustentabilidad.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bell, S. y S. Morse. 1999. *Sustainability indicators. Measuring the immeasurable*. Earthscan Publications, Londres, Gran Bretaña, 175 pp.
- Berroterán, J.L. y J.A. Zinck. 1997. Indicators of agricultural sustainability at national level. A case study of Venezuela. *ITC-Journal* 1997-3/4, ITC, Enschede, Holanda, CD-ROM, 28 pp.
- . 2000. Indicadores de la sustentabilidad agrícola nacional cerealera. Caso de estudio: Venezuela. *Revista Facultad de Agronomía, LUZ*, Maracaibo, Venezuela, No 17: 130-154.
- Bindraban, P.S., J.J. Stoorvogel, D.M. Jansen, J. Vlaming y J.J.R. Groot. 2000. Land quality indicators for sustainable land management: proposed method for yield gap and soil nutrient balance. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 81: 103-112.
- Brown, B., M. Hanson, D. Liverman y R. Merideth. 1987. Global sustainability: toward definition. *Environmental Management* 11(6): 713-719.
- Conway, G.R., 1987. The properties of agroecosystems. *Agricultural Systems* 24: 95-117.
- De Datta, S.K. 1981. *Principles and practices of rice production*. John Wiley, New York, EE.UU.
- Doran, J.W., Parkin, T.B., 1994. *Defining and assessing soil quality*. SSSA Special Publication No. 35, Madison, Wisconsin, EE.UU., pp.3-21.
- Driessen, P.M., Van Diepen, C., 1987. WOFOST, a procedure for estimating the production possibilities of land use systems. En: K.J. Beek, P.A. Burrough y D.E. McCormack, D.E. (eds.). *Quantified land evaluation procedures*. ITC Publication No. 6, ITC, Enschede, Holanda, pp.100-105.
- Dumanski, J. y C. Pieri. 2000. Land quality indicators: research plan. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 81: 93-102.
- Farshad, A. y J.A. Zinck. 1998. Traditional irrigation water harvesting and management in semiarid Western Iran: a case study of the Hamadan region. *Water International* 23: 146-154.
- . 2001. Assessing agricultural sustainability using the six-pillar model: Iran as a case study. En: S. Gliessman (ed.). *Agroecosystem sustainability: Developing practical strategies*. CRC Press, Boca Raton, pp.137-151.
- Farshad, A., J.A. Zinck y G. Stoops. 2000. Computer-assisted image analysis to assess soil structure degradation: a case study of Iran. Proceedings, International Conference on Geoinformatics for Natural Resource Assessment, Monitoring and Management, 9-11 March 1999, IIRS, Dehradun. Indian Institute of Remote Sensing, National Remote Sensing Agency, India, pp.221-229.
- Fresco, L., 1986. *Cassava in shifting cultivation. A systems approach to agricultural technology development in Africa*. Royal Tropical Institute, Amsterdam, Holanda.
- Fresco, L.O., H. Huizing, H. Van Keulen, H. Luning y R. Schipper. 1994. *Land evaluation and farming systems analysis for land use planning*. FAO, Roma, Italia, 209 pp.
- Giampietro, M. y G. Pastore. 2001. Operationalizing the concept of sustainability in agriculture: Characterizing agroecosystems on a multi-criteria, multiple scale performance space. En: S. Gliessman (ed.). *Agroecosystem sustainability: Developing practical strategies*. CRC Press, Boca Raton, pp.177-202.
- Gomez, K.A. 1979. *On-farm assessment of yield constraints: methodology for identifying constraints to high yield*. International Rice Research Institute, Los Baños, Filipinas.
- Hansen, J. y J. Jones. 1996. A systems framework for characterizing farm sustainability. *Agricultural Systems* 51: 185-201.



- Lal, R., B. Ghuman y W. Shearer. 1990. Sustainability of different agricultural production systems for a rainforest zone of southern Nigeria. *Transactions of 14<sup>th</sup> Int. Congress Soil Science*, Vol. 6: 186-191. Kioto, Japón.
- Larson, W.E. y F.J. Pierce. 1994. *The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management*. SSSA Special Publication No. 35, Madison, Wisconsin, EE.UU., pp.37-51.
- Liverman, D., M. Hanson, B. Brown y R. Merideth. 1988. Global sustainability: toward measurement. *Environmental Management* 12(2): 133 -143.
- Lynam, J. y R. Herdt. 1989. Sense and sustainability as an objective in international agricultural research. *Agricultural Economics* 3: 381-398.
- Moameni, A., 1999. Soil quality changes under long-term wheat cultivation in the Marvdasht plain, south-central Iran. Tesis de doctorado, Ghent University, Bélgica, 284 pp.
- Moameni, A. y J.A. Zinck. 1997. Application of statistical quality control charts and geostatistics to soil quality assessment in a semi-arid environment in south-central Iran. *ITC-Journal 1997-3/4*, CD-ROM, 26 pp.
- Ryan, T. 1989. *Statistical methods for quality improvements*. John Wiley, EE.UU., 437 pp.
- Schaller, N. 1993. Sustainable agriculture and the environment. The concept of agricultural sustainability. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 46: 1-30.
- Smyth, A. y J. Dumanski. 1993. FESLM: An international framework for evaluating sustainable land management. FAO, World Soil Resources Report 73. Roma, Italia.
- Sys, C., E. Van Ranst y J. Debaveye. 1991. *Land evaluation part 1: Principles in land evaluation and crop production calculations*. Agricultural Publications No.7, General Administration for Development Cooperation, Brussels, Bélgica, 274 pp.
- Tang, H., E. Van Ranst y C. Sys. 1992. Modelling approach to predict land production potential for irrigated and rainfed wheat in Pinan County, China. *Soil Technology*, 5: 213-224.
- Wokabi, S. 1994. Quantified land evaluation for maize yield gap analysis at three sites on the eastern slope of Mount Kenya. Tesis de doctorado, Ghent University, Bélgica. ITC Publication 26, ITC, Enschede, Holanda, 289 pp.
- Ye, L. y E. Van Ranst. 2002. Population carrying capacity and sustainable agricultural use of land resources in Caoxian County (North China). *Journal of Sustainable Agriculture* 19(4): 75-94.
- Zinck, J.A. y A. Farshad. 1995. Issues of sustainability and sustainable land management. *Canadian Journal Soil Science* 75: 407-412.
- Zinck, J.A., J.L. Berroterán, A. Farshad, A. Moameni, S. Wokabi y E. Van Ranst. 2004. Approaches to assessing sustainable agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture* 23 (4): 87-109.

