



# TRABAJO TEORICO EXPERIMENTAL

## Impacto de los huracanes a la infraestructura eléctrica

### *Impact from the hurricanes to the electric infrastructure*

María - Rodríguez Gámez  
Antonio - Vázquez Pérez

Andrés R. - Espino Ares  
Jorge - Fernández A.

Recibido: Febrero del 2012

Aprobado: Junio del 2012

#### Resumen/Abstract

Conociendo que la Isla de la Juventud es un territorio vulnerable a los huracanes tropicales, se presenta en el estudio realizado para la reducción de desastres en el sistema eléctrico, utilizando el Sistema de Información Geográfica (SIG) como herramienta para el análisis integral, presentando ventajas al ser capaz de incorporar y manejar gran cantidad de información, propiciando el cálculo adelantado de las posibles pérdidas en valores económicos. El estudio de reducción de desastres permite a través de página web vincularse al sistema de Meteorología, logrando dar seguimiento a los huracanes que amenazan el territorio. En el trabajo se hace una presentación del municipio, en su entorno geográfico-energético, que sirve de ayuda a trazar una estrategia en el enfrentamiento de un huracán, con el objetivo de garantizar la estabilidad del servicio eléctrico de las actividades vitales, en las etapas del azote del fenómeno. Los resultados se muestran en mapas integrales, necesarios en la toma de decisiones.

**Palabras clave:** ciclones tropicales, desastres naturales, energía renovable, red eléctrica, sostenibilidad.

*Knowing that the Isla de la Juventud is a vulnerable territory the tropical hurricanes, it is presented the study carried out for the reduction of disasters in the electric system, using GIS, like tool for the integral analysis, introducing advantages to the being able to incorporate and manage great quantity of information, propitiating the early calculation the possible in lost economic. The study of reduction of disasters allows through page web to be linked to the system of Meteorology, being able to give pursuit to the hurricanes it threaten the territory. In the work a presentation of the municipality is made, in its geographical-energy environment that serves from help to trace a strategy in the confrontation of a hurricane, with the objective of guaranteeing the stability of the electric service, in the stages of the lash of the phenomenon. The results are shown in integral maps, necessary to taking of decisions.*

**Key word:** tropical hurricanes, natural disasters, renewable energy, electricgrid, sostenibilidad.

#### INTRODUCCIÓN

A partir del mes de Junio y hasta el mes de Noviembre los organismos tropicales se forman casi siempre en el Mar Caribe Occidental y por lo general se mueven en trayectorias próximas al Norte-Noreste, por lo que son un peligro potencial para Cuba y en especial para la Región Occidental de nuestro país. Las intensas lluvias pueden producirse por la formación de fenómenos meteorológicos que se manifiestan en ondas y bajas tropicales. Las propias depresiones, tormentas tropicales y los huracanes que siempre vienen acompañados de intensas lluvias, pudiendo ser durante varios días torrenciales aguaceros, continuando con lluvias intensas acompañadas de tormentas eléctricas.

La Isla de la Juventud presenta su territorio rodeado por costas, las penetraciones del mar constituyen otro de los eventos asociados a estos fenómenos, agudizándose este fenómeno por la influencia de un huracán. Aún, cuando no se experimenten las afectaciones directas de los mismos, se pueden producir penetraciones costeras y con ello las afectaciones de las instalaciones del SEN en todo territorio e incluso con peligro para la vida de sus trabajadores.

La Isla de la Juventud por su ubicación geográfica y la trayectoria habitual que describen estos fenómenos en determinadas épocas del año, la sitúa frecuentemente en peligro del impacto y en algunos momentos en el ojo mismo de la tormenta, calificándola como un territorio de alto riesgo al impacto de los fenómenos hidrometeorológicos extremos y en especial los ciclones tropicales. En los últimos tres años, ha sido víctima de violentos impactos de fenómenos hidrometeorológicos extremos, en el año 2008, fue atravesada por dos huracanes con comportamientos diferentes; pero que trajeron como consecuencia grandes focos de destrucciones en todos los sectores de la sociedad, a los que no escapó la infraestructura de la red eléctrica.

Estos dos fenómenos hidrometeorológicos, destruyeron gran parte de la infraestructura eléctrica existente, afectando el servicio eléctrico, la economía y población de ese territorio por varios días y gracias a la colaboración de todas las organizaciones del municipio y a la estrategia cooperativa recibida del país, que les permitió su recuperación en corto plazo.

Según el Informe del servicio hidrográfico y geodésico de la República de Cuba a la IV Reunión del CP IDEA, presentado en Costa Rica (*informe del servicio hidrográfico y geodésico de la república de Cuba a la IV reunión del CP IDEA*), se han diseñado varios proyectos en escenarios pilotos, destacándose el de manejo de desastres naturales. Es de interés para el personal de dirección y administrativo de la empresa eléctrica, conocer la vulnerabilidad de los componentes de la infraestructura de la infraestructura eléctrica en la Isla, además de tener vínculos dinámicos con el sistema de información del Instituto Nacional de Meteorología y otros sistemas nacionales que ayuden al conocimiento del comportamiento de estos fenómenos, su trayectoria y pronósticos, para trazar estrategias oportunas haciendo estudio anticipado de reducción de desastres, antes, durante y después del impacto. Este trabajo se ha podido desarrollar gracias al apoyo y colaboración de las instituciones del estado y el gobierno del municipio especial de la Isla de la Juventud, GeoCuba, CITMA y los especialistas de la Empresa eléctrica que trabajaron arduamente, para poder inventariar la infraestructura eléctrica existente, después del paso de los Huracanes Ike y Gustav.

La investigación se encuentra asociada al proyecto de investigación relacionado con la implementación de las fuentes de energía renovable y el interés de conocer su ubicación para ser utilizadas como fuentes generadoras en caso de impactos de cualquier desastre natural [1]. Los SIG constituyen herramientas indispensables para los procesos de gestión de los territorios; como son los problemas de sequía, desertificación, erosión, contaminación ambiental, desastres naturales, etc. Estos problemas tienen una dimensión geográfica, es ahí donde están llamados a buscar soluciones territoriales integrales; además de facilitar la búsqueda de métodos para enfrentarlos (*www.geosystems*).

En el manejo de riesgos naturales se valoran la susceptibilidad del territorio para el enfrentamiento de los peligros de desastres, en este trabajo se tendrá en cuenta la infraestructura eléctrica del municipio especial Isla de la Juventud.

La Isla de la Juventud es la segunda en extensión del archipiélago cubano, con 3.000 km<sup>2</sup> situada al suroeste de Cuba, en el sub archipiélago de los Canarreos, a una distancia de 48.4 km del Golfo de Batabanó, que es el punto más cercano a la Isla de Cuba. Está ubicada entre los 21°, 28' y 21°, 58' de latitud norte y entre 82°, 32' y 83°, 17' de longitud oeste (ONE, *Anuario estadístico de Cuba. Delegación Isla de la Juventud*. Edición 2008, 2008. ONE-265/2008). Fue descubierta por Cristóbal Colón en 1494 bautizándola con el nombre de Evangelista, habitada en los años posteriores a su descubrimiento por Piratas y esclavos apalencados, luego toma el nombre de Isla de Pinos hasta el año 1978, que se le concede el nombre de Isla de la Juventud, con la categoría política-administrativa de un municipio especial atendido directamente por el nivel central del país.

