

# Propuesta de premio Academia de Ciencias de Cuba 2017 (Ciencias Técnicas)



## Título: Los análisis de confiabilidad y riesgo como apoyo al desarrollo de la energía eólica en Cuba

Entidad ejecutora principal: Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas

### Autores principales:

Dr. Antonio Torres Valle<sup>1</sup>, MS. Daniel Rodríguez López<sup>1</sup>, MS Erich Martínez Martín<sup>1</sup>, Ing. Laudis Pupo Alegría<sup>1</sup>, Ing. Maylin Ceballos de la Torre<sup>1</sup>

### Otros autores:

Dr. Ulises Jauregui Haza<sup>1</sup>, MS. Maritza Lau González<sup>1</sup>, Dra Bárbara Garea Moreda<sup>1</sup>, Dr. Miguel Jorge Llivina Lavigne<sup>2</sup>, Dr. Orestes Valdés Valdés<sup>3</sup>, MS. Diego Ulloa López<sup>1</sup>

Filiación: <sup>1</sup>InSTEC, <sup>2</sup>Oficina UNESCO, <sup>3</sup>Dirección de Ciencia y Técnica, MINED

2017

## Contenido

Resumen del Trabajo .....	3
Aporte Científico personal .....	4
Autor para la correspondencia .....	7
Comunicación corta que describe el resultado .....	8
Descripción científico-técnica detallada del resultado .....	21
Acreditación de la introducción del resultado y su impacto .....	46
Patentes otorgadas, certificados de autor, los registros que corresponden a nuevos productos y las copias de las publicaciones científicas .....	69
Dictamen de Órgano Científico .....	88
Avales de instituciones participantes.....	91
Valoración del resultado por parte del Consejo Técnico Asesor .....	94

## Resumen del Trabajo

El objetivo esencial del estudio fue “Aplicar los análisis de confiabilidad y riesgo a la selección tecnológica y optimización de la explotación de los parques eólicos de Cuba”. La raíz de esta propuesta está en un proyecto nacional, liderado por el INSTEC, y perteneciente al programa nacional “Desarrollo sostenible de FRE<sup>1</sup>”. La tensa dependencia energética respecto a combustibles fósiles ha impulsado un programa estratégico de empleo de las fuentes renovables de energía el que, colateralmente, representa un modesto aporte a la disminución de la emisión de GEI<sup>2</sup>. En este sentido, para el 2030 se instalarán 633 MWe en parques eólicos en la zona norte central y nororiental del país. El trabajo muestra el desarrollo del análisis de confiabilidad a los tres más importantes parques eólicos del país, el que determina debilidades tecnológicas y de explotación en dichas instalaciones. Ello establece pautas respecto a selección de equipamiento para el futuro desarrollo eólico e indica mejoras a las estrategias de emplazamiento, operación y mantenimiento de los parques. Paralelamente, el estudio impulsó la creación de un sistema simulador de riesgos del cambio climático destinado a la capacitación en estos temas. El sistema informático vincula peligros climáticos, vulnerabilidades, acciones de adaptación y estrategias de mitigación enlazados con diferentes niveles de calentamiento global. El sistema ha sido empleado en la capacitación en diferentes niveles de enseñanza y en la demostración del impacto de las fuentes renovables de energía como estrategia de mitigación al cambio climático. Tanto los resultados derivados de los análisis de confiabilidad, como el empleo del simulador, cuentan con certificados de introducción, avales de organismos y de grupos de expertos en el área, publicaciones en revistas científico técnicas y en formatos digitales con repercusión en el aprendizaje a nivel nacional, presentaciones en eventos y certificados de derecho de autor. Además, el resultado cuenta con el premio anual 2016 de la Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada (AENTA), premios a diferentes niveles en Fórum Científico Técnico (FCT) y reconocimientos a nivel de institución.

---

<sup>1</sup> FRE - Fuentes Renovables de Energía

<sup>2</sup> GEI – Gases de Efecto Invernadero

**Aporte Científico personal**  
**(Premio ACC Ciencias Técnicas)**

**Título del Resultado Destacado.**

**Los análisis de confiabilidad y riesgo como apoyo al desarrollo de la energía eólica en Cuba**

**Entidad ejecutora principal:** Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, Ave Salvador Allende y Luaces, Quinta de los Molinos, La Habana

**Autores principales:** Dr. Antonio Torres Valle<sup>1</sup>, MS. Daniel Rodríguez López<sup>1</sup>, MS Erich Martínez Martín<sup>1</sup>, Ing. Laudis Pupo Alegría<sup>1</sup>, Ing. Maylin Ceballos de la Torre<sup>1</sup>

**Otros autores:** Dr. Ulises Jauregui Haza<sup>1</sup>, MS. Maritza Lau González<sup>1</sup>, Dra Bárbara Garea Moreda<sup>1</sup>, Dr. Miguel Jorge Llivina Lavigne<sup>2</sup>, Dr. Orestes Valdés Valdés<sup>3</sup>, MS. Diego Ulloa López<sup>1</sup>

**Colaboradores.** 5

**Filiación:** <sup>1</sup>InSTEC, <sup>2</sup>Oficina UNESCO, <sup>3</sup>Dirección de Ciencia y Técnica, MINED

**Participación cuantitativa<sup>3</sup>**

Nombre	Responsabilidad	% de participación
Dr. Antonio Torres Valle	Jefe de proyecto	35
MS. Daniel Rodríguez López	participante	10
MS. Erich Martínez Martín	participante	10
Ing. Maylin Ceballos de la Torre	participante	7
Ing. Laudis Pupo Alegría	participante	7
Dr. Ulises Jauregui Haza	participante	6
Dra. Bárbara Garea Moreda	participante	5
MS. Maritza Lau González	participante	5
Dr. Miguel Jorge Llivina Lavigne	participante	5
Dr. Orestes Valdés Valdés	participante	5
MS. Diego Ulloa López	participante	5

**Participación cualitativa**

Nombre	Aporte
Dr. Antonio Torres Valle	Es el jefe de proyecto nacional de investigación "Análisis de confiabilidad tecnológica de parques eólicos de Cuba". Realizó la evaluación y síntesis de todos los resultados. Autor y programador de los códigos informáticos empleados en la investigación

<sup>3</sup> Los avales de las entidades de los autores sobre su participación en la propuesta de premio aparecen en el listado de avales anexo al documento.



Nombre	Aporte
	(MOSEG Win Ver. 5.0 y SIMENI-CC Ver. 1.5). Produjo los modelos sistémicos basados en árboles de fallos empleados para cada parque. Trabajó en la identificación de contribuyentes y en el ajuste estadístico de las bases de datos obtenidas para cada parque eólico. Dirigió las tesis de pregrado y postgrado relacionadas con el proyecto. Es coautor de todas las publicaciones realizadas y participaciones en eventos. Realizó las coordinaciones con INEL para informar los resultados, así como con la comisión de expertos que agrupa los proyectos en el programa nacional “Desarrollo sostenible de fuentes renovables”.
MS. Daniel Rodríguez López	Es coautor de varios artículos científicos y de presentaciones en eventos y fórum de ciencia y técnica. Ha trabajado esencialmente en los temas del análisis de confiabilidad de parques eólicos de Cuba.
MS. Erich Martínez Martín	Es coautor de varios artículos científicos y de presentaciones en eventos. Ha trabajado esencialmente en los temas del análisis de confiabilidad de parques eólicos de Cuba y en el ajuste del simulador de riesgos asociados al cambio climático.
Ing. Maylin Ceballos de la Torre	Es autora de la tesis de postgrado que acopió los datos del sistema SCADA en el emplazamiento Los Canarreos. Participó en el procesamiento estadístico de la información obtenida en dicho parque y en la obtención de los resultados del análisis de confiabilidad del mismo.
Ing. Laudis Pupo Alegría	Es autor de la tesis de grado que acopió los datos del sistema SCADA en el emplazamiento Gibara 2. Participó en el procesamiento estadístico de la información obtenida en dicho parque y en la obtención de los resultados del análisis de confiabilidad correspondiente. Su esfuerzo también ayudó en la obtención de los datos de Gibara 1.
Dr. Ulises Jauregui Haza	Es coautor del software SIMENI-CC y de artículos y presentaciones en eventos. Realizó importantes sugerencias al diseño del sistema y a su validación como método de enseñanza.
Dra. Bárbara Garea Moreda	Es coautora del software SIMENI-CC y de artículos y presentaciones en eventos. Facilitó importante documentación para el desarrollo y ajuste del simulador de riesgos asociados al cambio climático.
MS. Maritza Lau González	Es coautora del software SIMENI-CC y de artículos y presentaciones en eventos. Realizó importantes sugerencias al diseño del sistema.
Dr. Miguel Jorge Llivina Lavigne	Es coautor de artículos y de presentaciones en eventos. Su participación fue esencial para la difusión

Nombre	Aporte
	del simulador de riesgos asociados al cambio climático.
Dr. Orestes Valdés Valdés	Es coautor de artículos y de presentaciones en eventos. Su coordinación fue esencial para la difusión del simulador de riesgos asociados al cambio climático.
MS. Diego Ulloa López	Es coautor de presentaciones en eventos. Sus conocimientos y sugerencias han potenciado al simulador de riesgos asociados al cambio climático, fundamentalmente con información a nivel de localidades en Cuba.