---

Este artículo se recibió el 21 de febrero de 2005. Su revisión final se aceptó el 20 de junio de 2005. Las imágenes son de Jeff T. Alu y Rene Asmussen.

# El ordenamiento territorial en la reducción de los desastres naturales en las zonas costeras cubanas

ADA LUISA PÉREZ HERNÁNDEZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Planificación Física, Cuba. Correo-e: ada\_luisa@ipf.cu.

**Resumen.** La experiencia cubana del ordenamiento territorial en la reducción de los desastres naturales en las zonas costeras parte de los mapas de peligro y de los instrumentos de planeación y gestión de los espacios físicos. Su objetivo es elaborar políticas territoriales que se materializan con el trabajo interdisciplinario e interinstitucional y en la participación ciudadana.

**Palabras clave:** ordenamiento territorial, peligro, vulnerabilidad, riesgo y desastres

**Abstract.** *The Cuban experience of the land-use planning for the reduction of the natural disasters in coastal zones, uses different geographic and environmental management tools to elaborate territorial policies, which produce a interdisciplinary and interinstitutional work and the civil participation.*

**Keywords:** *land-use planning, danger, vulnerability, risk, disasters*



## INTRODUCCIÓN

Las prioridades ambientales en las islas del Caribe se relacionan con el uso de la tierra, las zonas costeras y marinas, el manejo de los desechos y los desastres

naturales. En este trabajo abordamos la temática de los desastres naturales en las zonas costeras, en estrecho vínculo con el uso de la tierra urbanizada y

no urbanizada. Los desastres naturales se intensifican debido a la variabilidad y al cambio climáticos (IPCC WGII, 2001), y en los frágiles ecosistemas costeros de estos territorios insulares se incrementa la vulnerabilidad como consecuencia del deterioro ambiental, del rápido crecimiento poblacional y de la concentración humana en peligro.

#### **PELIGROS NATURALES EN LAS ZONAS COSTERAS**

Los peligros naturales, hidrometeorológicos y geofísicos que afectan las características naturales del ecosistema costero se asocian con los ciclones tropicales, las tormentas severas, la surgencia,<sup>1</sup> la sequía, los terremotos y volcanes, que generan impactos negativos y positivos que se derivan de la interacción entre los eventos extremos y la sensibilidad de estos ecosistemas (cuadro 1)

Los principales impactos se relacionan con la inestabilidad de la línea de costa, que se evidencia en la destrucción de las zonas costeras con daños a los asentamientos humanos y a las infraestructuras; el cambio de uso del suelo; la salinización de las aguas y los suelos; la pérdida del manglar y, en ocasiones, su migración tierra adentro; las afectaciones a los arrecifes coralinos y los pastos marinos; la erosión de las playas y su contaminación; también inciden en la transformación de la zona costera y generan erosión las intervenciones antrópicas como la construcción de presas, diques y extracción de sedimentos.

En la cuenca del Caribe, del año 1996 al 2002, se han duplicado los desastres originados por eventos hidrometeorológicos, en tanto los geofísicos han mantenido su nivel (ONU-Hábitat, 2003). En las costas cubanas los ciclones tropicales causan el mayor impacto y daños materiales debido a los fuertes vientos, a las intensas lluvias y a la surgencia que los acompaña; además, se identifican los vientos de región sur, los frentes fríos y las sequías, estas últimas de aparición lenta y reiterada.

La surgencia ocasiona fuertes inundaciones y hasta el momento la ocurrida en el año 1932, que ocasionó más de 3,000 muertos, constituye el mayor desastre natural registrado en Cuba. El paso de los ciclones tropicales por el territorio nacional o los mares adyacentes también ejerce un papel benéfico al aportar 20 % de los acumulados de lluvia en la parte occidental del país.

#### **EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL EN LA PREVENCIÓN DE DESASTRES NATURALES**

El ordenamiento territorial (OT) posee un marco institucional, un enfoque prospectivo e instrumentos de planeación, que estructuran el espacio físico y herramientas de gestión y control que regulan el uso del suelo rural y urbano. A su vez, incorpora políticas territoriales específicas para la prevención de los desastres y establece prioridades de solución, que se logran mediante el trabajo entre disciplinas e instituciones y la participación de la población en el estudio, el debate, el análisis y la organización de las propuestas con todos los actores, antes de la toma de las decisiones.

El Instituto de Planificación Física de la República de Cuba es el organismo que tiene la misión estatal de asumir las responsabilidades de formular y controlar las políticas referidas al ordenamiento territorial y al urbanismo en las diferentes escalas y horizontes temporales; el Sistema de Asentamientos Poblacionales (SAP); la estructura espacial de las ciudades; la localización de las inversiones y los estudios especiales (cuencas hidrográficas, turismo, humedales, costas, zonas industriales, entre otras).

