

EL MODELO DIGITAL DE TERRENO PARA EL DIAGNÓSTICO MEDIOAMBIENTAL A ESCALA LOCAL

Mtra. Maritza Valdez Rodríguez¹

Dra. Eva Perón Delgado²

Dra. Mercedes Pérez Rangel³

RESUMEN

Un tema de gran importancia social es la urgencia de considerar la vulnerabilidad ambiental como variable fundamental en la planificación del desarrollo sostenible para su incorporación en todas las acciones regionales, nacionales y locales que se emprendan en el futuro.

Actualmente, a partir de la ejecución de una serie de proyectos de cartografías digitales y de base de datos, que han venido trabajando instituciones en la provincia de Camagüey, Cuba, se han desarrollado instrumentos que permiten realizar análisis a partir del cruzamiento de variables correspondientes a diferentes dimensiones del desarrollo local y obtener salidas para disminuir los impactos negativos que producen los eventos medioambientales como los citados antes.

Sin embargo, hasta el momento estos instrumentos no se han utilizado integrados al diagnóstico medioambiental a escala local como elemento de partida para la definición de los programas relacionados con el medioambiente, tal es el caso de los Modelos Digitales del Terreno se está en condiciones de definir un instrumento que permite interpretar a través de la

¹ Maestra, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.

² Doctora en Ciencias Económicas, Universidad de Camagüey, Facultad de Ciencias Económicas y Jurídicas, Cuba, e-mail: eva.peron@reduc.edu.cu

³ Doctora en Ciencias Económicas, Universidad de Camagüey, Facultad de Ciencias Económicas y Jurídicas, Cuba, e-mail: mercedes.perez@reduc.edu.cu

modelación de variables, los impactos ocasionados por eventos naturales en la población y objetivos de importancia económica y social para un municipio.

Por tanto el objetivo del trabajo consiste en diseñar un procedimiento para la utilización de los modelos digitales del terreno en la elaboración del diagnóstico estratégico territorial en la dimensión medioambiental que es transversal al resto de las dimensiones del desarrollo local. El mismo se aplica en el municipio Camagüey, capital de la provincia de igual nombre.

Para la realización del trabajo se utilizó una gama de bibliografía tanto nacional, como internacional.

Palabras claves: modelo digital, diagnóstico y medioambiente.

INTRODUCCIÓN

Desde su surgimiento, el ser humano ha utilizado los recursos del medio que lo rodea para satisfacer sus necesidades, pero gradualmente, la explotación de la naturaleza ha sobrepasado los límites permisibles, llegando a ser irracional y desmedida, de modo que en estos momentos los problemas que afectan al medio ambiente son cada vez más graves y causan preocupación a toda la humanidad, por lo que es necesario adoptar medidas y alternativas inmediatas, tanto locales, regionales, nacionales como internacionales, dirigidas a su solución.

Un tema de gran importancia social es la urgencia de considerar la vulnerabilidad ambiental como variable fundamental en la planificación del desarrollo sostenible para su incorporación en todas las acciones regionales, nacionales y locales que se emprendan en el futuro.

"La protección del medio ambiente se ha convertido en una prioridad, en una necesidad de primer orden para garantizar el desarrollo económico y social, y sobre todo, para la salud y supervivencia de la especie humana en todo el planeta". (Vázquez, C., Y., 2009: 1)

Históricamente Cuba es afectada anualmente ante la ocurrencia de desastres naturales, siendo los ciclones los más significativos, lo que hace que el país constantemente tenga que dedicar una gran cantidad de recursos humanos y materiales en la preparación, evacuación y recuperación de las afectaciones, siendo necesario disponer de datos precisos y oportunos para el pronóstico y prevención por los órganos competentes en la disminución de los riesgos. Para eso se hace imprescindible el empleo de tecnologías afines.

Cuba concede gran prioridad a la protección del medio ambiente. En el artículo 27 de la Constitución de la República se postula *"El Estado protege el medio ambiente y los recursos naturales del país, reconoce su estrecha vinculación con el desarrollo económico y social sostenible para hacer más racional la vida humana y asegurar la supervivencia, el bienestar y la seguridad de las generaciones actuales y futuras. Corresponde a los órganos competentes aplicar esta política"*.