### **Autor para la correspondencia**

**Nombre y apellidos:** Antonio Torres Valle

**Dirección postal:**

Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, Ave Salvador Allende y  
Luaces, Quinta de los Molinos, La Habana

**Correo electrónico:**

[atorres@instec.cu](mailto:atorres@instec.cu)

## **Comunicación corta que describe el resultado**

### **Los análisis de confiabilidad y riesgo como apoyo al desarrollo de la energía eólica en Cuba**

#### **Autores principales:**

Dr. Antonio Torres Valle, MS. Daniel Rodríguez López, MS Erich Martínez Martín,  
Ing. Laudis Pupo Alegría, Ing. Maylin Ceballos de la Torre

#### **Otros autores:**

Dr. Ulises Jauregui Haza, MS. Maritza Lau González, Dra Bárbara Garea Moreda,  
Dr. Miguel Jorge Llivina Lavigne, Dr. Orestes Valdés Valdés, MS. Diego Ulloa  
López

#### **Resumen:**

El objetivo esencial del estudio fue “Aplicar los análisis de confiabilidad y riesgo a la selección tecnológica y optimización de la explotación de los parques eólicos de Cuba”. La raíz de esta propuesta está en un proyecto nacional, liderado por el INSTEC, y perteneciente al programa nacional “Desarrollo sostenible de FRE<sup>4</sup>”. La tensa dependencia energética respecto a combustibles fósiles ha impulsado un programa estratégico de empleo de las fuentes renovables de energía el que, colateralmente, representa un modesto aporte a la disminución de la emisión de GEI<sup>5</sup>. En este sentido, para el 2030 se instalarán 633 MWe en parques eólicos en la zona norte central y nororiental del país. El trabajo muestra el desarrollo del análisis de confiabilidad a los tres más importantes parques eólicos del país, el que determina debilidades tecnológicas y de explotación en dichas instalaciones. Ello establece pautas respecto a selección de equipamiento para el futuro desarrollo eólico e indica mejoras a las estrategias de emplazamiento, operación y mantenimiento de los parques. Paralelamente, el estudio impulsó la creación de un sistema simulador de riesgos del cambio climático destinado a la capacitación en estos temas. El sistema informático vincula peligros climáticos, vulnerabilidades, acciones de adaptación y estrategias de mitigación enlazados con diferentes niveles de calentamiento global. El sistema ha sido empleado en la capacitación en diferentes niveles de enseñanza y en la demostración del impacto de las fuentes renovables de energía como estrategia de mitigación al cambio climático. Tanto los resultados derivados de los análisis de confiabilidad, como el empleo del simulador, cuentan con certificados de introducción, avales de organismos y de grupos de expertos en el área, publicaciones en revistas científico técnicas y en formatos digitales con repercusión en el aprendizaje nivel nacional, presentaciones en eventos y certificados de derecho de autor. Además, el resultado cuenta con el premio anual 2016 de la Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada (AENTA), premios a diferentes niveles en Fórum Científico Técnico (FCT) y reconocimientos a nivel de institución.

---

<sup>4</sup> FRE - Fuentes Renovables de Energía

<sup>5</sup> GEI – Gases de Efecto Invernadero

## INTRODUCCIÓN

Cuba se mantuvo durante años (desde el 2010 en que se instaló el parque Gibara 2 hasta la fecha) con una capacidad total de generación eólica reducida, de aproximadamente 11 MWe. Los parques instalados hasta ese momento fueron resultado de donaciones recibidas y esfuerzos limitados que realizó el país para este tipo de generación.

La tensa situación energética del país, generada por la aguda dependencia de combustibles fósiles, se ha reflejado en los recientes pasos estratégicos dados para garantizar el futuro desarrollo del sector energético. La decisión de diversificar la matriz energética del país, a través del empleo de fuentes renovables de energía, unido a la disposición de limitar la emisión de gases de efecto invernadero, procedentes del quemado de combustibles fósiles, previó una estrategia de incorporación paulatina de estas fuentes al sistema electroenergético nacional (SEN)<sup>1</sup>.

La propuesta de investigación para premio ACC tiene bases importantes en el programa nacional<sup>1</sup> de “Desarrollo sostenible de las energías renovables”, que incluyó un proyecto liderado por el InSTEC “Análisis de confiabilidad de parques eólicos de Cuba”. Constituye objetivo esencial de esta propuesta “Aplicar los análisis de confiabilidad y riesgo a la selección tecnológica y optimización de la explotación de los parques eólicos de Cuba”.

La investigación se diseñó de manera que se fuera avanzando paralelamente en el logro de los objetivos, complementando los análisis de confiabilidad con los de riesgo. Los resultados se fueron mostrando en etapas para cada parque eólico, a través de reuniones periódicas con un comité de expertos en temas de energías renovables, así como en seminarios y talleres de profesores y directivos de la red de escuelas asociadas a la UNESCO, usuarios potenciales del sistema simulador para la enseñanza de los riesgos asociados al cambio climático.

## MÉTODOS

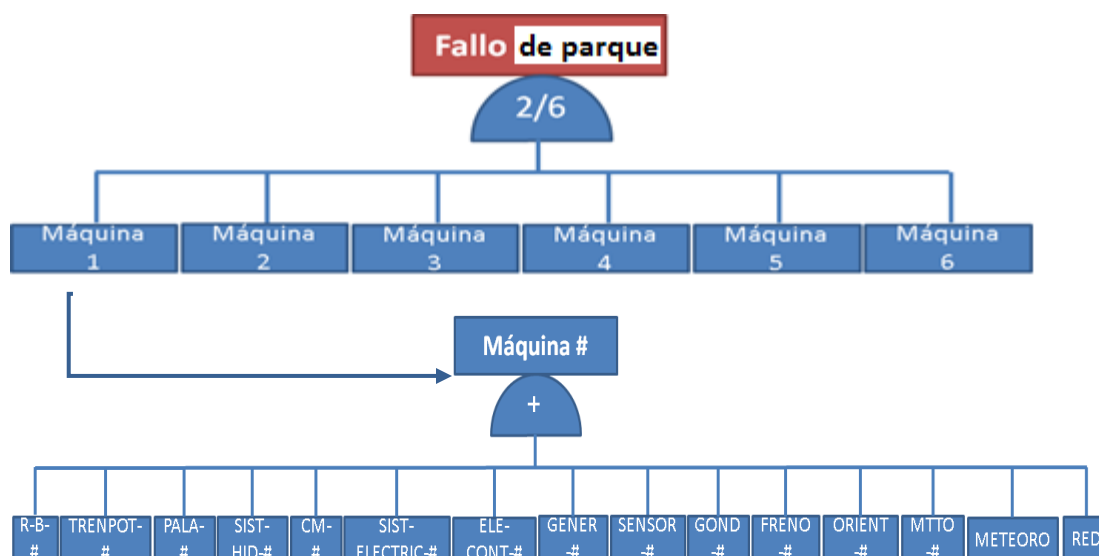
En esencia fueron empleados el método de árbol de fallos para modelar a los parques eólicos de Cuba, además del método pasivo para acopiar información de diagnóstico desde los sistemas SCADA de cada parque y conformar bases estadísticas de fallos<sup>2,11,12</sup>. Respecto al análisis de confiabilidad y riesgo resalta el hecho de haber logrado diseñar una metodología de estudio que homogeniza los criterios y datos de todas las partes componentes de los parques, independientemente de su tecnología, lo que permite encauzar un estudio comparativo ulterior. Respecto al sistema de simulación de riesgos climáticos fueron empleadas las experiencias del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático y de otras entidades que emplean los métodos matriciales de evaluación

de riesgo<sup>24</sup>. Todas las particularidades de los métodos pueden apreciarse en el documento detallado que soporta a esta propuesta.