El planeamiento incluye los esquemas y planes que se elaboran en las escalas nacional, provincial, municipal y urbana, y en diferentes horizontes temporales. Los planes, una vez aprobados por las correspondientes instancias de gobierno, se convierten en instrumentos legales, de cumplimiento obligatorio para la etapa de implementación. La gestión y el con-

CUADRO 1. LOS PELIGROS NATURALES EN LAS COSTAS

PELIGRO		CAUSAS DIRECTAS	IMPACTOS NEGATIVOS	IMPACTOS POSITIVOS
TIPO	SUBTIPO			
Hidro-meteorológicos	Ciclones tropicales	Lluvias intensas, inundaciones y vientos fuertes	Afectación de la vegetación	Acumulación de agua, nutrientes y sedimentos
	Tormentas severas	Lluvias intensas	Afectación de la vegetación	Acumulación de agua, nutrientes y sedimentos
	Surgencia	Inundaciones costeras por penetraciones del mar	Erosión de la costa y afectación de la fauna y la vegetación	Acumulación de sedimentos y nutrientes
	Sequía	Modificación del régimen de lluvias y temperatura	Pérdida de la vegetación, descenso de nutrientes y sedimentos, fuegos	-
Geofísicos y geológicos-geomorfológicos	Terremotos, volcanes y movimientos eustáticos y tectónicos	Subsidencia o elevación de las costas Deslizamientos de tierra, derrumbes y retroceso de la línea de costa	Modificación morfológica, compactación y erosión de playas Pérdida de playas y vegetación	-
	Deslizamientos de tierra, derrumbes y retroceso de la línea de costa	Cambios morfológicos y erosión de la costa Ruptura de presas		
	Tecnológicos	Ruptura de presas	Inundaciones	-

trol del territorio se garantizan mediante la macro y la microlocalización de las inversiones, vital para compatibilizar estos intereses con los de la prevención ante el riesgo de desastres, la cual se monitorea a través de la inspección y el control del territorio (figura 1).

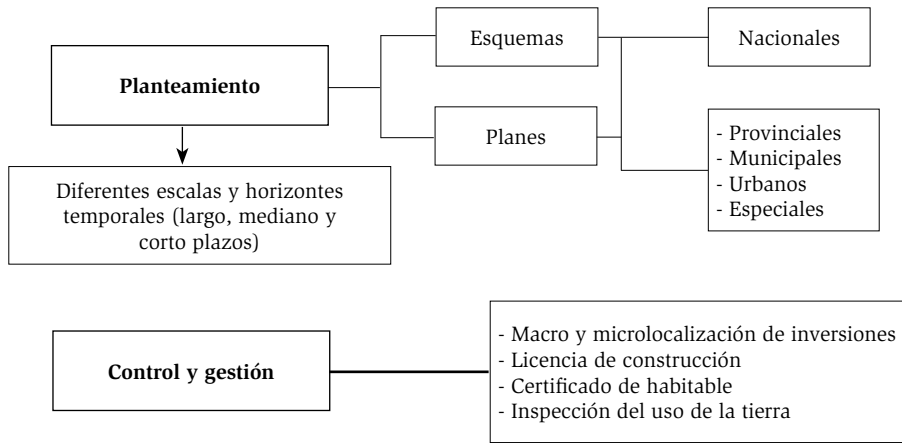
#### LA ESCALA NACIONAL

Corresponde a la escala nacional elaborar esquemas y estudios de carácter integral, que den una visión general

de la problemática actual y futura de las costas donde se identifican los desastres, con la finalidad de establecer prioridades de estudio en otras escalas inferiores para planear la solución práctica de los problemas.

Se estudian las costas de la tierra firme de la Isla de Cuba, que poseen una longitud de 6,000 km<sup>2</sup> y ocupan 5.4 % área del país. La figura 2 refleja la división de la costa a los efectos de los peligros naturales que causan inundaciones por penetraciones del mar (Rodríguez, 1999) y se describen como sigue:

FIGURA 1. INSTRUMENTOS DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL



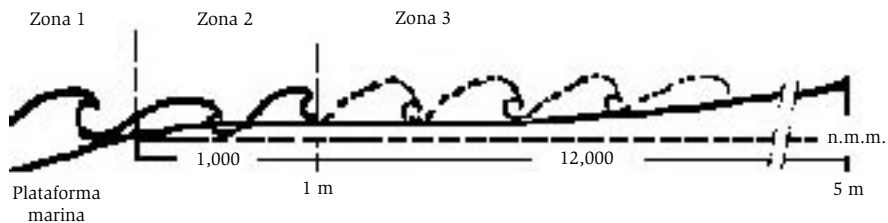
- § Zona 1. La plataforma costera con 53,000 km<sup>2</sup> en la costa sur es amplia y regularmente de poca profundidad, con sectores cenagosos.
- § Zona 2. Tierra firme delimitada por la cota de un m de altura y a una distancia de 1,000 m de la línea de costa se considera la región de mayor impacto, Los elementos urbanos vulnerables se extienden a lo largo de 250 km de línea de costa, donde vive alrededor de 3.4 millones de habitantes en 245 asentamientos, en su mayoría rurales. Además, son vulnerables en mayor o menor grado, 440 playas con 588 km de longitud y extensas zonas de manglares.
- § Zona 3. Tierra firme, donde las penetraciones del mar pueden extenderse en zonas bajas y cenagosas hasta 12 km tierra adentro y hasta una

altura de cinco m; constituye la zona de menor impacto. Este límite, establecido por modelación matemática y comprobado en la práctica por investigaciones históricas, resulta el punto de máxima penetración de las aguas del mar registrado en el país en el año de 1944.

**PELIGRO Y VULNERABILIDAD**

Los mapas de peligro de inundación por surgencia de ciclones tropicales, vientos sures y bajas extra-tropicales permiten establecer las zonas costeras de mayor peligro, que se localizan en la parte occidental del país y son: el sur de la provincia La Habana y el norte de ciudad de La Habana en tramos del malecón habanero, donde habitan más de 45,000 personas en

FIGURA 2. ZONIFICACIÓN DE LA ZONA COSTERA



12,000 viviendas en una superficie de 52 ha, sometida a frecuentes inundaciones debido a las fuertes marejadas en el Golfo de México.