Actualmente, a partir de la ejecución de una serie de proyectos de cartografías digitales y de base de datos, que han venido trabajando instituciones de la provincia Camagüey, se han desarrollado instrumentos que permiten realizar análisis valiosos a partir del cruzamiento de variables correspondientes a diferentes dimensiones del desarrollo local y que permitirían obtener salidas para disminuir los impactos negativos que producen los eventos medioambientales.

Sin embargo, hasta el momento estos instrumentos no se han utilizado integrados al diagnóstico estratégico territorial, como elemento de partida para la definición de los programas relacionados con el medioambiente, tal es el caso de los Modelos Digitales del Terreno (MDT), los cuales permiten definir tecnológicamente el empleo de los mismos para dar respuestas oportunas a la protección medioambiental y social ante la ocurrencia de desastres naturales, tecnológicos o sanitarios.

Por tanto el objetivo del presente trabajo consiste en diseñar un procedimiento para la utilización de los Modelos Digitales del Terreno en la elaboración del diagnóstico estratégico territorial en la dimensión medioambiental, por ser esta transversal al resto de las dimensiones del desarrollo local.

La novedad radica precisamente en la capacidad de uso que permite el procedimiento diseñado para integrar los modelos digitales de terreno como un instrumento que permite abordar con un enfoque prospectivo la problemática medioambiental y su impacto en el resto de las dimensiones que se incluyen en el desarrollo local.

El desarrollo medioambiental como dimensión del desarrollo local.

El desarrollo local es un proceso orientado a la transformación y organización de los espacios y los territorios. Como concepto, el desarrollo local tiene atribuciones que definen un campo de interacción en las dimensiones más importantes del desarrollo, por lo que refiere cambios cualitativos en los planos económico, social, político, ambiental, tecnológico y territorial.

En la práctica se asocia a la organización productiva y el progreso técnico; las tareas de gobernabilidad y gestión; la preservación del ambiente y la organización territorial de la

sociedad que habita al interior de las mismas. El desarrollo local incorpora principios de equidad y participación y se reconoce las vertientes del desarrollo en un sentido integral.

El desarrollo local puede ser visto como “un proceso localizado de cambio socioeconómico continuado que, liderado por los gobiernos locales, integra y coordina la utilización de la riqueza de su potencial de desarrollo con las diferentes corrientes de recursos, para lograr el progreso de la localidad y posibilitar el bienestar del ser humano, en equilibrio con el entorno natural” (González Fontes 2007, p. 47).

Los autores se acogen a esta definición para alcanzar el objetivo propuesto, ya que del mismo se derivan, como exigencias, cinco aspectos fundamentales: que el plan es su eje articulador; posee un enfoque estratégico; es multidimensional; es sostenible y tiene un carácter anticipatorio.

Lo anterior lleva a plantear que el desarrollo local está asociado en primera instancia a un fenómeno localizado debido a que este proceso siempre emerge en correspondencia con las características del lugar en particular donde se manifiesta y que debe expresarse en el mejoramiento de los indicadores de sus diferentes dimensiones componentes. Estas dimensiones son: la económica, la social, la científico-tecnológica, la política y la medioambiental y urbanístico-patrimonial en el caso de las ciudades que tienen potencialidades patrimoniales. Ellas constituyen una forma de operacionalizar el desarrollo local por su contenido, pues están interrelacionadas estrechamente.

En los momentos actuales los problemas del medio ambiente y el uso de este término, han adquirido una connotación mundial. Por lo que se considera importante caracterizar qué es el medio ambiente, concepto muy debatido y contradictorio en las últimas décadas, por definirse

indistintamente, como medio y como ambiente así como entorno, medio circundante, medio geográfico y otros que no expresan la integralidad, estructura funcional y social de lo que significa este término.

La interacción histórica del hombre con la naturaleza se materializa en el medioambiente. El debate sobre este concepto es diverso, los autores asumen el referido en la Ley 81 del Medio Ambiente, donde este se considera como un *“Sistema de elementos abióticos, bióticos y socioeconómicos con que interactúa el hombre, a la vez que se adapta al mismo, lo transforma y lo utiliza para satisfacer sus necesidades.”*

Además en ella se define el Desarrollo Sostenible como *“el proceso de elevación sostenida y equitativa de la calidad de vida de las personas, mediante el cual se procura el crecimiento económico y el mejoramiento social, en una combinación armónica con la protección del medio ambiente, de modo que se satisfacen las necesidades de las actuales generaciones, sin poner en riesgo la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras”.*

La dimensión medioambiental en el diagnóstico estratégico territorial.