## RESULTADOS

El árbol de fallos<sup>9,18</sup> aplicable a cualquiera de los parques es el mostrado en la figura 1.

El subárbol de fallos Máquina #, representado en la figura, se repite para cada máquina sustituyendo el carácter # por el correspondiente número del aerogenerador modelado. De manera similar, se completan los componentes-modos de fallo de cada máquina.



**Figura 1 - Árbol de fallos para parque aerogenerador (Gibara 1, Gibara 2, Los Canarreos).**

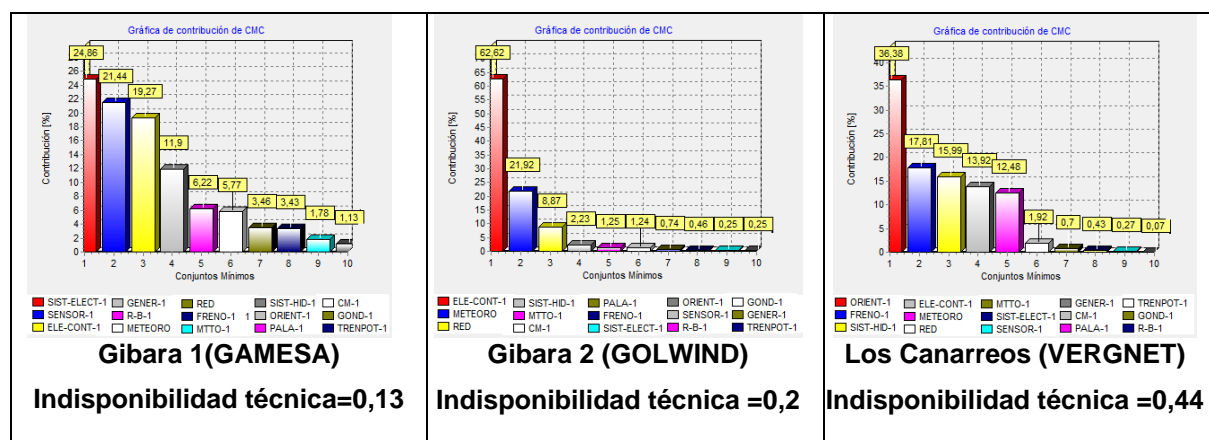
La base de datos de confiabilidad utilizada en cada parque<sup>18</sup> se obtuvo a través del procesamiento de miles de registros acopiados por los sistemas SCADA de cada emplazamiento<sup>13-17</sup>. Aplicando los modelos de confiabilidad adecuados a cada caso, y utilizando las tasas de fallos e indisponibilidades obtenidas, se determinaron las probabilidades de fallo asociadas a cada componente.

Posteriormente, aplicando el álgebra de Boole a través del código MOSEG<sup>11,12</sup>, se obtuvieron las combinaciones de fallos más importantes, las que se muestran en forma de histogramas comparativos de conjuntos mínimos de las tres tecnologías empleadas en Cuba. La indisponibilidad asociada a cada parque muestra que, para la meta de fallo establecida (2 de 6 aerogeneradores), los índices obtenidos (excluyendo las contribuciones de los eventos meteorológicos y la red)

corresponden a 25 % para Gibara 1, 33 % para Gibara 2 y 100 % para Los Canarreos. El valor absoluto obtenido para Gibara 1 y 2 es similar y su diferencia se asocia más a los períodos de observación tomados como muestra. Por ello, es más importante remitirse a los análisis relativos en cada parque.

Con el objetivo de facilitar las aplicaciones de optimización al diseño o explotación de cada parque, se ha ejecutado la modelación de una sola de las máquinas. Lógicamente, los resultados para las restantes máquinas serán simétricos al mostrado. La base fundamental de esta aplicación fue la tabla de conjuntos mínimos de corte para cada máquina. Para ilustrar el ordenamiento de los contribuyentes por cada tecnología se presenta la tabla comparativa 1.

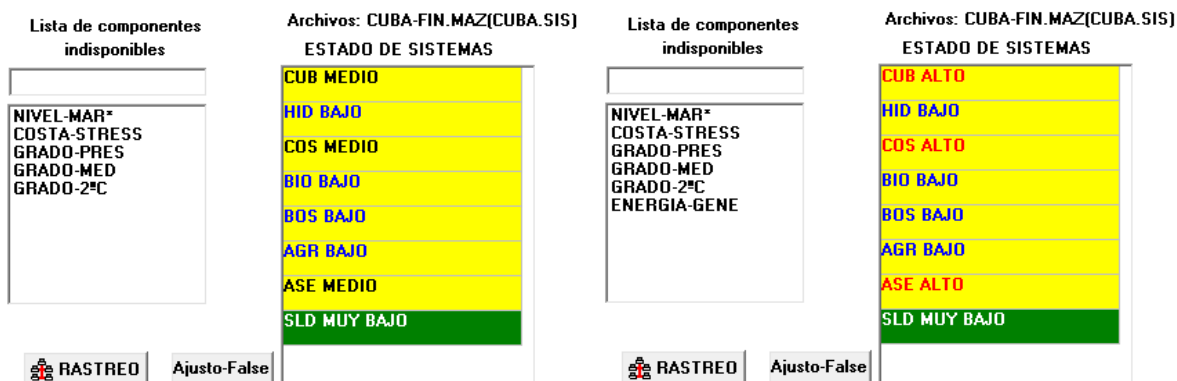
**Tabla 1 - Importancia por componente-modo de fallo de cada máquina**



Los resultados de indisponibilidad técnica presentados en la base de cada histograma fueron obtenidos obviando la contribución de la red y de los eventos meteorológicos, con el objeto de hacerlos comparables a los índices de disponibilidad técnica publicados por bibliografías actualizadas en el tema<sup>6</sup>.

Un resultado colateral del estudio, que permite implementar prácticamente la capacitación es un simulador de riesgo asociado al cambio climático. El mismo combina adecuadamente los peligros climáticos, las vulnerabilidades y las acciones de adaptación y mitigación.

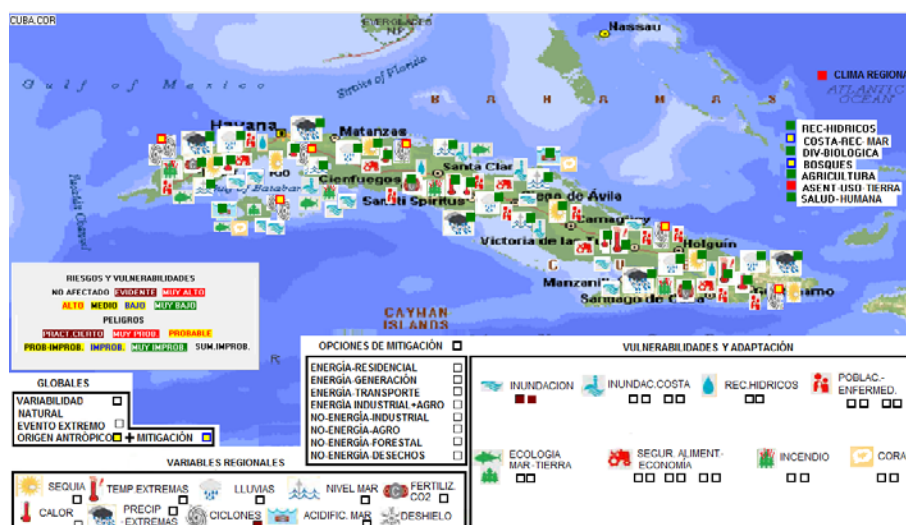
Un ejemplo (Figura 2), aplicando SIMENI-CC a escenarios regionales de Cuba, permite diferenciar situaciones antes y después de incorporar errores en la gestión energética del país.