Sus suelos son lateríticos, rocoso en las montañas y caliza en el resto, presentando una zona de pantanos en su parte sur. Su clima es muy especial por encontrarse situada geográficamente al sur de la Isla Grande, en un mar poco profundo de aguas cálidas y temperaturas más o menos estables de 25°C, presentando un invierno fresco y un verano cálido. Llueve casi todo el año con precipitaciones promedio de 500 mm anuales, en el invierno las lluvias frontales y en el verano las convectivas y ciclónicas.

Su relieve es casi totalmente llano, interrumpido por algunas elevaciones regulares al norte y centro, su mayor elevación es de 303 m en la Sierra de Cañada, predominando en su vegetación algunos pinares, su vegetación en general es de sabana, matorrales y de ciénaga al sur, presenta los principales yacimientos de mármol del país, con una alta variedad y calidad que lo distinguen por su belleza, destinándose una parte importante de la producción de este material para la exportación. Su renglón económico es la agricultura, principalmente de cítricos y el turismo

naturalista e histórico, además de la pesca submarina en los cayos aledaños. Su situación geográfica la ubica en el corredor de numerosos y potentes huracanes, siendo este evento, el principal riesgo de desastres que afronta.

La investigación se ha desarrollado a partir de la necesidad gestionar de forma integral el territorio de la Isla de la Juventud, proponiéndose el SIG como herramienta facilitadora en el proceso de planificación y de toma de decisiones en la reducción de desastres naturales en la infraestructura eléctrica, logrando realizar simulaciones del impacto de estos fenómenos, a través de representaciones en mapas mostrando los caracteres de su trayectoria e intensidad, pudiendo apreciar visualmente el impacto en los componentes de la infraestructura eléctrica del territorio y en consecuencia tomar las medidas para su enfrentamiento del fenómeno natural, aplicando las medidas adecuadas desde el punto de vista técnico económico. Para este estudio se ha profundizado en la teoría sobre la reducción de desastres de forma que facilite la comprensión de los criterios que se analizarán, aunque algunos autores lo definen de diferentes maneras, el desastre es la consecuencia gravemente negativa de un hecho catastrófico que provoca pérdidas de gran magnitud, en personas, cosechas, animales, industrias u otros bienes valiosos. Pueden ser ocasionados por la propia naturaleza, como los terremotos, los rayos que ocasionan incendios, una avalancha de nieve, una erupción volcánica, o inundaciones, en cuyo caso recibe el nombre de desastre natural; o por la acción humana, como por ejemplo un incendio producido por dolo o negligencia que se extiende en grandes áreas [2].

El concepto desastres incluye el de peligro o amenaza, vulnerabilidad, elementos vulnerables, riesgo, reducción de desastres, vías para la reducción de las vulnerabilidades. A los efectos del presente estudio consideramos necesario establecer la diferencia entre “desastre” y “amenaza o peligro de desastre” [3].

La amenaza o peligro de desastres, se refiere al fenómeno nocivo en sí, con potencial de provocar efectos altamente dañinos en las personas, los recursos materiales, culturales y patrimoniales y el medio ambiente en general. El desastre, es el resultado del impacto de un fenómeno altamente destructivo sobre los elementos vulnerables de un territorio. No siempre una emergencia llega a constituir un desastre, depende de varios factores y entre ellos, al grado de eficacia alcanzado en las etapas iniciales del proceso de reducción de desastres [4]. La amenaza o peligro de desastres no puede modificarse; pero queda la posibilidad de reducir el riesgo y la reducción de desastres sólo se logra reduciendo este, lo que a su vez significa trabajar sobre el componente modificable del riesgo, es decir los elementos vulnerables, que sería igual a reducir la vulnerabilidad. Lo anteriormente planteado se puede resumir mediante la siguiente ecuación 1:

$$ap.ev = rd \quad (1)$$

Donde (ap) representa la amenaza o peligro, (ev) elementos vulnerables y (rd) el riesgo de desastre.

La variable amenaza, depende de los factores climatológicos, siendo muy difícil poder reducirla y generalmente se muestra como una constante, por lo que solo tenemos posibilidades de modificar y reducir la vulnerabilidad, que sería igual a reducir los riesgos de desastres.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se propone el SIG [5], para gestionar los territorios en función de disminuir la vulnerabilidad a desastres naturales, el sistema propuesto estará vinculado a un servidor de mapas propuesto para la gestión de la energía en el país y que servirá para los estudios de vulnerabilidad de la infraestructura del sistema eléctrico. El sistema prestará servicio de información a todos los sistemas existentes en las empresas de energía y el ministerio responsable, incorporando a este nivel el tema de la reducción de riesgos de desastres.

El trabajo muestran detalles de la vulnerabilidad del SEN en el municipio especial de la Isla de la Juventud, el cálculo de los daños y pérdidas producto del impacto de un fenómeno hidrometeorológico extremo, así como la determinación de los recursos y medios necesarios, para llevar a cabo la planificación de reducción de desastres en las etapas correspondientes: prevención, preparativos, enfrentamiento y la recuperación, en función de garantizar la electricidad a los servicios vitales de la economía y la sociedad.

Se presentará una metodología que facilitará el estudio de la vulnerabilidad del sistema eléctrico, las medidas para restablecer los daños causados en corto plazo del servicio eléctrico en los puntos vitales y poner en funcionamiento total el servicio en el más breve plazo. Se realizará a partir de varios mapas temáticos, elaborados en una escala 1:250000. Se cuenta con capas poligonal y puntual, que recoge los asentamientos poblacionales de la Isla, sistema de vías, distinguiéndose, las carreteras y otros viales de interés, las líneas de tendido eléctrico, sub-estaciones, central eléctrica, grupos Diesel, y de emergencia; además el modelo del relieve, imágenes de las zonas de inundación, las zonas costeras donde se producen penetraciones del mar, el mapa de radiación solar global y directa

que incide en el territorio, los estudios del potencial eólico, se utilizaron otras fuentes de información cartográfica de mapas puntuales de las fuentes hidrográficas, etc.