El diagnóstico estratégico territorial puede definirse como la descripción de los elementos que integran al sistema analizado y su entorno, así como los rasgos esenciales de su funcionamiento y las causas que lo determinan en el momento de iniciar el estudio, para poder establecer alternativas de su comportamiento futuro. (González Torres, 2014)

Cuando se trata la dimensión medio ambiental en el diagnóstico estratégico municipal, se tiene como objetivo identificar los fundamentales problemas ambientales y su grado de mitigación a partir de un conjunto de indicadores, referentes a magnitud de recursos, infraestructura

existente y los llamados de resultado que se asocian a objetivos previstos en programas y planes y los indicadores conducentes o de monitoreo.

Sin embargo, el diagnóstico a partir de estos indicadores es insuficiente pues hay que tener en cuenta que la dimensión medio ambiental es transversal al resto de las dimensiones, por lo que la valoración de diferentes eventos que pueden acontecer y cuál sería su impacto en las actividades económicas a través de los principales objetivos localizados así como objetivos sociales y la población, permitiría contar con la incidencia en dichas dimensiones y responder al objetivo que se pretende con el diagnóstico de la dimensión medio ambiental.

Lo anterior indica la importancia de considerar en la formulación de las estrategias de desarrollo, instrumentos que permitan evaluar con carácter anticipatorio el impacto que pueda ocasionar determinados eventos naturales en una localidad, de manera que en la gestión de la estrategia a través de los temas estratégicos y programas, se cuente con argumentos sólidos para definir acciones coherentes encaminadas a lograr un desarrollo sostenible en el tiempo.

Por tanto, se hace necesario aplicar un instrumento como los MDT en el diagnóstico estratégico en la dimensión medioambiental, que permitiría al gobierno dar los elementos para la definición de las acciones que integrarían un programa de Protección del medio ambiente contra el riesgo de desastres y el cambio climático, previsto en los municipios de la provincia Camagüey.

Conceptos de Modelos Digitales del Terreno.

El término Digital Terrain Model (MDT) tiene su origen en el Laboratorio de Fotogrametría del Instituto de Tecnología de Massachussets en la década de los años 50. En esa institución, Miller y Laflamme en 1958 establecen ya los primeros principios del uso de los modelos digitales para acelerar el diseño de carreteras mediante el tratamiento digital de datos del

terreno adquiridos por Fotogrametría planteándose una serie de algoritmos para la obtención de pendientes, áreas, tratamiento de problemas tecnológicos, científicos y militares etc.

Una definición de Modelo Digital del Terreno es aquella que plantea que es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua (Felicísimo 1998).

La variable representada en un Modelo Digital del Terreno debe ser una estructura numérica, continua y con valores perfectamente vinculados a un sistema de coordenadas. No se establece ninguna restricción respecto a la temática de la variable, por lo tanto se puede crear un MDT de cualquier atributo del terreno o variable que cumpla con esas características esenciales por ejemplo modelos digitales de elevación.

El proceso de construcción de los modelos digitales de terreno parte de la obtención de la información altimétrica y la captura de los datos.

La captación de la información altimétrica constituye, lógicamente, el paso inicial en el proceso de construcción de los modelos digitales de terreno, e incluye la fase de transformación de la realidad geográfica a la estructura digital de datos manipulable por medios informáticos. Existen dos variantes para la obtención de los datos: Métodos Directos y Métodos Indirectos.

Métodos Directos: Proporcionan una medida directa de la altitud sobre el terreno.

1. Altimetría: Utilizando altímetros que se colocan en las plataformas espaciales es posible obtener directamente, en formato digital, los datos de altitud. Según el principio físico en que se basan los altímetros utilizados pueden ser, tipo Radar o tipo Láser.

2. Sistema de Posicionamiento Global (GPS): Este método utiliza un conjunto de satélites de

referencia y mediante el método de triangulación se obtienen valores de las tres coordenadas espaciales, para un lugar concreto de la superficie terrestre. Este método presenta algunas limitaciones debido a la necesidad de acceder físicamente al lugar de la medición, y el tiempo requerido para realizar una toma de datos precisa.