**Figura 2 – Comparación de escenarios para Cuba al realizar (izquierda) y obviar (derecha) la correcta gestión energética**

En este ejemplo, para demostrar las capacidades de modelación y enseñanza del sistema, se ha sobredimensionado la participación de Cuba por inadecuada gestión energética sobre el efecto antrópico del calentamiento. Obsérvese como se identifican analíticamente los impactos más importantes para cada corrida.

Los resultados también pueden visualizarse en forma de mapas con representación de las variables relacionadas con el cambio climático.



**Figura 3 – Escenario para caso regional de Cuba suponiendo peligro climático Huracán combinado con alta vulnerabilidad y adaptación fallida a inundaciones.**

En la figura 3 se aprecia que, de acuerdo a los efectos probables para la combinación de variables previstas, los mayores impactos ocurrirán sobre Asentamientos Humanos y Uso de la Tierra. Los códigos de colores permiten



apreciar las magnitudes de los peligros, vulnerabilidades, errores de adaptación y de mitigación, así como las zonas más vulnerables para la situación postulada.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Una variante del análisis de disponibilidad de cada parque se ha realizado obviando las contribuciones de la red y los eventos meteorológicos, para centrar la atención en los componentes de cada máquina. Para este caso, los valores absolutos de disponibilidad de cada parque muestran que, teóricamente la tecnología GOLDWIN con 25 % de indisponibilidad sería similar que GAMESA (33 %) y ambas superiores a VERGNET (100 %). La pequeña diferencia entre Gibara 1 y 2 se debe esencialmente a los períodos de observación tomados. Por ello, resulta más práctico referirse a los valores relativos para los componentes de los parques, lo que se hace en los próximos párrafos.

Desde el punto de vista general, en todos los parques, los eventos meteorológicos han sido contribuyentes importantes a la indisponibilidad general de la instalación. A continuación le siguen los fallos de la red, o sea, eventos inducidos por fallos del Sistema Electroenergético Nacional. Debe tomarse con reservas el hecho de que, este contribuyente no aparezca en ese orden para el caso de Los Canarreos, ya que ello puede estar vinculado al período de observación tomado como referencia. Después de estos contribuyentes, en los histogramas puede apreciarse que, en todos los parques aparecen combinaciones dobles de los componentes más importantes que, de manera individual caracterizan a cada tecnología.

La tabla 1 muestra una comparación de resultados absolutos y relativos entre las tres tecnologías evaluadas a nivel de máquinas independientes. Desde el punto de vista absoluto, los valores de indisponibilidad presentados en la base de cada histograma son, teóricamente comparables al complemento del coeficiente de disponibilidad técnica formulado por Moreno<sup>6</sup>. Los resultados obtenidos en el estudio para una máquina GAMESA (indisponibilidad  $1,3E-1$ ) se pueden considerar similares a los declarados (Moreno<sup>6</sup>) (indisponibilidad técnica  $3E-2$ ). Las diferencias de estos valores pueden deberse al acentuado nivel de detalle logrado en este estudio respecto a los cálculos mostrados por Moreno. Para el resto de los casos (GOLDWIND indisp.  $2E-1$  y VERGNET indisp.  $4,4E-1$ ) los valores de indisponibilidad superan a los postulados por Moreno.

Por otra parte, respecto a resultados relativos, la tabla 1 presenta tres histogramas de contribución de los fallos, para los componentes-modos de fallo por máquina de cada una de las tecnologías evaluadas. De esta forma, el estudio permite determinar debilidades de cada tecnología. El acentuado desbalance de la contribución de la electrónica de control en el caso de la tecnología GOLDWIND está motivado por el efecto de las señales espurias sobre la disponibilidad de los aerogeneradores. En este sentido, por sugerencia de los ejecutores del proyecto, la Empresa de Ingeniería y Proyectos de la Electricidad (INEL) ha solicitado estudios particulares de la electrónica de control al Instituto de Cibernética, Matemática y Física (ICIMAF). En la tecnología GAMESA el sistema eléctrico

resulta el principal contribuyente. Es necesario destacar que, en este caso, una combinación de dispositivos eléctricos y de control (ver los 4 primeros contribuyentes) condensa el principal aporte de la indisponibilidad de las máquinas. Llama la atención que la electrónica de control, aunque con menos importancia en GAMESA respecto a GOLWIND, resulta un contribuyente a tener en cuenta en estos dos casos. En el caso de Los Canarreos (tecnología VERGNET) la importancia de los componentes mecánicos vuelve a tomar trascendencia, tal como lo reporta la bibliografía internacional. En esta tecnología el componente más importante es el sistema de orientación, al que siguen el sistema de frenos y el sistema hidráulico. La utilización de técnicas de predictivo, cuando la característica de los contribuyentes lo permita, resultará esencial en los mantenimientos futuros de este tipo de energía renovable.

Desde el punto de vista individual por máquinas, la no coincidencia de factores externos como factores meteorológicos y fallos de la red entre los tres casos, debe tomarse con cautela, pues se debe a los períodos de observación considerados, y pudiera afectar, por igual, a cualquiera de los parques. Sin embargo, a este nivel de resolución, debe suponerse que en la distribución de componentes puede pesar la asimetría de la contribución del fallo de los mismos según cada tecnología.

El fortalecimiento del SEN en las zonas de emplazamiento deberá ser un paso fundamental en los futuros desarrollos de este tipo de fuente. La participación de las inestabilidades de la red (por causas antropogénicas) en la disponibilidad de los parques han sido muy importantes. La contribución de los eventos meteorológicos a la indisponibilidad de los parques, así como a su más lenta recuperación tras los efectos de los fenómenos, es otra enseñanza que deberá sacarse de los análisis. Será esencial, para futuros emplazamientos tener en cuenta estudios detallados que prevean todas las variantes y combinaciones de eventos externos que correspondan a cada caso. La única de las tecnologías que ha previsto el enfrentamiento a fenómenos meteorológicos extremos mediante su abatimiento, es la del parque de Isla de la Juventud. En las otras dos analizadas, se ha confiado esta misión a la resistencia de las estructuras y a medidas propias de cada diseño.

La ilustración de la Figura 3, obtenida a partir del código SIMENI-CC, respalda científicamente y con un ejemplo práctico las decisiones respecto a la incorporación de fuentes renovables para disminuir el calentamiento global, vinculado a la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero. En este ejemplo, para demostrar las capacidades de modelación y enseñanza del sistema, se ha sobredimensionado la participación de Cuba por inadecuada gestión energética sobre el efecto antrópico del calentamiento. Las figuras 2 y 3 muestran potencialidades gráficas del sistema, lo que resulta un recurso motivador para la enseñanza de la temática. Ello constituye una ayuda al profesor para desarrollar el enfoque del aprendizaje basado en problemas.

La investigación ha tenido buenos resultados, reflejados en el cumplimiento de todos los objetivos planificados, la realización de 5 presentaciones en fórum científico técnico con obtención de categoría de relevante en varios de ellos, la elaboración de 3 artículos científicos publicados en revistas nacionales, la programación de un software para simulación de riesgos asociados al cambio climático, el desarrollo de dos tesis de pregrado y una de maestría y la entrega de recomendaciones técnicas válidas para la optimización de la explotación de los parques analizados, así como para la selección de equipamiento base para el desarrollo eólico futuro del país. El proyecto ha recibido avales de INEL como cliente y del grupo de expertos del programa de FRE, así como tres avales de introducción de resultados. También ha recibido avales en el área de capacitación.

## CONCLUSIONES

Aunque a todos los aportes realizados puede atribuirse un impacto científico técnico, se ha sugerido una subdivisión en aras de particularizar las áreas en las que se estima pudiera tener influencia el estudio.