## RESULTADOS

En la figura 1, en la ilustración se observa el modelo para el desarrollo del ciclo de reducción de desastres y en la figura 2, la ilustración del proceso de reducción de desastres que se manifiesta de forma cíclica, esto demuestra la importancia de lo planteado anteriormente, justificando la necesidad de realizar análisis objetivos de la variable vulnerabilidad, permitiendo una adecuada planificación y control de las actividades del ciclo de reducción de desastres, que consta de cuatro etapas y una de ellas, a su vez, tiene cuatro fases:

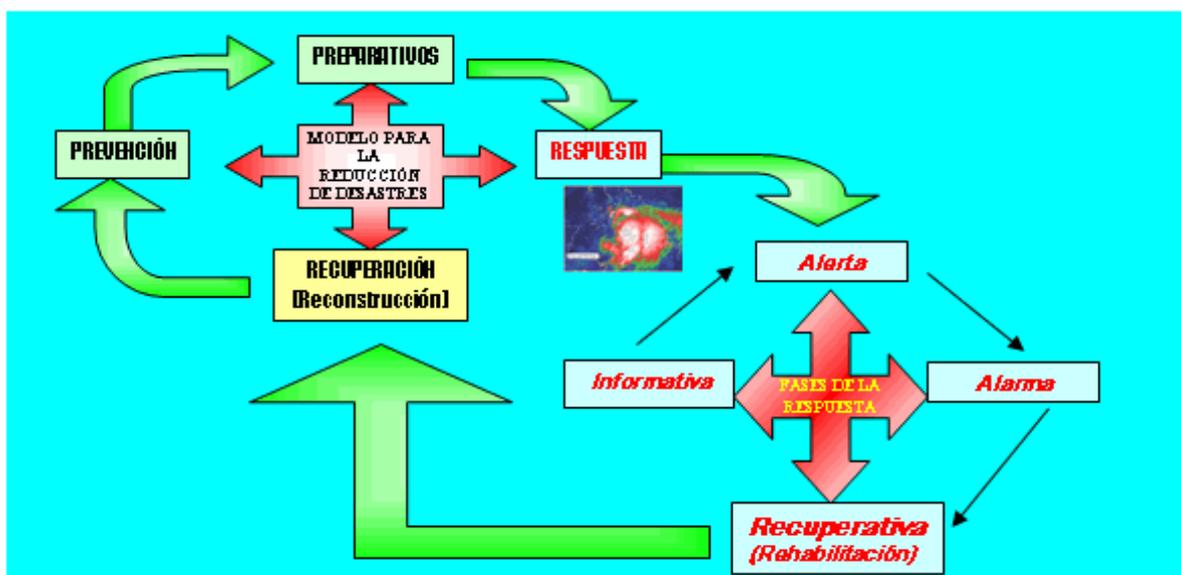


Fig. 1. Ciclo de reducción de desastres.

Las etapas de prevención y preparativos para la respuesta corresponden a la situación normal, es decir se cumplen habitualmente y se planifican con plazos similares al resto de las actividades normales de la entidad. Es precisamente durante el cumplimiento de las actividades planificadas para estas etapas, que se estará en mejores condiciones de realizar los estudios sobre las vulnerabilidades, acometiendo las acciones más adecuadas en función de reducirlas al máximo y con ello reducir los riesgos de la infraestructura eléctrica ante el impacto de los fenómenos naturales. En el caso de los ciclones tropicales la Etapa de Respuesta comienza en el momento en que resulta muy cercana la amenaza por el fenómeno natural y corresponden a esta las fases que establece el Decreto Ley 170/97 del Consejo de Estado: Fase Informativa, Fase de Alerta, Fase de Alarma y Fase Recuperativa. La Etapa de Respuesta comienza con el momento en que se decide declarar la Fase Informativa y concluye al anunciarse la Fase Recuperativa o el paso a la normalidad.

El resultado del impacto de los huracanes de gran intensidad que afectaron el territorio de la Isla de la Juventud en el 2008, evidenció la necesidad de reforzar el trabajo de reducción de la vulnerabilidad de la infraestructura eléctrica, dada la importancia que ella reviste para el mantenimiento de la estabilidad económica y la vida del territorio los sistemas de Información están llamados a resolver problemas complejos, una de las técnicas utilizadas es la evaluación multicriterio [6]. Para poder realizar una planificación adecuada del ciclo de reducción de desastres, se requiere poseer la información detallada de la situación que presenta el territorio, sus características, sus puntos fuertes y débiles y al efecto del presente estudio, todos los detalles relacionados con la infraestructura eléctrica en el territorio, incluido los sistemas de la energía renovable, su estado físico, nivel de protección, vulnerabilidades, demanda del sector económico, demanda del sector residencial, demanda requerida para el mantenimiento del servicio eléctrico a los puntos vitales, situación que presentan las reservas de combustible entre otros.



Fig. 2. Proceso de reducción de desastres.

La información se encuentra dispersa en los diferentes perfiles administrativos y de dirección, el SIG es capaz de agruparla en una sola base de datos, al propio tiempo que garantiza su manejo ágil y operativo por parte de la dirección en los distintos niveles, es aquí la utilidad del sistema propuesto aplicado al campo de la reducción de desastres, donde además ofrece la disponibilidad de datos espaciales georreferenciados que facilitan aún más los estudios sobre la variable Vulnerabilidad y en consecuencia planificar y adoptar las medidas para su reducción. Los estudios sobre la vulnerabilidad del sistema eléctrico de un territorio para el enfrentamiento de los peligros de desastres, se realizan en la práctica de manera integral para todos los peligros de desastres, por lo que las medidas de su reducción también tendrán este carácter integrador, solo a los efectos de este trabajo hemos particularizado el riesgo correspondiente a los fenómenos hidrometeorológicos extremos, dada la recurrencia del impacto de estos en el territorio y donde se considera que en la Isla de la Juventud debe concentrar los esfuerzos principales.

## PRODUCCIÓN DE CRITERIOS

Para poder presentar criterios con carácter objetivo y fundamentada, se necesitan conocer los detalles más elementales sobre el patrón de comportamiento de estos fenómenos naturales en nuestra región, así como la experiencia obtenida en su enfrentamiento, condensada cuidadosamente en la base de datos del sistema, pudiendo disponer de ella con facilidad cuando se le necesite; según lo planteado en las Normas para la Proyección y Ejecución de las Medidas Técnico Ingenieras de Defensa Civil, se define como:

**Ciclón tropical:** Término genérico de un ciclón a escala sinóptica no acompañada de un sistema frontal, que se forma sobre aguas tropicales o subtropicales y que tiene una convección organizada y una circulación de los vientos en superficie claramente ciclónica. El giro de los vientos es en dirección contraria a las manecillas del reloj en el hemisferio norte. El ciclón tropical posee una extensa zona de influencia que puede alcanzar un diámetro de 800 a 1000 Km. Los ciclones tropicales, tienen tres elementos peligrosos que hay que considerar durante el diseño o revisión de las inversiones:

1. **Fuertes Vientos:** con grandes velocidades en una zona hasta 200 Km. alrededor del centro y en especial en las rachas que alcanzan, 1.5 veces el valor del viento máximo sostenido. Se producen condiciones locales extremas y tornados que aumentan considerablemente los efectos del viento, los objetos volantes adquieren fuerza de proyectiles capaces de causar grandes daños.
2. **Intensas llluvias:** no están relacionadas con la intensidad del ciclón tropical, pero sí con su velocidad de traslación. En una depresión tropical las llluvias más intensas ocurren a la derecha y algo distantes del centro de

circulación. En un huracán se distribuyen más uniformemente alrededor del centro. Se incrementa con el movimiento lento o errático, siendo más intensas en las zonas montañosas.