3. Levantamiento topográfico: Las estaciones topográficas más avanzadas pueden generar y almacenar los resultados de sus mediciones en formato digital. Tiene las mismas limitaciones que el método de sistema de posicionamiento global.

Métodos indirectos: Es más frecuente utilizar estos tipos de método para obtener los datos básicos del Modelo Digital del Terreno, ya que con ellos no es necesario acceder físicamente a la zona de estudio y la información se obtiene rápidamente.

1. Restitución fotogramétrica: Son utilizados como documentos básicos pares de imágenes, parcialmente solapadas y tomadas desde ángulos diferentes formando los denominados pares estereoscópicos. En los últimos 30 años, a partir del lanzamiento del primer satélite civil para teledetección, la construcción del modelo digital del terreno a partir de datos de satélites ha sido un interesante tópico de investigación de especialistas dedicados a la cartografía, fotogrametría y teledetección, para modelar la topografía de la superficie terrestre.

2. Interferometría radar: Consiste en obtener interferogramas con las imágenes de radar, tomadas al mismo tiempo pero desde lugares diferentes. Es una técnica muy precisa.

3. Digitalización: La digitalización de los mapas topográficos es otra vía para obtener la información de la altitud del terreno. La misma puede ejecutarse de forma manual y/o automatizada, utilizando para ello un digitalizador o un scanner respectivamente.

De los métodos empleados para la captura de los datos necesarios para la creación de los Modelos Digitales del Terreno el más empleado es el método indirecto pues es menos costoso al no ser necesario acceder a la zona de estudio.

Procedimiento para la utilización de los modelos digitales del terreno en el diagnóstico estratégico territorial.

El procedimiento que se propone consta de tres etapas, los cuales se explican a continuación:

Etapa 1. Ubicación geográfica de la zona de trabajo.

Consiste en la selección del área geográfica que ocupa el municipio objeto de la formulación de la estrategia de desarrollo y por tanto, del diagnóstico estratégico territorial.

Etapa 2. Breve caracterización físico-geográfica de la zona.

A partir de la selección del área geográfica a trabajar, se hará una caracterización cualitativa de la misma atendiendo a los siguientes aspectos: viales, hidrografía, densidad de la población, objetivos socioeconómicos, suelos, vegetación y precipitaciones.

Etapa 3. Creación y aplicación del Modelo Digital del Terreno.

La creación del Modelo Digital del Terreno consta de los siguientes pasos: Entrada de los datos; Procesamiento de los datos; Generación del Modelo Digital del Terreno y Validación del Modelo Digital del Terreno.

Aplicaciones de los MDT en el diagnóstico estratégico territorial

A partir de su interpretación puede determinarse la cantidad de objetivos socioeconómicos así como la población afectada por los eventos naturales y una proyección o simulación de ocurrencia futuras de estos, lo cual permite argumentar acciones por parte del gobierno y otros encargados de tomar decisiones para conformar los programas con vista a gestionar el desarrollo local sostenible, pero adelantándose a estas afectaciones lo cual permitiría mitigar los impactos negativos asociados.

Además existen otras aplicaciones de los modelos digitales del terreno, como son:

1. El almacenamiento de los datos de elevación de los mapas topográficos digitales en la base de datos nacional.
2. Los problemas de rellenos y vaciados en el diseño de carreteras y otros proyectos de ingenierías militares y civiles.
3. La visualización tridimensional de las formas del terreno con propósitos militares.
4. El análisis de una visión panorámica del país también con objetivos militares.
5. La planificación de las rutas de las carreteras y localización de embalses.
6. El análisis estadístico y la comparación de diferentes tipos de terrenos.
7. El cálculo de mapas de pendientes, mapas de orientación de las laderas y perfiles de las pendientes, que pueden utilizarse para preparar mapas de la sombra proyectada por el relieve, estudios geomorfológicos auxiliares o estimación de la erosión y el escurrimiento.
8. Servir como fondo para visualizar información temática o para combinar los datos del relieve con datos temáticos tales como suelo, uso de la tierra y vegetación.
9. Sustituir la altitud por cualquier otra variable cuantitativa de distribución continua. El MDT puede representar superficies del tiempo de viaje, costo, población, índices de belleza visual, niveles de contaminación, niveles de las aguas subterráneas.
10. Permite el trazado de perfiles longitudinales, de gran utilidad para estudios regionales.

Aplicación del procedimiento propuesto. Municipio Camagüey. Provincia Camagüey.