### Aporte científico-técnico:

- La estructura de análisis sugerida en el documento ha sido avalada como un marco metodológico adecuado para extrapolar los estudios a futuros parques eólicos<sup>18</sup>. Esta posición aparece avalada por el **Acta<sup>41</sup> del grupo de expertos del programa “Desarrollo de FRE”** y el **Acta<sup>42</sup> del INEL de Reunión de conclusión del proyecto**, anexas a este documento. Un estudio de confiabilidad de este tipo no tiene precedentes dados los niveles de detalle respecto a modelos y datos de confiabilidad revelados para los parques eólicos<sup>18</sup>. Ello también queda respaldado por los resultados comparativos inter-tecnologías respecto a confiabilidad tecnológica. Desde el punto de vista técnico, la introducción del resultado aparece respaldada por los correspondientes ***certificados de introducción en cada parque***. El estudio de confiabilidad fue desarrollado con herramienta informática propia (MOSEG Ver. 5.0) que cuenta con ***certificado de derecho de autor***. El material preparado constituye una contribución en el marco técnico a la toma de decisiones con respecto al futuro desarrollo eólico del país. Sus hallazgos sobre particularidades tecnológicas pueden servir de pauta, entre otras aplicaciones, para la selección de equipamiento. Las más recientes decisiones técnicas sobre selección de tecnologías para instalar nuevos parques eólicos en Cuba resultan consistentes con los resultados de la investigación. Adicionalmente, se realizan sugerencias sobre estrategias de explotación de los parques y particularidades de los emplazamientos, vinculadas con características del sistema electroenergético nacional en dichas zonas y los eventos meteorológicos extremos.
- Nueva metodología integradora con enfoque multifactorial para simular los riesgos asociados a cambio climático<sup>24,25</sup>. Su sistematización se logra a través del software SIMENI-CC Ver 1.5, el que incorpora los múltiples factores relacionados con el cambio climático: peligros climáticos, vulnerabilidades,

acciones de adaptación y mitigación, asociados con diferentes grados de calentamiento global. El software se suministra con bases de datos de partida para escenarios globales y regionales, sintetizadas desde una amplia información contenida en las bibliografías de referencia<sup>8,26-28</sup>. Sus resultados pueden ser valorados en forma de matrices analíticas o mapas animados con colores, que representan niveles de riesgo por zonas o por tipos de impactos. Puede ser empleado, de acuerdo al nivel educacional en forma de juego didáctico (idóneo para varios de los tipos de ejercicios creados durante los talleres docente-metodológicos auspiciados por la UNESCO<sup>29-31</sup>) o para evaluar situaciones complejas desde el punto de vista ambiental<sup>32</sup>. El sistema SIMENI-CC Ver 1.5 ha obtenido **certificado de derecho de autor y certificados de introducción de la UNESCO y el MINED**.

- Los resultados de la investigación han sido publicados en **varios artículos científicos del grupo II y libros electrónicos**, los que se detallan en este documento. Debe aclararse que, por razones de protección de datos técnicos de las tecnologías objeto de estudio, potenciales suministradores a su vez de máquinas para el futuro desarrollo eólico de Cuba, no ha podido ser publicado un artículo abarcador que incluya simultáneamente, los resultados mostrados en este estudio.
- Se anexa el **Premio Anual 2016 de la AENTA** por el resultado de la investigación, donde se reconoce el papel del INSTEC y de los otros organismos participantes en esta investigación.

### **Aporte Social:**

- Desde el punto de vista puramente social, resultará estratégico para el futuro del país el cambio a una matriz energética con mayor componente de tipo renovable. Los resultados del estudio respaldan los niveles de confiabilidad que pueden esperarse de dichas tecnologías, lo que incidirá en la estabilidad del servicio sin dependencias foráneas de combustibles fósiles. Ello es reflejo de la responsabilidad social con que se despliega esta medida de mitigación, aunque su impacto mundial sobre la fracción de GEI emitidos sea modesta. Este aspecto aparece también avalado por los respectivos **certificados de introducción**. La significación del estudio en cuanto a la reducción modesta al aporte de GEI aparece demostrada, genérica y cualitativamente, por los resultados de la aplicación del código SIMENI-CC Ver 1.5, programado en el marco de la investigación. Todos los resultados han sido puestos a disposición de las autoridades competentes a través de informes técnicos entregados en el marco del Programa de Desarrollo Sostenible de FRE<sup>1,18</sup>.
- La posibilidad de empleo en la capacitación refuerza también el impacto social del resultado. La versatilidad del sistema SIMENI-CC ha permitido su empleo generalizado para diferentes niveles de enseñanza. Ello incluyó la difusión del mismo a través de un **CD preparado por la Oficina Regional de la UNESCO<sup>33</sup>** en la Habana para la red de escuelas asociadas a la UNESCO primarias, secundarias y preuniversitarias del país, así como su empleo en la educación ambiental dentro del Palacio de Pioneros José Martí. En el nivel universitario el sistema ha sido empleado en el pregrado de la carrera de

meteorología y en el postgrado de la maestría de Ciencias de la Gestión Ambiental<sup>32</sup>. Los **certificados de introducción en el área de capacitación** se presentan en la propuesta, así como **avales de la Oficina de la UNESCO, del MINED y de expertos en esta área de la energía renovable**.

- Los resultados de la investigación también se han desarrollado a través de **tesis de grado y postgrado**, cuyas portadas se anexan como parte del documento.

### **Aporte Económico:**

- Un estudio de este tipo requiere herramientas informáticas solo disponibles a un elevado costo. Por ejemplo, un software de análisis de confiabilidad en el estado del arte, de los empleados en APS de centrales nucleares (RISKSPECTRUM) tiene un costo de 50000 USD/pax en el mercado mundial<sup>22</sup>. El software MOSEG empleado en el estudio es de manufactura nacional<sup>11</sup>, se emplea en la docencia y en servicios científico técnicos y ha obtenido **certificado de derecho de autor** en Cuba. Otro aspecto de carácter económico se refiere a que los estudios de confiabilidad en el mundo son caros. Solamente por salario, cada especialista en estos temas se cotiza entre 2000 y 4000 USD/mes, de acuerdo a su calificación<sup>22</sup>. El estudio realizado para los parques eólicos de Cuba ha sido cotizado, según la ficha de costo del proyecto en 68700 CUP<sup>18</sup>.
- Adicionalmente, hay que considerar el ahorro colateral asociado a la aplicación de los resultados del estudio a la optimización de la operación, el mantenimiento y el stock de piezas de repuesto de los parques.

Los resultados de la investigación han sido publicados en varios artículos científicos del grupo II, libros electrónicos y en memorias de eventos científicos. Destacan entre ellos:

1. Evaluación de confiabilidad tecnológica del parque aerogenerador de Gibara 2, Torres A., Martínez E., Revista Energética, Vol. 37, No. 1, 2016, pp. 25-34  
<http://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/article/view/462/492>
2. Simulador para la enseñanza interactiva del riesgo de cambio climático, Torres A., Martínez E., Revista Cubana de Ingeniería, Vol. 6, No. 3, septiembre-diciembre, RNPS 2294, ISSN 2223-1781, 2015, pp. <http://rci.cujae.edu.cu/index.php/rci/article/view/395/pdf>
3. UNESCO, Educación y cambio climático, Riesgos asociados al cambio climático, Simulador 1 y 2, CD-UNESCO, ISBN 978-959-18-1041-0, La Habana, Cuba, 2015
4. Estudio de percepción de riesgo asociado al cambio climático en el sector educacional, Torres A., Garea B., Jauregui U., Lau M., Valdés O., Llivina M., *Revista Cubana de Salud y Trabajo*, 18 (1):3-13, 2017  
[http://bvs.sld.cu/revistas/rst/vol18\\_1\\_17/rst01117.pdf](http://bvs.sld.cu/revistas/rst/vol18_1_17/rst01117.pdf)

Los resultados fueron presentados en dos fórum científicos de base, dos municipales y uno provincial, obteniendo categoría de relevante en varios de ellos<sup>34-36</sup>. Además, estos resultados se presentaron en cuatro eventos científicos<sup>37-40</sup>. Las copias de las primeras páginas de las publicaciones y los certificados acreditativos de relevancia y participación en eventos aparecen anexos a la propuesta. Se dispone de 10 avales de respaldo para los resultados de la investigación, emitidos por una empresa de proyectos, dos instituciones educativas, una gubernamental, un organismo internacional y por expertos en esta área del conocimiento. También cuenta con los certificados de derecho de autor por dos software. Se anexan las primeras páginas de varias tesis de grado y postgrado desarrolladas durante esta investigación.