La figura 3 muestra el mapa de peligro por surgencia para 26 sectores costeros (Salas *et al.*, 1999); la mayor amenaza se corresponde con la costa sur de la provincia de La Habana (sectores 3, 4 y 5).

Entre los elementos físicos y sociales vulnerables de las costas cubanas (Pérez *et al.*, 1998) se encuentran:

- § La proximidad a la línea de costa y el tipo de costa. En este sentido, 97 % de la población costera se ubica a menos de 200 m de la línea de costa, fundamentalmente de tipo acumulativas bajas.
- § El tamaño y tipo de asentamiento urbano o rural y el número de habitantes.
- § La población y las viviendas localizadas por debajo de un metro de altitud.
- § La tipología y el estado de las vivienda. En este caso la mayoría se encuentra en regular y mal estado.

§ La accesibilidad al asentamiento, que puede catalogarse de aceptable.

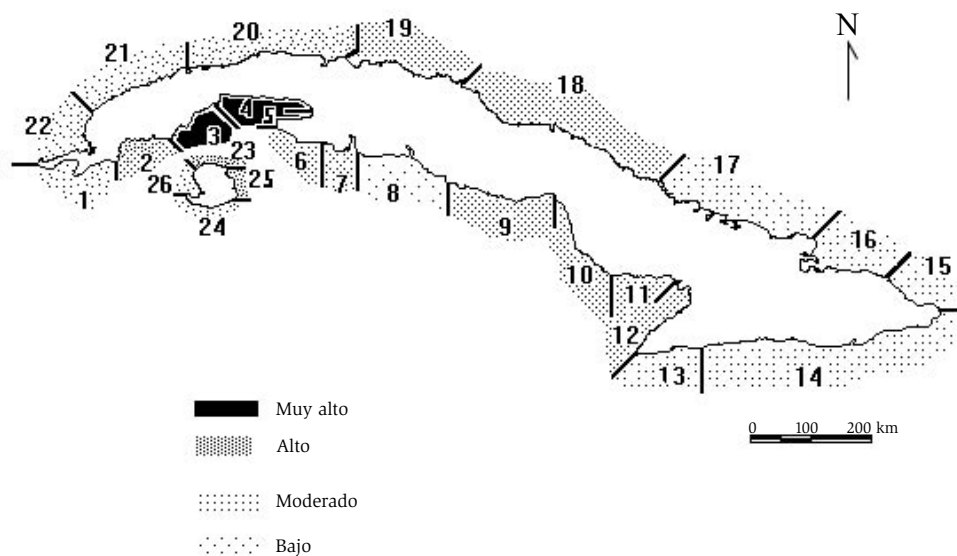
§ La base económica tradicional, que se relaciona fundamentalmente con las actividades pesqueras, portuarias y turísticas, y es un elemento que contribuye al arraigo de la población a esta zona.

§ La infraestructura eléctrica, que facilita la información de la población ante los desastres, en general es muy alta, mientras la infraestructura hidrotécnica presenta una cobertura aceptable con acueductos en los asentamientos y es deficitaria en las zonas. La calidad del agua es regular y buena, y el sistema de alcantarillado en general, es limitado.

Del total de 245 se prioriza a la ciudad de La Habana y otros 107 asentamientos con una población de alrededor de 50,000 habitantes expuesta a las inundaciones costeras por diferentes peligros.

La desertificación y la sequía, otro evento meteorológico extremo que se intensifica actualmente, afecta

FIGURA 3. MAPA DE PELIGRO POR SURGENCIA



a 132 de los 245 asentamientos costeros, que concentran alrededor de 10,000 habitantes (Pérez *et al.*, 2001). Si bien las inundaciones de estas porciones afectan con mayor rigor a la zona occidental y central del país, la sequía y desertificación es una característica típica de la región oriental.

#### LA ESCALA PROVINCIAL

A escala provincial se precisan los peligros y la vulnerabilidad detectados en la escala nacional. A modo de ejemplo se describen los estudios realizados en la costa sur de la provincia La Habana, la costa de mayor peligro, vulnerabilidad y riesgo por surgencia y vientos de región sur (Salas *et al.*, 1999, 2001, 2003), además, es una zona muy vulnerable a la erosión marina (Carreras, 2001). El territorio en estudio constituye un ecosistema de humedal muy frágil a las acciones antrópicas, con importantes recursos naturales y socioeconómicos, y un alto valor en cuanto a diversidad biológica. Se extiende a lo largo de 142 km, donde habitan 7,648 habitantes en siete asentamientos poblacionales adyacentes a la línea de costa, así como 10,000 ha de bosques, fundamentalmente manglares (Carreras *et al.*, 1999, 2001).

Estas características dieron pie a que desde el año 1998 la Dirección Provincial de Planificación Física (DPPF) desarrolle con financiamiento del Estado cubano y la UNESCO, el Proyecto de Investigación Evaluación y manejo socio-económico y ambiental de la Costa Sur de la Habana, que tiene como objetivo la implementación de soluciones como parte del manejo integrado de este territorio. El proyecto refleja la participación de la comunidad en la solución



de problemas específicos con la presencia de instituciones científicas, gobiernos locales y comunidades y constituye un reto para diversos actores en este territorio.

La propuesta de estructura y ordenamiento del territorio se realiza sobre la información y superposición de mapas temáticos de cobertura edáfica y curva de salinidad; paisaje y sus potencialidades, caracterización de las comunidades naturales y antrópica, peligro por penetración del mar por surgencia ciclónica y vientos

de región sur; sistema de asentamientos poblacionales; economía tradicional; grado de transformación del paisaje e impactos fundamentales. El resultado final es la propuesta de políticas para el uso racional de los recursos naturales, según zonificación que comprende el borde litoral, el humedal (herbazal de ciénaga), la transición entre el humedal y las áreas de cultivos y la zona marina.