En este acápite se da a conocer los resultados que más se destacan sobre la aplicación de los Modelos Digitales del Terreno. En este caso se utilizaron para la evaluación de los daños ocasionados por intensas lluvias o roturas de los diques de las presas, como eventos medioambientales diagnosticados en el municipio Camagüey.

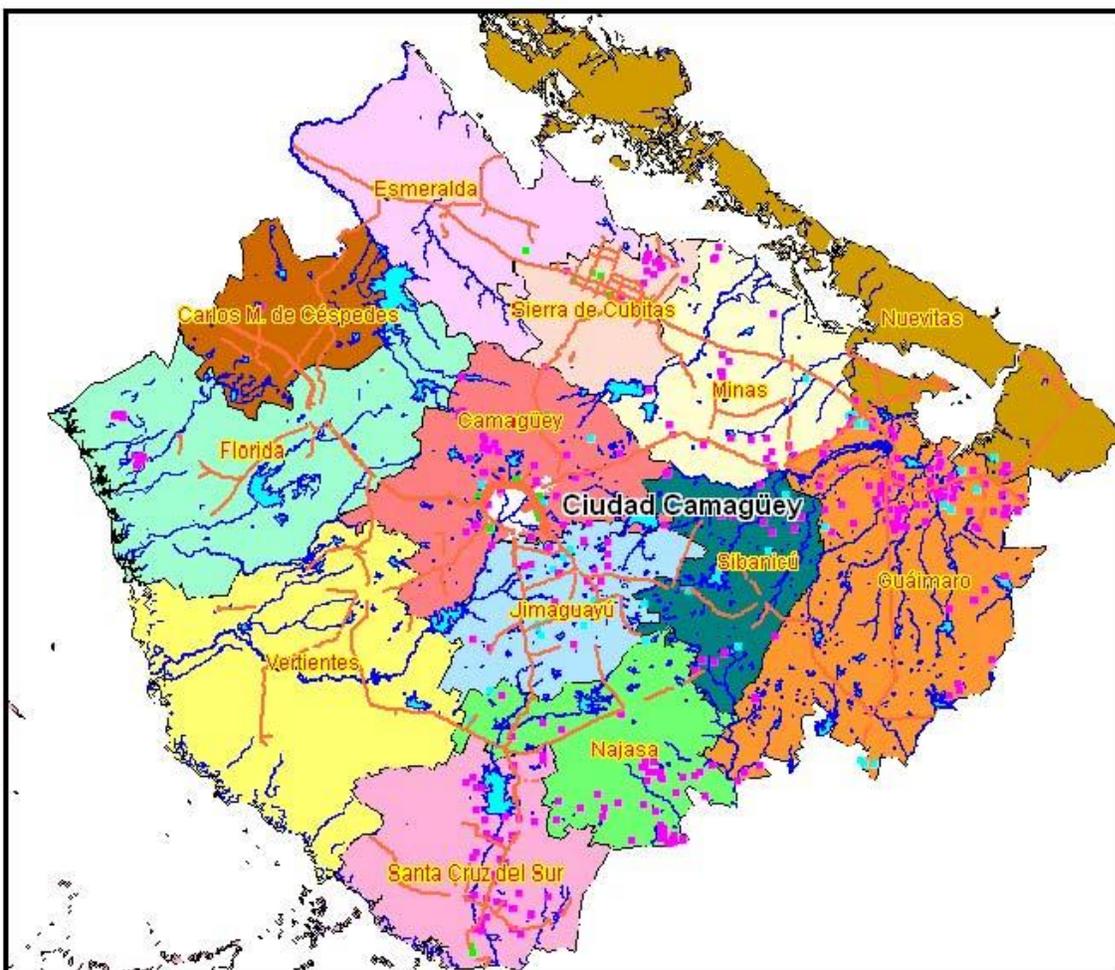
Este municipio es la capital de la provincia de igual nombre. El mismo concentra la mayor cantidad de actividades pertenecientes a los sectores secundarios y terciarios y tiene la mayor

cantidad de población.

Etapa 1. Ubicación geográfica de la zona de trabajo.

El área de estudio se encuentra enmarcada en los márgenes del Río Hatibonico de la ciudad de Camagüey, comprendida entre las coordenadas $\varphi = 21^\circ 21' 22''$ y $\varphi = 21^\circ 23' 22''$ de latitud Norte y $\lambda = 77^\circ 55' 22''$ y $\lambda = 77^\circ 54' 13''$ de longitud Oeste, ocupando un área de 4 km². Ver Figura 1.