3. **Marea de tormenta o surgencia:** sobre elevación del nivel del mar que se extiende a unos 180 km a la derecha de la trayectoria del huracán. Es mayor mientras más intenso sea el organismo y más suave el perfil del fondo marino. (En Cuba fue la causa del mayor desastre natural al elevarse el mar 6,5 m de altura en Santa Cruz del Sur en 1932 que produjo 3500 muertos). La marea de tormenta se compone de la marea astronómica normal y de la surgencia de tormenta.

Se incluyen dentro del término ciclón tropical a los estadios de depresión tropical, tormenta tropical y huracán.

El ciclón tropical es el más destructivo de todos los sistemas meteorológicos; se define el huracán como el estadio superior o etapa de madurez de un organismo ciclónico tropical, en el que se denota una circulación bien organizada de los vientos sobre un centro denominado ojo o vórtice, la velocidad de los vientos supera los 118 km por hora y se aprecia una fuerte caída de la presión barométrica.

Se manifiestan todos los factores destructivos de los ciclones tropicales aunque resultan de mayor interés los fuertes vientos y las mareas de tormenta o surgencias; entre las manifestaciones fundamentales de los mismos se pueden señalar las siguientes: Los vientos más fuertes están localizados en la pared nubosa alrededor del ojo, la velocidad del viento es más alta sobre el océano, el viento máximo generalmente se encuentra en el cuadrante derecho delantero, lo que es todavía más frecuente en las tormentas pobremente desarrolladas, la fuerza de los vientos es capaz de provocar un fenómeno conocido como la Ola del Huracán que se manifiesta mediante una ola inmensa que en ocasiones se ha observado al paso de los huracanes por zonas costeras, islas y archipiélagos, se desplaza con el movimiento del centro del huracán y en algunas oportunidades se ha producido cuando la calma relativa del "ojo" ha alcanzado la costa. Es importante tener en cuenta, que al interpretar el pronóstico de un Ciclón Tropical las siguientes peculiaridades: El huracán no es un punto, tiene vientos huracanados hasta unos 200 km del centro; lluvias intensas hasta 500-800 km trayectoria no es lineal ni uniforme.

Las experiencias acumuladas en el territorio durante el enfrentamiento de los fenómenos hidrometeorológicos extremos que la han azotado, los niveles de afectación que estos han causado a la infraestructura eléctrica y la capacidad del territorio para enfrentarlo, ha permitido la producción de un grupo de criterios sobre niveles de afectaciones, medidas de protección y parámetros de compatibilidad, a los efectos de facilitar la apreciación de la situación, determinar los cálculos de las pérdidas, su monto económico y en consecuencia las medidas que se requieren para realizar la recuperación del sistema eléctrico, priorizando los servicios vitales y de donde dependen la estabilidad de la vida de la sociedad y el desarrollo socioeconómico del territorio, todo ello dirigido a la organización y planificación adecuada del ciclo de reducción de desastres.

**Para ciclones tropicales categoría I, II y III.** La infraestructura del Sistema Eléctrico en la Isla de la Juventud, presenta vulnerabilidad, estas consisten aproximadamente en las siguientes afectaciones: Interrupción del servicio eléctrico durante el paso del huracán (6 a 24 horas), caída de hasta un 15 % de los postes, rotura de hasta un 10 % de los transformadores, rotura de hasta un 20 % de las líneas eléctricas, afectaciones de interés en el 5 % de las subestaciones, daños de hasta el 30 % de las edificaciones donde se encuentran ubicados los grupos Diesel y de emergencia, contaminación con agua, de los depósitos de combustible de la central eléctrica y los grupos Diesel, obstrucción de las calles y vías de desplazamiento por árboles caídos y los escombros, dificultando los trabajos del restablecimiento del servicio eléctrico y la recuperación, inundación de las zonas bajas y las que se encuentran próximas al litoral, provocando demoras en los trabajos del restablecimiento del servicio eléctrico y la recuperación y afectaciones hasta de un 30 % de los trabajadores y sus viviendas provocando una reducción de las fuerzas disponibles para acometer los trabajos del restablecimiento del servicio eléctrico y la recuperación.

**Para ciclones tropicales categoría IV y V.** La infraestructura del Sistema Eléctrico en la Isla de la Juventud, presenta vulnerabilidades considerables, que consisten aproximadamente en las siguientes afectaciones: Caída del 90 % de los postes de la red eléctrica, caída del 90 % de los transformadores y rotura del 30 % de los mismos, colapso del 100 % de la red eléctrica de baja, media y alta tensión, colapso del 100 % de las subestaciones de distribución, interrupción del servicio eléctrico a la población durante un tiempo prolongado, destrucción de la estructura eléctrica exterior de los grupos Diesel, destrucción del 45 % de las edificaciones donde se encuentran ubicados los grupos de emergencia, contaminación con agua de los depósitos del combustible, daños parciales a las edificaciones de las infraestructuras del SEN en la Isla de la Juventud, desabastecimiento de combustible por varios días, obstrucción de las calles y vías de desplazamiento por árboles caídos y los escombros, dificultando los trabajos del restablecimiento del servicio eléctrico y la recuperación, inundación de las zonas bajas y las que se encuentran próximas al litoral, provocando demoras en los trabajos del restablecimiento del servicio eléctrico y la recuperación, considerables afectaciones a los trabajadores y sus familias, provocando una reducción considerable de las fuerzas disponibles para acometer los trabajos del restablecimiento del servicio eléctrico y la recuperación.

### Criterios sobre parámetros de compatibilidad

Las nuevas inversiones del sistema eléctrico deben cumplir los siguientes requisitos de compatibilidad: No debe ser construida en un área de peligro de inundaciones peligrosas, ya sea costera o tierra adentro, no debe ser construida en un área de posible deslave (deslizamiento de tierra o lodo), no debe ser construida en áreas de licuefacción en zonas sísmicas, si por razones excepcionales fuese necesario construir en un área de alto peligro, el proyecto debería ser excepcionalmente seguro frente al tipo de amenaza de que se trate, para lo cual debe estar certificado por las autoridades científicas y administrativas correspondientes.