## REFERENCIAS

1. Ministerio de Energía y Minas, Programas de Ciencia, Tecnología e Innovación de Interés Nacional, Desarrollo Sostenible de las Energías Renovables, Prioridad Nacionalmente Establecida: "Desarrollo Energético sobre bases de eficiencia, ahorro y empleo de fuentes renovables de energía", Cuba, 2013
2. Mosquera, G., Rivero, J., Salomón, J., Valhuerdi, C., Perdomo, M., Torres, A., Ferro., R., *Disponibilidad y Confiabilidad de sistemas industriales*, ISBN 980-00-0889-6, Universidad "Gran Mariscal de Ayacucho", Barcelona, Venezuela, 1995.
3. Colectivo de Autores. Asociación Empresarial Eólica, la referencia del sector. Eólica`11. 2011 (<http://www.gwec.net/publications>)
4. Del Campo, Edelstein, N. "La energía del viento en México: Simulación de un parque eólico y aplicación de análisis probabilístico de seguridad". RIIT Vol. X. No.4. p. 343-352, México, 2009 [Consultado el: 24 de octubre de 2014]. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=s1405-77432009000400006&script=sci\\_arttex](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=s1405-77432009000400006&script=sci_arttex) ISSN1405-7743 FI-UNAM
5. Ortiz, G, Marco A. "Aplicación de Técnicas Probabilísticas al Análisis de Flujo de Carga con Generación Distribuida de Origen Eólico. Caso Práctico: Sistema Eléctrico Isla de Margarita". Caracas, Venezuela, 2007[Consultado el: 29 de octubre de 2014]. Disponible en: [http://saber.ucv.ve/jspui/bitstream/123456789/733/1/TesisMarco\\_Ortiz.pdf](http://saber.ucv.ve/jspui/bitstream/123456789/733/1/TesisMarco_Ortiz.pdf)
6. Moreno Figueredo, C, "Energía Eólica. Tecnología y aplicaciones". Editorial Academia, 153 p., La Habana, Cuba, 2011. ISBN 978-959-270-210-3
7. Maggio M. (2005), El uso de simuladores en las prácticas de la enseñanza en la universidad, Universidad de Buenos Aires, <http://asesoriapedagogica.ffyb.uba.ar/?q=el-uso-de-simuladores-en-las-pr-cticas-de-la-ense-anza-en-la-universidad>
8. Garea, B., Torres, A., Gómez, C., Pich, R., Jauregui, U., Valdés O., Llivina, M., Lau, M., González Z. (2014), Cambio Climático y desarrollo sostenible. Bases conceptuales para la educación en Cuba, ISBN 978-959-18-1047-2, Oficina Regional de la UNESCO en Cuba.
9. Torres A., Martínez E., Evaluación de confiabilidad tecnológica del parque aerogenerador de Gibara 2, Revista Energética, Vol. 37, No. 1, 2016, pp. 25-34 <http://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/article/view/462/492>

10. Ministerio de Energía y Minas, Base de datos de Parque Eólico de Gibara 1, Gibara 2 y Los Canarreos, 2012
11. Torres Valle, A., Rivero Oliva, J.J., Mantenimiento Orientado a la Seguridad, CUBAENERGIA, ISBN: 959-7136-10-4, 2006.
12. Torres, A, Rivero, J. "Gestión de Mantenimiento Orientado a la Seguridad". Revista Ingeniería Mecánica. 2004, vol. 7, nº 2, p. 7-15, [Consultado el: 5 de marzo 2014]. Disponible en: [http://revistascientificas.cujae.edu.cu/Revistas/Mecanica/Vol-7/2-2004/01\\_7-15\\_Gesti%C3%B3n\\_de\\_mantenimiento.pdf](http://revistascientificas.cujae.edu.cu/Revistas/Mecanica/Vol-7/2-2004/01_7-15_Gesti%C3%B3n_de_mantenimiento.pdf). ISSN 1815-5944.
13. Gamesa, GAMESA G52-850 KW, Abril, 2007. Disponible en: <http://www.gamesa.es>
14. GAMESA, MANUAL DE ALARMAS G5X PHOENIX DFM, 31 p., 2007
15. Goldwind 750 kW Series Wind Turbine Generator System, Operation and Maintenance Manual, Issued by Goldwind Science & Technology CO, LTD, Q/JF 2SJ750SM.3EN-2009. Disponible en: <http://www.goldwind.cn>
16. Mita-Teknikas, WP3100 Manual Goldwind 750kW, Copyright c Mita-Teknik A/S 2004, 2005, 2006
17. Datos técnicos máquinas VERGNET, 2008. Disponible en: <http://www.vergnet.fr>
18. InSTEC, Informe Final del proyecto Análisis de Confiabilidad de parques eólicos de Cuba al Programa Nacional de FRE, 2016
19. Plasencia, A. "Breve introducción a los sistemas de control de los aerogeneradores". Revista Control Cibernética y Automatización (CCA). 2013, vol. 1, nº 2, p. 22-32. [Consultado el: 10 de mayo de 2014]. Disponible en: [http://www.icimaf.cu/revista\\_cca/sites/default/files/2.pdf](http://www.icimaf.cu/revista_cca/sites/default/files/2.pdf). ISSN: 2312-5276.
20. Gíao Pajuelo, V. "Implementación de un sistema de mantenimiento predictivo de averías en el tren de potencia de un aerogenerador". Maestría en Mantenimiento Industrial y Técnicas de Diagnóstico. Universidad de Sevilla, España. Junio 2006. [Consultado el: 2 de junio de 2014]. Disponible en: [http://www.gmingeneria.com/noticias/Masters\\_Mantenimiento\\_2010\\_11.pdf](http://www.gmingeneria.com/noticias/Masters_Mantenimiento_2010_11.pdf)
21. Rodríguez Amado, F, García Sánchez, M., Plan de mantenimiento para parques eólicos, Universidad de Cádiz, España, 2005
22. Torres Valle, A., Perdomo Ojeda, M. "Aplicación de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad a la Central Nuclear Embalse". Nucleus, 2010, No. 47, p. 24-29. [Consultado el: 16 de diciembre de 2014]. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-084X2010000100004&script=sci\\_arttext&lng=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-084X2010000100004&script=sci_arttext&lng=pt). ISSN 0864-084X
23. Torres, A., Perdomo, M., Rivero, J., (2011), Matriz informatizada de principios básicos de seguridad: una alternativa útil para su aprendizaje y aplicación, Revista Ingeniería Mecánica. Vol. 14. No. 3, septiembre-diciembre, 2011, p. 221-229, ([http://revistascientificas.cujae.edu.cu/Revistas/Mecanica/Vol-14/3-2011/06\\_2011\\_03\\_221\\_229.pdf](http://revistascientificas.cujae.edu.cu/Revistas/Mecanica/Vol-14/3-2011/06_2011_03_221_229.pdf) )
24. Torres A., Martínez E., Simulador para la enseñanza interactiva del riesgo de cambio climático, Revista Cubana de Ingeniería, Vol. 6, No. 3, septiembre-diciembre, RNPS 2294, ISSN 2223-1781, 2015, pp. <http://rci.cujae.edu.cu/index.php/rci/article/view/395/pdf>
25. Torres, A., Manual de usuario SIMENI-CC Ver. 1.5, 2015.