Figura 1. Ubicación geográfica de la zona de trabajo.



Etapa 2. Breve caracterización físico-geográfica de la zona.

- Viales: La zona de trabajo posee una buena transitabilidad conformada por la red de

carretera de la ciudad de Camagüey.

- Hidrografía: La hidrografía en esta región es muy abundante, ya que posee un gran número de embalses, lagunas y ríos que atraviesan la ciudad como son el Río Hatibonico que su cuenca es de 140 Km² y la presa Tíñima ubicada al norte del área de estudio.
- Densidad de población: La región de estudio posee una gran densidad de población ya que la misma es de 19 415 habitantes/km².
- Objetivos socioeconómicos: La zona de estudio posee importantes objetivos económicos entre ellos se destacan los sectores Alimentario, Salud, Educación, Deporte, así como, las organizaciones políticas y de masas.
- Suelos: Las características generales de los suelos de esta región son parcialmente pardos grisáceos, pardos con carbonato, arcilla y de rocas ígneas ácidas mesozoicas de granito.
- Vegetación: Presenta una vegetación variada, ubicada fundamentalmente en los parques de la ciudad, como se destaca el bosque del Casino Campestre y en las márgenes del Río Hatibonico.
- Precipitaciones: Las precipitaciones medias anuales oscilan entre los 1200 y 1600 mm, en el período de mayo a octubre se considera el más lluvioso.

Etapa 3. Creación y aplicación del Modelo Digital del Terreno.

A partir de los resultados anteriores se crea el MDT, que a modo de ejemplo se le aplicaron los valores de pendiente para luego generar un modelo de inclinación del terreno que permite determinar las áreas más vulnerables a inundaciones provocadas por desbordamiento de los ríos como se muestra en la Figura 2.

Donde:

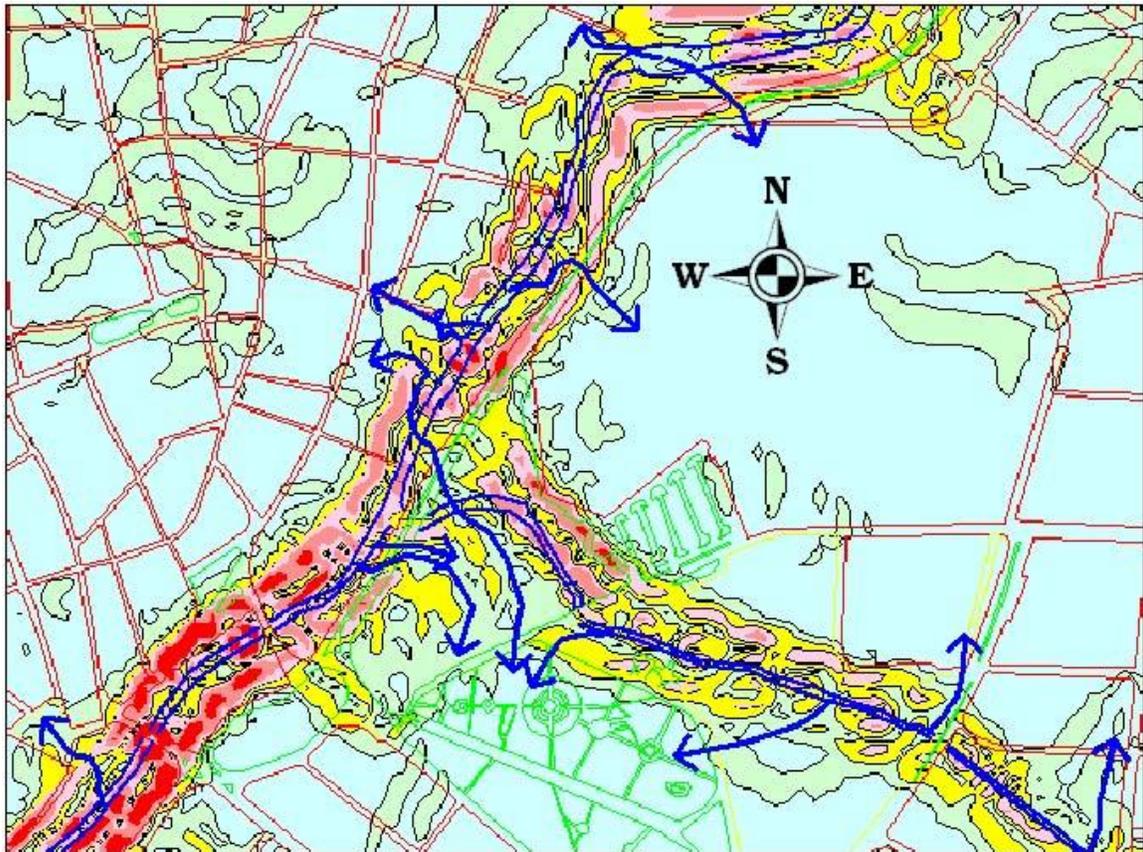
Inclinación de Pendiente

- 0° - 2°
- 14° - 20°
- 2° - 4.5°
- 4.5° - 9°
- 9° - 14°
- > 20°

Leyenda:

Lugares de desbordamientos de ríos. 

Figura 2. Áreas vulnerables a inundaciones y penetraciones de las aguas.

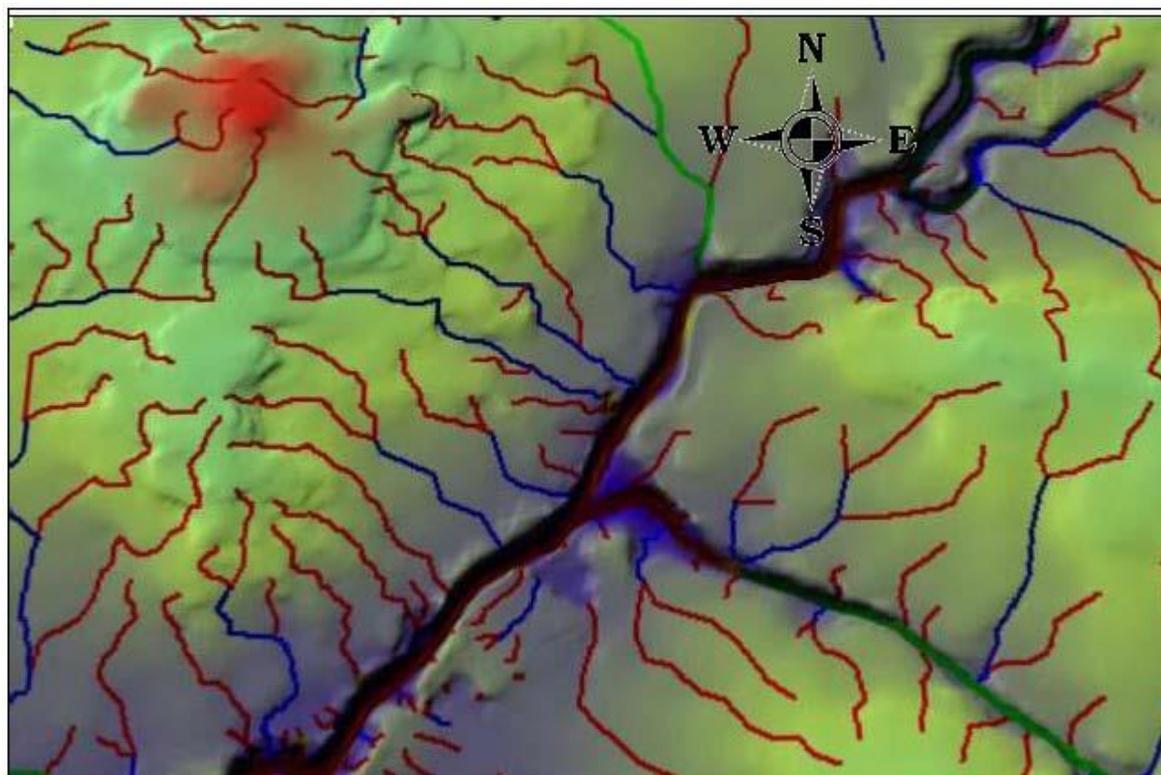


Fuente: Modelo Digital de Terreno

Con la creación de los modelos y de la red de drenaje previamente digitalizada se pudo determinar cuáles pueden ser las áreas más afectadas por fenómenos sísmicos además de

permitir la determinación con precisión de donde se encuentran las zonas de fallas como se muestra en la Figura 3.