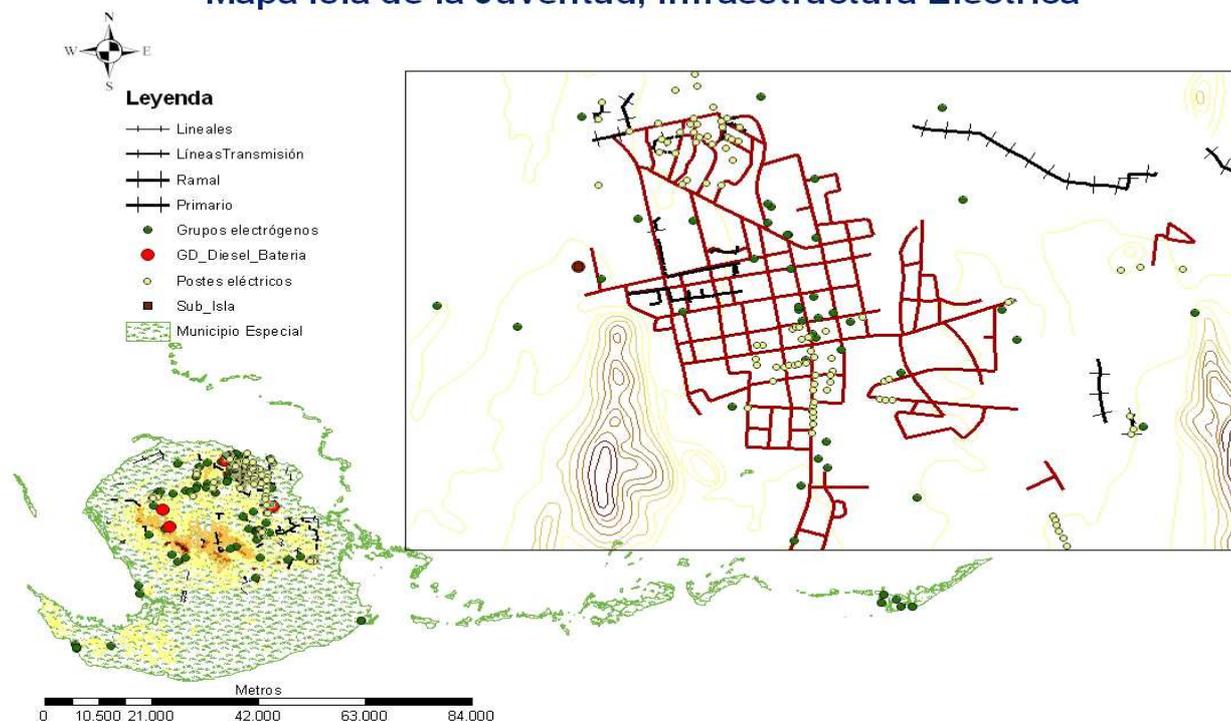
### Situación general pre desastres que presenta el territorio

Los resultados obtenidos con el presente trabajo, permiten realizar una valoración general de la situación que presenta el territorio de la Isla de la Juventud, para el enfrentamiento de un fenómeno hidrometeorológico extremo, así como realizar manejo de información espacial georreferenciada, mediante simulaciones y la consideración de los criterios elaborados sobre la base de la experiencia del enfrentamiento de fenómenos de esta naturaleza, que facilita ejecutar la planificación y control de las actividades y tareas del ciclo de reducción de desastres. Esta información se elabora utilizando las herramientas del SIG, mediante la producción de criterios, que permiten de manera ágil, realizar el análisis operativo espacial, sobre el tema elegido.

### Escenario pre desastres

En la ilustración de la figura 3, se observa la representación espacial de las zonas con mayores afectaciones en caso del impacto de un fenómeno hidrometeorológico extremo, mostrando la infraestructura eléctrica. Esta información permite conocer al detalle, las zonas que presentan una mayor vulnerabilidad ante la amenaza de un fenómeno hidrometeorológico extremo, en este caso corresponde a la zona norte de la Isla, donde se encuentran ubicados los principales núcleos poblacionales y proporcionalmente se encuentran concentrados los elementos de la infraestructura eléctrica del territorio. Con la información obtenida durante el estudio, se elaboró la base de datos y los mapas temáticos que facilitarán los trabajos de definición de las vulnerabilidades del sistema eléctrico ante el impacto de los fenómenos hidrometeorológicos extremos, estos se enumeran a continuación:

**Mapa Isla de la Juventud, Infraestructura Eléctrica**



**Fig. 3. Zonas con mayores afectaciones (Fuente: Elaboración propia).**

La información reflejada en el mapa temático, permitió disponer de la información en una sola base de datos, relativa a la ubicación y distribución del sistema de líneas eléctricas de baja, media y alta tensión, postes, transformadores, luminarias del alumbrado público, la Central Eléctrica de la Isla, la ubicación de los Grupos Diesel y de emergencia; se puede apreciar que la infraestructura eléctrica del territorio coincide con la ubicación de los principales asentamientos poblacionales de la Isla y que constituyen las zonas que presentan una mayor vulnerabilidad. Información alfanumérica reflejada en mapa con la representación espacial de la radiación solar global y las instalaciones fotovoltaicas que existen en el territorio. En el caso de los sistemas de grupo electrógenos que se observan sin líneas eléctricas dan soluciones a problemas puntuales en el modo de la generación distribuida. Los postes que están aislados no tienen líneas representativas, estando ubicados para puntos específicos y la concentración de postes que se observan que aparentemente no tienen líneas eléctricas asociadas se encuentran en sitios de alta densidad de objetivos sociales y económicos que a la escala que se presenta el mapa no se pueden observar.

1. Mapa con la representación espacial de la infraestructura eléctrica en la Isla de la Juventud.
2. Información alfanumérica mostrada en mapa con la representación espacial del potencial hídrico y las minihidroeléctricas que existen en el territorio.
3. Información alfanumérica mostrada en mapa con la representación espacial del potencial eólico y las instalaciones eólicas que existen en el territorio.
4. Información alfanumérica mostrada en mapa con la representación espacial del potencial de biomasa y las instalaciones que en la actualidad se encuentran explotando este tipo de recurso.

Mediante esta información se puede apreciar, el considerable potencial existente en el territorio para la explotación de las energías renovables, estos sistemas por su relativa envergadura, su facilidad, rapidez de instalación y desmonte, así como por el volumen de la energía que pueden aportar, se convierten en una opción factible a introducir en los estudios que se realicen. Esta información permite determinar la vulnerabilidad de los sistemas renovables instalados, adoptando las medidas para su reducción, así como de forma paralela estudiar la introducción de estas tecnologías en base al potencial existente, en función de garantizar la estabilidad de servicio eléctrico a los puntos vitales en cualquier condición de la situación. El mapa de la representación espacial de las carreteras y vías, permite disponer de la información requerida sobre las vías de desplazamiento automotor, que se utilizarían para garantizar el traslado de las fuerzas y recursos requeridos durante los trabajos de restablecimiento del servicio eléctrico y la recuperación.