#### GEOMORFOLOGÍA DE LA ZONA COSTERA Y LOS PELIGROS

En la magnitud de los desastres interviene la morfología de la costa y la dinámica del ecosistema; en el caso que analizamos resulta totalmente negativo debido al predominio de la llanura baja y acumulativa con pendientes muy suaves, sedimentos marinos de composición arcillosa, muy pocos consolidados y de poco espesor, que se erosionan muy fácilmente con la acción de las olas. Además la red fluvial es muy pobre y aporta pocos sedimentos a la costa; la amplitud de la plataforma marina y su poca profundidad, al igual que la ausencia de arrecifes coralinos y la cayería o grupo de pequeñas islas distante de la línea de costa,

no constituyen una protección natural y favorecen las penetraciones del mar por eventos extremos.

A las características anteriores se unen acciones de tipo antrópico, entre ellas, la alteración del manglar, que constituye la principal protección de la costa contra la erosión y el impacto de la surgencia y los vientos de región sur, por la construcción del Dique Sur, obra hidráulica ejecutada longitudinal y muy próxima a la línea de costa para mejorar la calidad y el volumen de los recursos hídricos de la provincia y garantizar parte del abasto a la ciudad de La Habana. Dicha empresa origina el represamiento extremo de las aguas y la reducción del aporte de sedimentos a la plataforma, situación que mejora cuando ocurren fuertes lluvias que originan altos volúmenes de aguas cargadas de sedimentos que son arrastrados hacia el mar.

Los procesos de erosión y el intenso retroceso de la línea de costa (hasta tres metros por año en algunos puntos de este litoral), se observan en toda la costa y son más marcados en los tramos urbanizados correspondientes a los siete asentamientos donde se han construido espigones y muros rígidos, en forma inadecuada.

Como resultado del incremento de riesgo de desastres y el estado de degradación de esta costa, se crea en el año 1998 la Comisión Costa Sur. La forman investigadores, planificadores, ONG y tomadores de decisiones, para proponer y controlar las políticas, las acciones y las regulaciones encaminadas, en particular, al correcto ordenamiento de la zona costera. Esto aparece determinado en los esquemas provinciales y en la toma de decisiones, las que repercutirán en la protección de la costa, en el aumento de la calidad de vida de la población y en el mejoramiento de las condiciones sanitarias y del drenaje.

Los instrumentos jurídicos que rigen la gestión y control de la zona de estudio son el Decreto Ley de Costa 212, del 2001 y los acuerdos No. 72 y 143 del año 1998, aprobados por el Consejo de la Administración de la Provincia, que establecen políticas, acciones y regulaciones vigentes hasta el año 2005.

Entre las principales medidas aprobadas por la Comisión Costa Sur se encuentran:

- § Directas. La prohibición de construcción de casas sobre la duna; la aplicación de medidas de protección, acomodo y retirada de los asentamientos vulnerables; mejoramiento de los sistemas de acueducto y saneamiento de los asentamientos y la creación de oportunidades de empleo.
- § Indirectas. La ayuda para lograr la capacidad de recuperación natural de las playas y la rehabilitación del humedal local, mediante un plan dirigido de reforestación.

#### **LA ESCALA LOCAL**

Las medidas de adaptación a escala local las realiza la población con el apoyo del Estado o con recursos propios e incluyen nuevas construcciones en terraza, en dos niveles o con áticos para salvaguardar sus pertenencias. Además, a esta escala se perfecciona el dispositivo de evacuaciones ante amenazas de peligro por eventos hidrometeorológicos, con la participación de la Defensa Civil y el Sistema de la Planificación Física.

Cuando el retroceso de la costa y las constantes inundaciones ponen en alto riesgo a los asentamientos y a la población residente, se toma la medida extrema de la retirada. El asentamiento rural Playa Rosario, con un área de 14,5 ha, 472 habitantes y un fondo habitacional de 143 viviendas, constituye un ejemplo en ejecución. La recuperación de la playa de veraneo Mayabeque, es otro ejemplo de proyecto comunitario, ya en los años 1950 y a pesar de la existencia de una franja de arena de sol de más de 70 m de ancho, los pobladores tomaban medidas para contrarrestar la erosión, provocada por los vientos sures y huracanes. En la actualidad, estos peligros se han incrementado y atentan con la desaparición de la playa y sus construcciones, tal y como sucedió en Playa Pepilla, situada



más al este, en 1999. Rehabilitar la costa con medidas de protección (espigones) con la asesoría científica y el financiamiento nacional e internacional constituye el reto de esta población.

La realización emergente del Esquema de Ordenamiento Urbanístico (EOU) en Playa Cajío (Bosch *et al.*, 2004), constituye otra respuesta del OT a la recuperación de desastres. Este asentamiento, que data del siglo XIX, se localiza en el oeste de la zona de estudio, con una extensión de 19 ha, una población aproximada de 825 habitantes y 315 viviendas; fue impactado severamente por la surgencia y la fuerza del viento del huracán Charley el 13 agosto del 2004; los daños materiales fueron considerables (más del 60% de las viviendas fueron derrumbadas), sólo comparables con las pérdidas producidas por el huracán de 1944, que ocasionó la destrucción total del asentamiento y la muerte de 310 personas.

Entre los aspectos desfavorables para el desarrollo del hábitat en Playa Cajío se encuentran:

- § Su ubicación sobre la llanura marino-palustre muy plana, con bosques de mangles y herbazal de ciénaga, con baja resistencia de suelos para las construcciones; su litoral ya no presenta franja arenosa y existen algunos tramos fangosos desprovistos de vegetación protectora (mangle).
- § Las constantes evacuaciones de la población ante peligro de inundación por vientos de región sur y surgencia, hasta dos y tres veces al año.
- § La transformación de la morfología y la dinámica de la costa y la obstrucción del retorno de las aguas tras las inundaciones debido a la construcción de malecones, que fueron parcialmente destruidos por el paso del huracán.
- § Las afectaciones al manglar y potencialmente a las viviendas e infraestructura, debido al fuerte retroceso de la línea de costa, el ascenso significativo del manto freático, que trae como consecuencia la afectación por humedad de las viviendas y el

incremento de los problemas higiénico-sanitarios, cada vez más frecuentes y la mayor duración de las inundaciones debido a la cercanía del Dique Sur, obra hidráulica construida para la protección y recarga del manto subterráneo, que incide en la evacuación efectiva de las aguas.