Figura 3. Determinación de las zonas de fallas.



Leyenda

Ríos de segundo orden. 

Ríos de primer orden. 

De tal manera que contar con los MDT en el diagnóstico medioambiental, permite realizar inferencias sobre las afectaciones que pueden ocurrir en la economía, la población, la vivienda y la infraestructura de servicios como educación y salud, entre otros aspectos. Tanto a partir de las estadísticas como de simulaciones, mediante la formulación de escenarios, complementando las técnicas tradicionales utilizadas para estos fines.

En el caso ejemplificado, los MDT permiten fundamentar la estrategia medioambiental del

municipio Camagüey a mediano y largo plazo, formular variantes para el enfrentamiento y salvaguarda de los objetivos económicos y sociales como insumo para la elaboración de los planes del Gobierno y la Defensa Civil⁴ ante la ocurrencia de eventos naturales de diversa índole. Además, constituyen un instrumento para los estudios de vulnerabilidad y riesgos, que deben estar integrados al diagnóstico medioambiental.

De esta manera, el diagnóstico medioambiental de un municipio constituye un insumo efectivo en la planificación estratégica del desarrollo a escala local.

CONCLUSIONES

A partir de lo anterior se han llegado a las siguientes conclusiones:

1.- Los modelos digitales del terreno constituyen un instrumento que permite interpretar a través de la modelación de variables, los impactos ocasionados por eventos naturales en la población y objetivos de importancia económica y social para un municipio. No solo para eventos ocurridos sino que pueden ser simulados.

2.- La utilización de los modelos digitales del terreno puede emplearse para simular los daños que pueden ocasionar los eventos que tienen mayores probabilidades de ocurrencia lo que permitirían aportar elementos para la toma de decisiones por parte del gobierno local con un carácter proactivo.

⁴ En Cuba, la Defensa Civil es el órgano encargado de velar por la protección de todos los bienes y la población ante cualquier desastre o eventualidad que ocurra.

BIBLIOGRAFÍA

- Band, Lawrence E.** (1989): Spatial aggregation of complex terra- in. *Geographical Analysis*, 21(4): 279-293.
- Berry, J.K.** (1987) Computer assisted map analysis: potential and pitfalls". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 53(10): 1405-1410.
- Barreiro, F.** (2004) Desarrollo desde el territorio. A propósito del Desarrollo Local. Santiago de Cuba, Cuba: Trabajo presentado en el Taller Internacional de Desarrollo Local en Municipios de Ecosistemas Frágiles..
- González Fontes, R.** (2007) La gestión del desarrollo local con un enfoque integrador. Camagüey, Cuba: *Revista Retos de la Dirección*, 1(1), 45-62.
- González Torres, I.** (2014) Curso sobre Diagnóstico Estratégico Territorial. Camagüey, Cuba: CEDET, Universidad de Camagüey.
- Gaceta Oficial de la República de Cuba** Ley No. 81 (1997) del Medio Ambiente. Edición Extraordinaria. La Habana, Cuba.
- Vázquez C., Y.** (2009) Sistema de talleres para el tratamiento de la dimensión ambiental en la superación de los docentes del IPVCP: Héroes de Angola en el área de Ciencias Naturales. Pinar del Río, Cuba.
- PNUD** (2007) Informe sobre el Desarrollo Humano 2007-2008. La lucha contra el cambio climático: solidaridad frente a un mundo dividido.
- Veregin, H.** (1989a): A taxonomy of error in spatial databases. NCGIA, National Center for Geographic Information and Analysis. Technical Paper 89-12, 115 p.
- Veregin, H.** (1989b): "A review of error models for vector to raster conversion". *The Operational Geographer*, 7(1): 11-15.
- Wallace, T.** (1988) Raster and vector data integration: past techniques, current capabilities, and future trends. San Antonio, Texas. EE.UU. GIS/LIS '88 Proceedings: 418-426.
- Weibel, R.; Heller, M.** (1991) Digital terrain modelling. EE. UU.: Mac and Guirre et al: vol. 1:

269-297.

Weibel, Robert; DeLotto, Joseph S. (1988) Automated terrain classification for GIS modeling".

San Antonio, Texas, EE.UU. : GIS/LIS '88 Proceedings: 618-627.