26. IPCC WGII AR5 (2014). Summary for Policymakers. In: Climate Change 2014: IMPACTS, ADAPTATION AND VULNERABILITY. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment
27. INSMET (2014). Segunda Comunicación Nacional de la República de Cuba a la Convención Marco de las Naciones Unidas. Documento en proceso de consulta en Cuba.
28. Planos, E., Vega, R., Guevara, A., Editores (2013), Impacto del cambio climático y medidas de adaptación en Cuba, Instituto de Meteorología, Agencia de Medioambiente, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medioambiente, La Habana, Cuba, 430 pp., ISBN 978-959-300-039-0.
29. Valdés, O., Llivina, M., “Educación y cambio climático: Adaptación y mitigación desde las escuelas y hacia las comunidades en Cuba”, EDUCACIÓN PRIMARIA, Editorial Educación Cubana, La Habana, Cuba, ISBN 978-959-18-1041-0
30. Valdés, O., Llivina, M., “Educación y cambio climático: Adaptación y mitigación desde las escuelas y hacia las comunidades en Cuba”, EDUCACIÓN SECUNDARIA BÁSICA, Editorial Educación Cubana, La Habana, Cuba, ISBN 978-959-18-1042-7
31. Valdés, O., Llivina, M., “Educación y cambio climático: Adaptación y mitigación desde las escuelas y hacia las comunidades en Cuba”, EDUCACIÓN PREUNIVERSITARIA, Editorial Educación Cubana, La Habana, Cuba, ISBN 978-959-18-1043-4
32. INSTEC, Módulo Riesgos ambientales y Cambio Climático, Maestría en Ciencias de la Gestión Ambiental, Habana, Cuba, 2015
33. Organismo de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), Educación y Cambio Climático, ISBN 978-959-18-1041-0, La Habana, Cuba, 2015
34. Torres A., Evaluación de confiabilidad tecnológica de parque eólico de Gibara, Relevante XVI Fórum Científico Técnico Provincial, 2013.
35. Torres A., Evaluación de confiabilidad tecnológica de parque de aerogeneradores de Gibara 2, Relevante XVI Fórum Científico Técnico Municipal, 2013.
36. Torres A., Evaluación de confiabilidad tecnológica de parque de aerogeneradores de Gibara 2, Relevante XVI Fórum Científico Técnico nivel de base, 2013.
37. Torres, A., Ulloa, D., Sistema interactivo para el estudio de los riesgos sobre cambio climático, Trópico 2016
38. Torres, A., Martínez, E., Simulador para la enseñanza interactiva de los riesgos asociados al cambio climático, Universidad 2016
39. Torres, A., Medio Ambiente, Cambio climático, Desastres y Educación Ambiental para el Desarrollo Sostenible, Pedagogía 2015.
40. Torres, A., La didáctica dentro de la enseñanza de la seguridad en la ingeniería: Retos y perspectivas, Universidad 2014.
41. Reunión de Grupo de Expertos, Acta No. 7 de Programa de Desarrollo Sostenible de FRE, sept. 29 y 30, 2016
42. Acta de INEL sobre Reunión de conclusión de proyecto “Análisis de confiabilidad tecnológica de parques eólicos de Cuba”, 2016



## **Descripción científico-técnica detallada del resultado**

### **Los análisis de confiabilidad y riesgo como apoyo al desarrollo de la energía eólica en Cuba**

#### **Autores principales:**

Dr. Antonio Torres Valle, MS. Daniel Rodríguez López, MS Erich Martínez Martín,  
Ing. Laudis Pupo Alegría, Ing. Maylin Ceballos de la Torre

#### **Otros autores:**

Dr. Ulises Jauregui Haza, MS. Maritza Lau González, Dra Bárbara Garea Moreda,  
Dr. Miguel Jorge Llivina Lavigne, Dr. Orestes Valdés Valdés, MS. Diego Ulloa  
López

#### **Resumen:**

El objetivo esencial del estudio fue “Aplicar los análisis de confiabilidad y riesgo a la selección tecnológica y optimización de la explotación de los parques eólicos de Cuba”. La raíz de esta propuesta está en un proyecto nacional, liderado por el INSTEC, y perteneciente al programa nacional “Desarrollo sostenible de FRE<sup>6</sup>”. La tensa dependencia energética respecto a combustibles fósiles ha impulsado un programa estratégico de empleo de las fuentes renovables de energía el que, colateralmente, representa un modesto aporte a la disminución de la emisión de GEI<sup>7</sup>. En este sentido, para el 2030 se instalarán 633 MWe en parques eólicos en la zona norte central y nororiental del país. El trabajo muestra el desarrollo del análisis de confiabilidad a los tres más importantes parques eólicos del país, el que determina debilidades tecnológicas y de explotación en dichas instalaciones. Ello establece pautas respecto a selección de equipamiento para el futuro desarrollo eólico e indica mejoras a las estrategias de emplazamiento, operación y mantenimiento de los parques. Paralelamente, el estudio impulsó la creación de un sistema simulador de riesgos del cambio climático destinado a la capacitación en estos temas. El sistema informático vincula peligros climáticos, vulnerabilidades, acciones de adaptación y estrategias de mitigación enlazados con diferentes niveles de calentamiento global. El sistema ha sido empleado en la capacitación en diferentes niveles de enseñanza y en la demostración del impacto de las fuentes renovables de energía como estrategia de mitigación al cambio climático. Tanto los resultados derivados de los análisis de confiabilidad, como el empleo del simulador, cuentan con certificados de introducción, avales de organismos y de grupos de expertos en el área, publicaciones en revistas científico técnicas y en formatos digitales con repercusión en el aprendizaje a nivel nacional, presentaciones en eventos y certificados de derecho de autor. Además, el resultado cuenta con el premio anual 2016 de la Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada (AENTA), premios a diferentes niveles en Fórum Científico Técnico (FCT) y reconocimientos a nivel de institución.

---

<sup>6</sup> FRE - Fuentes Renovables de Energía

<sup>7</sup> GEI – Gases de Efecto Invernadero

## INTRODUCCIÓN

Cuba se mantuvo durante años (desde el 2010 en que se instaló el parque Gibara 2 hasta la fecha) con una capacidad total de generación eólica reducida, de aproximadamente 11 MWe. Los parques instalados hasta ese momento fueron resultado de donaciones recibidas y esfuerzos limitados que realizó el país para este tipo de generación.

La tensa situación energética del país, generada por la aguda dependencia de combustibles fósiles, se ha reflejado en los recientes pasos estratégicos dados para garantizar el futuro desarrollo del sector energético. La decisión de diversificar la matriz energética del país, a través del empleo de fuentes renovables de energía, unido a la disposición de limitar la emisión de gases de efecto invernadero, procedentes del quemado de combustibles fósiles, previó una estrategia de incorporación paulatina de estas fuentes al sistema electroenergético nacional (SEN)<sup>1</sup>.

En este sentido, existe un ambicioso plan de desarrollo que pronostica, en un futuro próximo (2030), que los campos aerogeneradores de la zona norte central y nororiental del país abastezcan 633 MWe a la matriz energética nacional (ver Figura 1).

Los parques aerogeneradores de Herradura 1 y 2, actualmente en construcción en las cercanías de Holguín (de 51 MWe cada uno), son una muestra de esta voluntad de desarrollo.



**Figura 1 – Distribución perspectiva de campos eólicos en Cuba para el 2030.**

Una forma de incorporar la investigación de numerosos centros científicos a esta intención de desarrollo ha sido la concepción de programas nacionales de I+D sobre uso de fuentes renovables de energía. En este marco se ha desarrollado

desde hace 3 años (2014-2016) el proyecto “Análisis de confiabilidad tecnológica de parques eólicos en Cuba”. Su objetivo esencial es el análisis de la confiabilidad tecnológica de los parques eólicos en Cuba para respaldar, con bases científicas, las decisiones técnicas sobre incremento de la disponibilidad de estas instalaciones y recomendar aplicaciones de optimización a la operación y mantenimiento de sus componentes<sup>1</sup>.

Los estudios cuantitativos de confiabilidad y riesgo son herramientas adecuadas para identificar los principales contribuyentes a la disponibilidad y a la seguridad de las instalaciones. Los mismos han sido empleados en sectores como la aeronáutica, la industria aeroespacial, la energética nuclear y más recientemente, en la industria química y petroquímica<sup>2</sup>. Los análisis de confiabilidad consultados sobre parques eólicos han comprendido varios frentes: la investigación de los históricos de fallos para diferentes partes componentes de los aerogeneradores o por máquinas completas, algunas aplicaciones puntuales para análisis de riesgo y análisis probabilista de variables meteorológicas<sup>3-5</sup>. En principio, algunas de estas aplicaciones, constituyen un buen antecedente para esta investigación, aunque no satisfacen las expectativas de un análisis de fiabilidad integral<sup>3-6</sup>.