Los aspectos anteriores y las características específicas del emplazamiento confinado entre la costa, el río Cajío, los canales de drenaje y el dique de protección de las aguas, del cual lo separa un área de herbazal de ciénaga (figura 3), determinan condiciones muy desfavorables para el hábitat.

La situación de estrés que viven sus habitantes bajo condiciones de albergados, imponen una rápida solución: el 25% de la población, conscientes de la situación actual de riesgo, serán reubicados en parcelas de asentamientos urbanos y rurales existentes, el 75% restante desea permanecer en Playa Cajío a pesar de sus condiciones adversas existentes.

#### **ESQUEMA DE ORDENAMIENTO URBANÍSTICO**

El EOU concebido para la reconstrucción del asentamiento Playa Cajío (Bosch *et al.*, 2004), mantiene las características esenciales que presentaba el asentamiento, pero incorpora a la planeación las regulaciones establecidas para las zonas costeras, las condiciones naturales existentes en el lugar, los mapas de peligros, entre otros aspectos que favorecerán el desarrollo del hábitat. Sus lineamientos generales son:

- § Mantener la retícula vial actual
- § Conservar la manzana como elemento estructurador del conjunto, subdividiéndolas en lotes o parcelas donde se construirán las viviendas
- § Reducir al mínimo las construcciones en la primera franja paralela a la costa y en las laderas de los canales de drenaje existentes al este y oeste del asentamiento

- § Concentrar los servicios básicos hacia zonas más céntricas y alejadas de la costa y los canales
- § Destinar la primera franja paralela a la costa para actividades recreativas relacionadas con la playa y mantener sólo las instalaciones de servicio existentes y los espacios públicos con fines recreativos.

Con respecto a las definiciones a la tipología de la vivienda, se definieron:

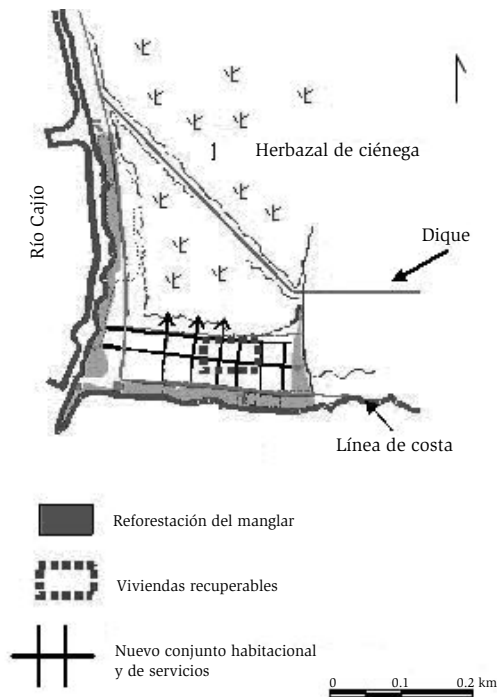
- § Viviendas de un piso, aisladas y pareadas que eviten las tiras, que funcionen como pantallas que interrumpan la circulación de las aguas
- § Viviendas con paredes y cubierta de prefabricación ligera, debido a la baja resistencia de los suelos
- § Diseño de viviendas con soluciones para la protección de los bienes materiales ante los efectos de las penetraciones del mar.
- § Además, como una regulación específica, no se permite actualmente la construcción de nuevas viviendas para veraneantes o pobladores no residentes en el asentamiento.

La reforestación del manglar en las márgenes del río y los canales, y en el frente de costa, antes ocupado por las viviendas, amortigua el efecto de la surgencia y las inundaciones por vientos de región sur (figura 4).

#### CONCLUSIONES GENERALES

Esta experiencia muestra que el ordenamiento territorial y urbano en las diferentes escalas de planeación y horizontes temporales, constituye un camino rápido y económico para la reducción de desastres en las zonas costeras, en vínculo directo con el uso del suelo, los recursos naturales y las características socioeconómi-

FIGURA 4. ESQUEMA DE ORDENAMIENTO URBANO DE PLAYA CAJÍO



cas. Para ello, el OT se basa en el arsenal científico y metodológico nacional e internacional, en la participación popular en diálogo con la población y otros actores, la reconstrucción histórica de los fenómenos, la identificación de los problemas actuales, la visión del futuro y la identificación de las intervenciones ejecutadas en el territorio, causantes de desequilibrios y en oportunidades generadoras de condiciones propias de catástrofes. Además, el OT tiene la obligación de establecer las regulaciones territoriales de uso y explotación de la tierra, brindar soluciones viables, según un orden de prioridades, bajo el criterio de minimizar los costos y lograr la activa participación de todos los actores de la sociedad.

#### NOTAS

1 Elevación anormal y temporal del nivel medio del mar, sobre la marea astronómica, causada por la tensión de los fuertes vientos, debido al paso de un ciclón tropical. Consiste

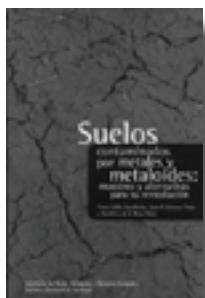
en una onda gravitacional larga con una longitud similar al tamaño del ciclón que la genera, y durabilidad de algunas horas, lo que depende, entre otros factores, del tamaño y la velocidad de traslación del ciclón, afectando como promedio de 100 a 200 km de costas (Salas *et al.*, 2003).