Los mapas con la representación espacial de las zonas de inundaciones y de las zonas de penetraciones del mar, juegan un papel determinante en el estudio de los riesgos y están elaboradas en base a la experiencia práctica obtenida durante el enfrentamiento a los fenómenos de esta naturaleza que han azotado el territorio de la Isla de la Juventud. Los mapas temáticos con simulaciones de huracanes que por su trayectoria amenazan con impactar el territorio de la Isla de la Juventud vista en las figuras 4A y 4B, se obtuvieron a partir de aplicar la metodología desarrollada, pudiéndose establecer secuencias de posibles trayectorias de los huracanes y desarrollar programas preventivos.

Como se puede observar en la secuencia de las figuras 4A y 4B, si se conoce con antelación sobre la ubicación geográfica del huracán, su posible trayectoria, su intensidad, el pronóstico de su posible organización y desarrollo, la fuerza de sus vientos, donde está concentrada la mayor cantidad de lluvias, el área que abarca, si además se conoce las características del comportamiento de estos fenómenos, basadas en las experiencias obtenidas durante su enfrentamiento. Si contamos con herramientas que permiten manejar con agilidad el volumen de datos e informaciones relacionadas con la situación y ubicación espacial de los elementos que integran la infraestructura del sistema eléctrico del territorio; se estará en mejores condiciones de establecer la alerta temprana y llevar a cabo con tiempo adecuado, el proceso de toma de decisiones para la protección de los trabajadores y los recursos económicos, así como crear las condiciones organizativas y materiales requeridas, para garantizar el restablecimiento del servicio eléctrico en breve plazo de los puntos vitales de la dirección, la economía y la sociedad, a la vez que se puedan crear las condiciones más favorables para llevar a cabo las tareas de la recuperación y restablecer completamente el servicio al territorio.

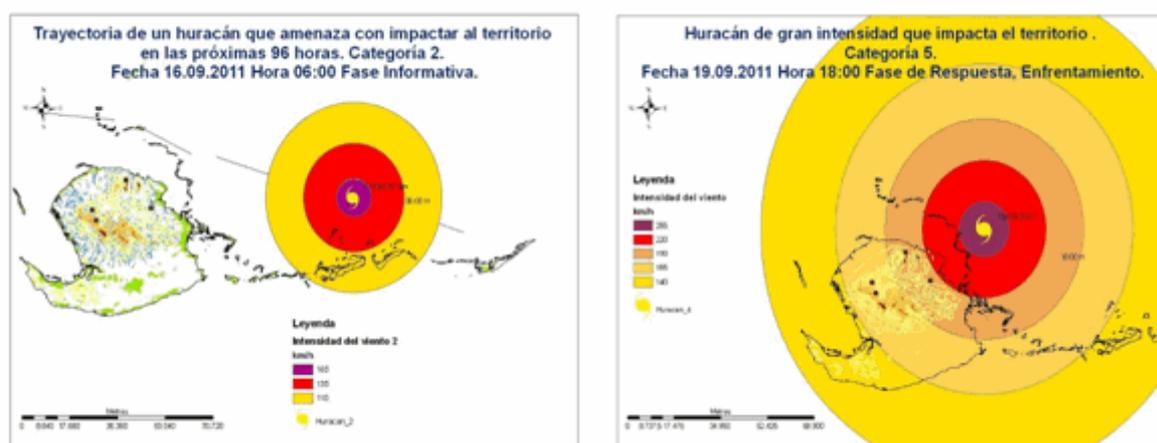


Fig. 4. Huracán Categoría 2 acercándose en A y en B, alejándose del territorio (Fuente: Elaboración propia).

Estas herramientas pueden ser utilizada como un valioso material de estudio, durante los ejercicios de los Órganos de Dirección a los diferentes niveles, con el tema de la determinación de las vulnerabilidades del sistema eléctrico de la Isla, la adopción de las medidas para reducir los riesgos, la factibilidad de la introducción de los sistemas renovables como una alternativa para asegurar el servicio eléctrico a los puntos vitales en cualquier condición de la situación, a la vez que desde tiempos normales se pueda incrementar la disponibilidad de energía en el sistema, traduciéndose en ahorro de combustible.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los SIG son herramientas que pueden ser utilizadas para facilitar la organización y planificación del ciclo de reducción de desastres ante la amenaza de un fenómeno hidrometeorológico extremo.

Partiendo de la representación espacial del territorio y dentro del mismo la infraestructura eléctrica, aprovechando las herramientas del SIG y la base de datos elaborada, se pueden realizar simulaciones del impacto de fenómenos hidrometeorológicos extremos que faciliten el estudio de las actividades a llevar a cabo en el ciclo de reducción de desastres. Para el análisis detallado del posible comportamiento de estos fenómenos naturales y tomando en consideración las actividades que se requieren cumplir en cada una de las etapas del ciclo de reducción de desastres, es necesario ir al detalle pormenorizado de cada información disponible relacionada con el territorio.

### Durante la etapa de prevención

Solo a los efectos de este trabajo, se realizará el estudio de las vulnerabilidades del sistema eléctrico de la Isla de Juventud, diferenciando el peligro relativo a los fenómenos hidrometeorológicos extremos, pues en la práctica estos estudios se realizan de manera integral para todos los tipos de desastres, lo que permite la adopción de medidas de mitigación con un carácter generalizador. Para poder trabajar en la reducción de la vulnerabilidad de las instalaciones y sistemas con una proyección basada en prioridades, que se establezcan a partir del resultado de los estudios de riesgo y de las posibilidades materiales y financieras, es necesario que el diagnóstico de las debilidades y fallas abarque por separado y de acuerdo a su importancia la vulnerabilidad estructural, no estructural y funcional, ya que las vías, momentos y recursos para lograr el propósito de disminuir debilidades es diferente en muchos casos. En el caso de la vulnerabilidad estructural, cuyo momento fundamental para lograr reducirla, es precisamente durante el proceso inversionista y la vía principal es a través de una adecuada microlocalización y un proyecto constructivo que intrínsecamente contenga las condiciones racionales de fortaleza, frente al impacto de fenómenos altamente destructivos. Estas se refieren fundamentalmente a las partes estructurales de la infraestructura eléctrica, es decir cimientos, muros portantes, vigas, cubiertas, entre otros. La vulnerabilidad no estructural es la que determina la mayor cantidad de daños de las instalaciones en el caso de los huracanes y otros fenómenos hidrometeorológicos severos. Estas se refieren a los componentes incorporados a las estructuras de edificios, como son las puertas, ventanas, incluye las redes eléctricas como tales de diferentes categorías, los depósitos de combustible de diferentes tipos, las redes hidráulicas, de comunicaciones y otras.

Las experiencias vividas por el territorio durante el enfrentamiento y consecuencias ocasionadas por fenómenos de esta naturaleza, demuestran que existen un conjunto de fallas y debilidades entre las que podemos señalar las siguientes:

- Numerosos daños se producen por no haber realizado los estudios adecuados sobre las vulnerabilidades de los elementos del territorio, por deficiencias en la gestión de proyectos.
- No aplicación de criterios de protección ajustados a lo establecido por las normas constructivas, en cuanto al montaje de elementos no estructurales.
- Deficiente anclaje y fijación de los elementos con mayor peligro.
- Inexistencia de condiciones y aseguramientos para el desmonte de estructuras eléctricas muy vulnerables ante el impacto de estos fenómenos.
- Imprevisión de alternativas de conectividad eléctrica con un carácter operativo provisional.
- La escasa entidad de los estudios de riesgo, en cuanto a considerar la implementación de los sistemas renovables, como una alternativa para garantizar el servicio eléctrico a los puntos vitales en condiciones extremas.