## BIBLIOGRAFÍA

- Bosch, M., F. Carreras y J.L. Martínez. 2004. Playa Cajío. Propuesta de reubicación de viviendas y reconstrucción del asentamiento producto de las afectaciones del huracán Charley. DPPF, La Habana.
- Carreras, F. 2001. El ordenamiento territorial del ecosistema costero del sur de La Habana. DPPF, de La Habana, 80 pp.
- Carreras F. y E. Mato. 1999. Evaluación y manejo socioeconómico ambiental de la Zona Sur de La Habana. Proyecto de Investigación UNESCO, La Habana. 70 pp.
- IPCC WGII. 2001. Climate Change: Natural and Social Systems Clearly Affected Already; Projected Changes are Reason for Concern. Conclusions of the Scientists from Working Group II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Meeting in Geneva 12–16 de febrero.
- ONU-Hábitat. 2003. Desastres naturales y asentamientos humanos. Vulnerabilidad en el ámbito local: Cuenca del Caribe de Habla Hispana. ONU.
- Pérez, A.L., C. Rodríguez e I. Salas. 1998. Evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo por inundaciones costeras. En: PNUD. Proyecto Cuba/94/003. Desarrollo de las técnicas de predicción de las inundaciones costeras. Prevención y reducción de su acción destructiva. Capítulo 2.2. La Habana, 200 pp.
- . 2001. Las zonas costeras y los cambios globales. Evaluación actual y perspectiva de las zonas costeras desde un enfoque territorial nacional. En: Varios autores. Proyecto No 01304089. Los asentamientos humanos, el uso de la tierra y los cambios globales. Volumen II. La Habana, 400 pp.
- Rodríguez, C. 1999. El ordenamiento territorial en la mitigación de las zonas costeras. Tesis de Maestría. Universidad de La Habana, 130 pp.
- Salas I., R. Pérez Parrado, C. Rodríguez y A.L. Pérez. 1999. Elaboración de los mapas de riesgo. En: PNUD. Proyecto Cuba/94/003. Desarrollo de las técnicas de predicción de las inundaciones costeras. Prevención y reducción de su acción destructiva. La Habana, 200 pp.
- Salas, I., R. Pérez Parrado y A.L. Pérez. 2003. Impacto de la surgencia en el archipiélago cubano, considerando los Cambios Climáticos. Proyecto: 01309168. La Habana, 100 pp.
- Salas, I. y R. Pérez Parrado 2001. Ascenso del nivel del mar por surgencia de ciclones tropicales en dos regiones del país. En: Proyecto No 01304089. Los asentamientos humanos, el uso de la tierra y los cambios globales. Volumen II, La Habana.

# *Novedades editoriales INE*

---



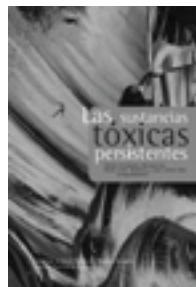
## *Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación*

---

Tania Volke Sepúlveda,  
Juan A. Velasco Trejo y  
David A. de la Rosa Pérez

14 cm x 21 cm            2005  
144 páginas  
Edición rústica  
ISBN: 968-817-492-0  
Precio: \$80

**P**roporciona información general acerca de los contaminantes inorgánicos que se encuentran con mayor frecuencia en sitios contaminados en México; asimismo, se dan a conocer algunas de las actividades antropogénicas que los generan y se presentan las actividades de muestreo que pueden emplearse para caracterizar un sitio contaminado, y así adquirir la información técnica necesaria para desarrollar, proyectar, analizar y seleccionar las estrategias de remediación más apropiadas.



## *Las sustancias tóxicas persistentes*

---

Adrián Fernández,  
Mario Yarto y José Castro

16 cm x 23 cm            2004  
257 páginas  
Edición rústica  
ISBN 968-817-703-2  
Precio: \$140

**E**sta obra analiza de manera detallada las sustancias o grupos de sustancias denominadas compuestos orgánicos persistentes y representa un primer intento por difundir su problemática teniendo en mente diferentes grupos interesados. Si bien aún no se cuenta con una evaluación objetiva acerca de los riesgos que la liberación de COP tiene para el ambiente, *Las sustancias tóxicas persistentes* presenta una serie de análisis de utilidad para poder llevar a cabo un diagnóstico nacional sobre este tema.



*Perspectivas del medio ambiente en México.  
GEO México 2004*

PNUMA, SEMARNAT-INE

21 cm x 26 cm                      2004  
332 páginas  
Edición: Color  
ISBN: 968-817-683-4  
Precio: \$220

**P**resentación

Prefacio

Introducción

Capítulo 1. Contexto

Capítulo 2. Estado del medio ambiente

El agua

Zonas marinas y costeras

El suelo

Residuos

Biota

Capítulo 3. Salud, vulnerabilidad humana y desastres ambientales

Capítulo 4. Respuestas de políticas

Capítulo 5. Escenarios GEO México 2003-2030

Capítulo 6. Perspectiva

Bibliografía



*El manejo integral de cuencas en México. Estudios y reflexiones para orientar la política ambiental*

Helena Cotler (compiladora)

15 cm x 23 cm                      2004  
264 páginas  
Edición rústica  
ISBN: 968-817-700-8  
Precio: \$120

**C**ompilación de catorce textos de reconocidos especialistas que conforman un aporte destacado a la discusión sobre la integralidad de la política ambiental, sus avances conceptuales y metodológicos.



*Cambio climático.  
Una visión desde México.*

---

Julia Martínez y Adrián Fernández  
(compiladores) con la colaboración  
de Patricia Osnaya

17 x 23 cm                      2004  
525 páginas  
Edición rústica  
ISBN 968-817-704-0  
Precio: \$140

**R**ecopilación de 40 textos de reconocidos especialistas sobre este tema central de la agenda ambiental. De gran utilidad para quienes estén interesados en estar al día y saber más sobre los posibles efectos de las variaciones climáticas en nuestro país.