La vulnerabilidad funcional, está referida esencialmente a la posibilidad de dar continuidad a la generación de la energía eléctrica, su transportación y distribución, así como la capacidad de poder restablecerla en corto plazo, un fallo en estos elementos puede ocasionar también el colapso funcional. Esta vulnerabilidad se alimenta por fallos en los sistemas vitales como el de suministro de agua, electricidad y combustible e incluso por afectación severa de los viales de acceso de las instalaciones. Ejemplos negativos en este sentido se manifestaron por el impacto de los huracanes que afectaron el territorio durante el año 2008. Estas experiencias han demostrado que la capacidad operativa y de recursos debe garantizarse a escala local, para lo cual debe asegurarse una adecuada capacitación del personal. Durante la etapa de prevención el SIG, puede ser de utilidad como agente facilitador entre otras, en las siguientes funciones: El mapa temático con la representación espacial de las capas relativas a los asentamientos, las zonas de inundaciones, penetraciones del mar, el relieve, los ríos, arroyos y presas, así como otros elementos de interés en el territorio que se trate, facilita el proceso de microlocalización de las nuevas inversiones, donde además se tendrán en cuenta los criterios sobre las principales afectaciones, seguridad y protección, así como los parámetros de compatibilidad elaborados, durante la realización del presente estudio. El desarrollo eléctrico se encuentra estrechamente vinculado, con el desarrollo demográfico y socioeconómico de los territorios, por lo que es importante tener en cuenta estos resultados, en el desarrollo de los proyectos constructivos que garanticen una protección adecuada, frente al impacto de los factores destructivos de las amenazas de desastres (inundaciones costeras, lluvias intensas, y vientos de huracán entre otros) especialmente cuando se trata de una inversión que está ya construida o por causas imperativas tiene que ser construida en áreas de alto peligro.

La información espacial georreferenciada a la que nos referimos anteriormente, también resulta de utilidad, durante el cumplimiento de los requisitos establecidos durante el proceso de compatibilización de las inversiones, con los intereses de la Defensa Civil desde el punto de vista de la reducción de desastres. Otras funciones de su aplicación podemos localizarla, en la realización del proceso de mantenimiento de las instalaciones, teniendo en cuenta los intereses de la protección de la misma, de modo que durante su transcurso, se logre contribuir a la reducción del impacto de los factores destructivos de las amenazas de desastres, con la ejecución de obras que eviten inundaciones y mejoramiento del drenaje pluvial, fijación y protección de elementos exteriores de sistemas tecnológicos relacionados con la energía eléctrica, anclaje de grupos electrógenos, aseguramiento de depósitos de agua y de combustibles elevados, inversiones que incluyan reducir la vulnerabilidad física de elementos vitales de la instalación, reparación de puertas y ventanas, poda sistemática y tala de árboles que amenazan instalaciones de la infraestructura eléctrica, edificaciones, grupos electrógenos, depósitos de agua, de combustible, etc. Resulta de mucho interés el tema de la Alerta Temprana en relación con las amenazas de desastres, este no puede restringirse como un concepto independiente a los sistemas de vigilancia y fundamentalmente a los hidrometeorológicos. Los sistemas de vigilancia hidrometeorológica, epidemiológica, epizootiológica, de Sanidad Vegetal, sismológica, para la detección de incendios forestales y otros, constituyen elementos vitales de los sistemas de Alerta Temprana, pero no sólo la detección garantiza la efectividad del sistema; es necesario que se reciba la información por un órgano de dirección que evalúe esta; que llegue y se trasmite a los diferentes niveles, que incluya a los que deben conocer la información para adoptar las medidas de protección frente al peligro de que se trate y es aquí otra de las utilidades del Sistema de Información Geográfica, aplicado a la reducción de desastres, pues se concibe como un sistema vinculado al Sistema de Meteorología y otros, que posibilita disponer de información actualizada en tiempo real, sobre las amenazas y peligros de diferentes naturaleza e ir creando las condiciones con tiempo suficiente para enfrentarlos[7].

#### **Durante la etapa de los preparativos para la respuesta**

La Etapa referente a los "Preparativos para la Respuesta", transcurre en situación normal, tiene una connotación más técnica; durante la misma se realizan acciones concretas para reducir la vulnerabilidad física (en el campo de la

protección de las instalaciones y sistemas vitales). Las actividades y medidas más comunes incluidas en los preparativos corresponden a: la planificación para situaciones de desastres, la organización de la Dirección, el aseguramiento de la base de recursos necesarios para el cumplimiento de las medidas de reducción de desastres, organización del aviso y las comunicaciones, organización de los mecanismos de respuesta, incluyendo la protección del personal y los recursos económicos, los trabajos de salvamento y rehabilitación urgente del servicio eléctrico, preparación del personal, incluye la preparación de los Órganos de Dirección, otras actividades de preparación.

Considerando las experiencias acumuladas durante el enfrentamiento a estos fenómenos naturales, el SIG puede ser útil en la medida que podamos aprovechar su utilidad, con el objetivo desarrollar simulaciones que permitan ejercitar los cálculos de las principales pérdidas, determinar los aseguramientos requeridos durante el enfrentamiento, las fuerzas y recursos necesarios para el mantenimiento del servicio eléctrico a los puntos vitales de la sociedad y la economía en el territorio, las medidas de protección de los trabajadores y los recursos económicos, la vitalidad de la dirección y otras medidas de importancia que se consideren, dadas las características del territorio. Como se señaló anteriormente, las etapas estudiadas tienen un significado importante en el desarrollo del ciclo de reducción de desastres, estas se desarrollan durante todo el año y su planificación se prevé formando parte del plan de actividades técnico-económica de las entidades, su contenido se registra en el Plan de Reducción de Desastres y requiere de un constante proceso de puntualización y actualización, en correspondencia con el nivel de desarrollo que experimenta la infraestructura eléctrica del territorio. El cumplimiento adecuado de estas etapas, permite reducir las vulnerabilidades físicas y subjetivas y con ello la reducción de desastres.