*Caracterización y manejo de los suelos de  
la Península de Yucatán. Implicaciones  
agropecuarias, forestales y ambientales*

---

Francisco Bautista Zúñiga y  
Álvaro Gerardo Palacio (editores)

22 x 27 cm                      2005  
282 páginas  
ISBN 968-5722-13-7  
Precio: \$120

**E**sta obra colectiva destaca la importancia de la información edafológica para la toma de decisiones sobre el manejo de los recursos naturales de la Península de Yucatán.



*Las comunidades  
vegetales de México*

---

Francisco González  
Medrano

Segunda edición 2004

80 más encarte a color  
21 cm x 27 cm

Edición a color  
ISBN 968-817-611-7  
Precio: \$100

**E**l autor, una autoridad en el tema, nos ofrece una excelente reseña histórica de los estudios de la clasificación de la vegetación de México así como su propia propuesta, resultado de años de investigación.

# Gaceta ecológica

## Instrucciones para los autores

La *Gaceta Ecológica* es una publicación trimestral del Instituto Nacional de Ecología de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) que tiene como objeto la difusión de trabajos de investigación relacionados con temas ambientales prioritarios de México.

Los artículos enviados deben ser de interés para un amplio espectro de lectores. Deben presentarse en un lenguaje llano, conciso, que le resulte accesible a los interesados en general y no sólo a los especialistas. En la medida de lo posible debe evitarse la jerga especializada y siempre se deben definir los términos técnicos la primera vez que aparecen.

Serán aceptados para su publicación en esta revista aquellos trabajos que hayan pasado un proceso de revisión por al menos dos árbitros externos y con el visto bueno del Comité editorial.

El manuscrito deberá enviarse capturado a doble espacio, con márgenes amplios, en Arial o Times New Roman, sobre papel blanco y con paginación corrida de principio a fin (en arábigos). Los archivos electrónicos deberán aparecer claramente identificados. Se reciben:

§ **ARTÍCULOS.** Son informes sobre resultados de investigaciones. Se le otorga preferencia a los escritos originales aunque también publicamos textos aparecidos previamente en otras revistas o como capítulos de libros. No deben exceder las 25 cuartillas con un breve resumen de no más de 100 palabras así como conceptos clave (ambos en español e inglés).

§ **ENSAYOS.** Trabajos críticos, generalmente breves, enfocado a la defensa de un punto de vista personal sobre un tema. Es deseable que no excedan las 8 cuartillas.

§ **CLÁSICOS.** Trabajos que, por su influencia en el campo de las ciencias ambientales, resultan de referencia obligada.

§ **RESEÑAS BIBLIOGRÁFICAS.** Trabajos breves de revisión crítica sobre obras de aparición reciente. Su extensión máxima debe ser de dos cuartillas.

Los textos complementarios (notas, bibliografía, apéndices, reconocimientos, cuadros, gráficas) deben ir en un formato similar al del cuerpo del texto.

Las notas al texto deben ir aparte y numeradas de forma consecutiva. Las gráficas y los cuadros también deben aparecer en un archivo distinto y en el cuerpo del texto debe mencionarse dónde se deben insertar. Es muy importante que nos envíe las gráficas en formato original (Excel, Powerpoint, etc.), debidamente identificadas, para facilitar el trabajo editorial. Para el caso de los mapas generados en algún sistema de información geográfica la imagen debe ir al tamaño final a 300 dpi de

definición, en grises y en formato tif o eps para (PC o Mac). Las ilustraciones deben enviarse en original e identificadas de manera apropiada. Si las envía digitalizadas, deben contar con las mismas características de los mapas.

Las citas en el cuerpo del texto deberán aparecer como sigue: (Molina 1997: 26). En el caso de más de dos autores cabe citar el primer autor seguido de *et al.* pero en la bibliografía deben incluirse los nombres de todos los autores. Al final del artículo se presentarán las citas en orden alfabético siguiendo estrictamente las siguientes normas:

a) Para libros: autor(es), año de publicación, título completo de la obra en cursivas, editorial y lugar de publicación.

Ostrom, E. 2000. *El gobierno de los bienes comunes*. Fondo de Cultura Económica, México.

(b) Para artículos de revista: autor(es), año de publicación, título del artículo, título completo de la revista en cursivas, volumen, página inicial y final.

Hardin, P. 1997. La tragedia de los comunes. *Gaceta ecológica* 37: 11-20.

Los nombres de las publicaciones seriadas deben aparecer completos y en las reseñas de libros se deberá incluir la ficha bibliográfica completa.

Es importante hacer notar que en todos los trabajos deberá emplearse el Sistema Internacional de Unidades, por lo que se sugiere consultar la NOM-008-SCFI-1993. Sistema general de unidades de medida disponible en la página de publicaciones del INE, [www.ine.gob.mx](http://www.ine.gob.mx) y en la de la Secretaría de Economía, [www.economia.gob.mx](http://www.economia.gob.mx).

Al enviar un trabajo, por favor, asegúrese de que quede claramente identificado el título del mismo, los nombres completos de los autores y su filiación (nombre de las instituciones, departamentos, laboratorios, grupos de trabajo, etc.), evitando el uso de siglas y la dirección postal incluyendo: teléfono, correo electrónico, fax, etc., del primer autor o del encargado de recibir la correspondencia.

LOS TRABAJOS DEBEN ENVIARSE A:

Raúl Marcó del Pont Lalli  
Dirección de Publicaciones  
Instituto Nacional de Ecología  
Periférico sur 5000, colonia Insurgentes Cuicuilco  
Delegación Coyoacán, C.P. 04530  
Tel.: (55) 54 24 64 35 Fax: (55) 54 24 52 41  
Correo-e: [pmarco@ine.gob.mx](mailto:pmarco@ine.gob.mx)