### **Durante la etapa de respuesta**

La etapa de respuesta consta de cuatro fases; Informativa, Alerta, Alarma y Recuperativa, es la más conocida por todos y donde se cumplen las actividades principales: Aviso e información a todo el personal sobre la situación existente y esperada, ejercicio de la Dirección, cumplimiento de las medidas de protección de las personas y recursos económicos, Realización de los trabajos de primera urgencia de reparaciones y averías, traslado a lugares seguros de los recursos que lo requieran, asistencia médica y sanitaria, extinción de incendios y determinación preliminar de daños y pérdidas y evaluación de las necesidades. Es importante significar que la fase recuperativa se refiere a un momento que es la prolongación de la de respuesta, se conoce internacionalmente como de Rehabilitación, se desarrolla fundamentalmente bajo la dirección de los mismos órganos que dirigieron la respuesta y su duración es sólo de varios días, en dependencia de la llamada resiliencia de la sociedad en cuestión, es decir, de la capacidad de recuperarse con la mayor eficacia. Entre las medidas más generales que se cumplen durante esta fase se encuentran las siguientes: Medidas que permiten la rehabilitación del servicio eléctrico básico. Restablecer la situación del servicio eléctrico hasta niveles cercanos a la normalidad y en la base de datos del SIG, se encuentran las medidas que deben cumplirse en cada fase, sus plazos y aseguramientos; su ensayo sistemático por parte de los Órganos de Dirección, mediante la operación del sistema y los estudios que se realicen, permiten enriquecer el contenido y carácter de estas tareas, principalmente en la determinación de los aseguramientos adecuados que permitan su cumplimiento, así como la reducción de los plazos en su aplicación, revirtiéndose en ventajas económicas y una mayor fortaleza del sistema, para garantizar el servicio eléctrico a los puntos vitales en cualquier condición de la situación.

### **Durante la recuperación**

La etapa de recuperación es mucho más prolongada y tiene que ver con la reconstrucción de lo que fue destruido por el fenómeno. Incluye el restablecimiento hasta los parámetros normales, o sea, la construcción o reemplazo permanente de las estructuras físicas destruidas o gravemente dañadas, la restauración normal del servicio eléctrico y en ella se consideran las medidas para la reducción de las vulnerabilidades, incorporando medidas atenuantes. De igual forma que en la etapa anterior el SIG, recoge las medidas que deben cumplirse durante esta Etapa, sus plazos y el cálculo de los aseguramientos, basado en la valoración de los criterios sobre la apreciación de las posibles pérdidas; su ensayo sistemático por parte de los Órganos de Dirección, mediante la operación del sistema y los estudios que se realicen, permiten enriquecer el contenido y carácter de estas tareas, principalmente en la determinación de los aseguramientos adecuados que permitan su cumplimiento, así como la reducción de los plazos en su aplicación, revirtiéndose en ventajas económicas y una mayor fortaleza del sistema, para garantizar el restablecimiento normal del servicio eléctrico en los más breves plazos.

## **CONCLUSIONES**

1. El sistema eléctrico del Municipio Especial de la Isla de la Juventud se puede ver afectado sensiblemente e incluso en algunas zonas con su destrucción total, ante la ocurrencia de un fenómeno hidrometeorológico

- extremo, debido a debilidades estructurales y no estructurales relacionadas con el estado físico de las instalaciones de distribución eléctrica, la generación y las líneas de transportación.
2. El SIG facilita el estudio para incrementar la introducción de los sistemas de energía renovable, en función de garantizar la estabilidad del servicio eléctrico en situaciones extremas, motivadas por la ocurrencia de fenómenos de esta naturaleza, a la vez que posibilita la gestión de proyectos en este sentido.
  3. La introducción del trabajo permite, mantener un seguimiento sistemático en tiempo real de la situación meteorológica, asociada al sistema de alerta temprana del Instituto de Meteorología, en función de crear las condiciones más favorables en cuanto a la reducción de los riesgos, para el enfrentamiento a los fenómenos hidrometeorológicos extremos.
  4. Las herramientas del SIG pueden emplearse en interés de la preparación de los Órganos de Dirección, durante las actividades previstas en el ciclo de reducción de desastres, así como durante los procesos de actualización de los planes de reducción de desastres a todos los niveles de la UNE.
  5. Considerando la estructura y composición de la base de datos del SIG, se puede definir como un sistema versátil, capaz de ser aplicado en cualquier región del país, así como para la realización de los estudios integrales de riesgos de desastres.

## REFERENCIA

- [1]. Dominguez, J.; Amador, J., "Integrating renewable energies into local level, Influence of the socio-economical and tech parametres in the spatial distribution of decentralised electricity production". En: 3rd AGILE Conference on Geographif Information Science. Helsinki/Espoo, Finland, May 25 -27, 2000, p. 60-61.
- [2]. Alvarez, A., "Sobre la evaluación de riesgo de desastres naturales y Vulnerabilidad de la comunidad utilizando sistemas de Información Geográfica". Puerto Rico: Universidad de Puerto Rico. Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil. 2005, vol.5, n.2, p. 101, ISSN 1936-1483, Disponible en: <http://academic.uprm.edu/laccei/index.php/RIDNAIC/article/viewFile/95/94>.
- [3]. Naciones Unidas, "Resolución aprobada por la asamblea general sobre la base del informe de la Segunda Comisión (A/59/483/Add.3): 59/233. Desastres naturales y vulnerabilidad". A/RES/59/233, 22 de febrero 2005, 4p., Disponible en: <http://daccess-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N04/490/27/PDF/N0449027.pdf?OpenElement>.
- [4]. Estrada, A.; E.F. Alvarado, "Análisis de desastres naturales a través de Sistemas de Información Geográfica". Tesis Doctoral, Guatemala: Facultad de Ingeniería de Sistemas, Universidad Francisco Marroquin, 1997, p. 91.
- [5]. Arencibia, M.E., "El uso de los sistemas de información geográfica -SIG- en la planificación estratégica de los recursos energéticos". Revista de Universidad Bolivariana, 2008. vol.7, n.20, p. 227-238.
- [6]. Barredo, J.I., "Sistemas de Información Geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio". Madrid: Ra-Ma Editorial, 1996, p. 261, ISBN: 84-7897-230-7.
- [7]. Ninyerola, M., et al., "A methodological approach of climatological modelling of air temperature and precipitation through GIS techniques". International Journal of Climatology, 2000, vol.20, n.14, p. 1823-1841.

## AUTORES

### María Rodríguez Gámez

Doctora en Ciencias Técnicas, Investigador Auxiliar. Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergética, CIPEL. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba.  
e-mail: [maria@electrica.cujae.edu.cu](mailto:maria@electrica.cujae.edu.cu)

### Lic. Antonio Vázquez Pérez

Colaborador. Centro de Investigaciones y Pruebas Electroenergética, CIPEL. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba.

### MSc. Andrés R. Espino Ares

Departamento de generación distribuida. Empresa Eléctrica Santiago de Cuba, Cuba.  
e-mail: [espino@elecstg.une.cu](mailto:espino@elecstg.une.cu)

### Ing. Jorge Fernández .A

Especialista Defensa Civil de la UNE. Unión Eléctrica, Avenida Salvador allende No. 666, Centro Habana, La Habana, Cuba.  
e-mail: [jorgeh@oc.une.cu](mailto:jorgeh@oc.une.cu)