El estado actual de los códigos informáticos destinados al análisis de confiabilidad mediante árboles de fallos muestra un notable desarrollo, existiendo en este sentido versiones nacionales que pueden ser usadas para estudios sistémicos de instalaciones complejas<sup>11-12</sup>.

Adicionalmente, la disponibilidad de registros de fallos de partes componentes de estas máquinas acopiados durante varios años en los parques en explotación a través de sistemas SCADA<sup>10</sup>, unido a otras informaciones estadísticas de nivel mundial<sup>3</sup>, establecieron los fundamentos para la obtención de las bases de datos que se emplearon para los análisis de cada emplazamiento.

Por otra parte, no se reporta un sistema de evaluación de riesgo con enfoque sistémico y multifactorial que incluya, simultáneamente, los peligros climáticos, las vulnerabilidades y las acciones de adaptación y mitigación. El mismo sería un buen recurso para medir, entre otras cuestiones, la incorporación de las fuentes de energías renovables a las estrategias de mitigación en cuanto a la emisión de gases de efecto invernadero<sup>7,8</sup>.

La propuesta de investigación para premio ACC tiene bases importantes en el programa nacional<sup>1</sup> de “Desarrollo sostenible de las energías renovables”, que incluyó un proyecto liderado por el InSTEC “Análisis de confiabilidad de parques eólicos de Cuba”. Constituye objetivo esencial de esta propuesta “Aplicar los análisis de confiabilidad y riesgo a la selección tecnológica y optimización de la explotación de los parques eólicos de Cuba”. Por otra parte, constituyen objetivos específicos los siguientes:

- Emplear la metodología de árboles de fallos en la determinación de las debilidades de las tecnologías y parques eólicos de Cuba, a través de la aplicación del principio de Pareto.

- Generar un procedimiento de procesamiento de las bases de registros SCADA de los parques eólicos de Cuba para su conversión en bases de datos de confiabilidad útiles para los análisis de disponibilidad previstos.
- Realizar recomendaciones técnicas sobre el tipo de equipamiento más adecuado para el perspectiva desarrollo del empleo de la energía eólico en Cuba.
- Proveer información sobre estrategias de operación y mantenimiento de parques eólicos en explotación.
- Sugerir medidas respecto a futuros emplazamientos de parques eólicos en Cuba.
- Desarrollar un sistema de simulación de riesgo asociado al cambio climático con enfoque multifactorial que incluya peligros climáticos, vulnerabilidades, acciones de adaptación y estrategias de mitigación.
- Aplicar el sistema de simulación de riesgo de cambio climático a estrategias de mitigación asociadas a la incorporación de fuentes renovables de energía a la matriz energética de Cuba.
- Proveer el simulador de riesgo asociado al cambio climático con sus bases de datos y manual de usuario para su empleo en la capacitación en diferentes niveles de enseñanza.

La investigación se diseñó de manera que se fuera avanzando paralelamente en el logro de los objetivos, complementando los análisis de confiabilidad con los de riesgo. Los resultados se fueron mostrando en etapas para cada parque eólico, a través de reuniones periódicas con un comité de expertos en temas de energías renovables, así como en seminarios y talleres de profesores y directivos de la red de escuelas asociadas a la UNESCO, usuarios potenciales del sistema simulador para la enseñanza de los riesgos asociados al cambio climático.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **- *Confiabilidad de parques aerogeneradores***

Como materiales correspondientes a esta sección de la investigación están los tres parques aerogeneradores más importantes existentes en Cuba (Gibara 1<sup>13-14</sup>, Gibara 2<sup>15-16</sup> y Los Canarreos<sup>17</sup>). El volumen de información disponible en los parques sobre registros de fallos e indisponibilidades<sup>10</sup> permitió obtener bases de datos de confiabilidad que soportaron el análisis sistémico realizado.

El parque de Gibara 1 está montado en base a máquinas aerogeneradoras de la marca GAMESA<sup>13-14</sup>. Los aerogeneradores GAMESA utilizados en Gibara 1 son de una potencia de 850 kW.

El parque Gibara 2 está montado con aerogeneradores de la marca GOLDWIND<sup>15-16</sup>, modelo S50/750. Los aerogeneradores GOLDWIND de 750 kW se desarrollaron a partir de un modelo de igual potencia del tecnólogo y fabricante alemán REPower.

En el parque de Los Canarreos se emplearon aerogeneradores marca VERGNET<sup>17</sup>. En este caso, se trata de una tecnología francesa con máquinas de potencia nominal de 275 kW, modelo GEV-MP 32/275.

Como se ha expresado, el método utilizado para el análisis de confiabilidad de los parques eólicos fue el de árbol de fallos. Se trata, propiamente, del nivel cero entre los Análisis Probabilistas de Seguridad (APS), el cual consiste en el análisis de confiabilidad de componentes y sistemas. El estudio queda limitado al análisis de sistemas por separado, sin incluir el análisis de las posibles secuencias accidentales. Las salidas principales son la determinación de las probabilidades de fallas de componentes, sus combinaciones de fallos y la probabilidad de fallo del sistema. Un resultado muy útil lo son también las causas de fallos ordenadas por importancia<sup>2</sup>.

En la bibliografía consultada se registra un artículo<sup>3</sup>, que utiliza el APS para realizar un pequeño estudio de nivel 1 para un iniciador (Sobre velocidad del viento – OVERSPEED). En dicha bibliografía la postulación del evento iniciador se realiza en forma de probabilidad de fallo en lugar de frecuencia. Adicionalmente, el análisis de sistemas para modelar estudios de confiabilidad de algunos pequeños esquemas mitigadores, se realiza por árboles de fallos, los que no son mostrados.

Además, se localizaron otras bibliografías relacionadas con el tema que constituyen respectivamente, referencias a análisis de fiabilidad por estudios estadísticos de fallos de componentes<sup>3</sup>, o análisis probabilistas de variables meteorológicas<sup>5</sup>, los que por tanto, se alejan del objetivo de esta investigación. Una buena referencia como base de comparación lo reporta Moreno<sup>6</sup>, donde se ilustran índices de disponibilidad o coeficiente de disponibilidad técnica para los aerogeneradores GAMESA del parque Gibara 1.

Por otra parte, se encontró una referencia<sup>4</sup>, donde se combinan fallos catastróficos y degradados en un árbol de fallos, definiéndose componentes del aerogenerador y del sistema eléctrico asociado al emplazamiento. Los datos de fallos utilizados en el documento no son explícitos como información de referencia. Tampoco aparecen las fuentes de los datos que permitan su reproducción. Finalmente, se ilustra un ordenamiento de conjuntos mínimos de orden 1, el cual mezcla datos de frecuencia y de indisponibilidad.

La metodología de procesamiento de registros de fallos requiere como premisa del acopio de información sobre datos de fallos y mantenimientos.

Existen dos métodos esenciales de recopilación de estos datos: el método activo y el método pasivo<sup>11</sup>.

El primero de estos métodos resulta costoso, dadas sus consecuencias. Es usado esencialmente en la industria aeronáutica y aeroespacial. Consiste en someter a prueba numerosos equipos objeto de investigación hasta su fallo, e ir contabilizando estos eventos para determinado modo de fallo. Posteriormente, tales registros se procesan y ajustan para conocer las tasas o probabilidades de fallos relativas a los mismos.

Este grupo de dispositivos que son del mismo diseñador o fabricante y que poseen idénticas características y regímenes de explotación, se convierten en lo que se conoce como una familia, por lo que su agrupamiento es posible para este objetivo de análisis.

El método pasivo es el resultado de la recopilación de información estadística de fallos de los procesos que normalmente transcurren durante la explotación de una instalación. En este caso, la formación de las familias conlleva a un riguroso trabajo de clasificación de los equipos, para identificar similitudes en cuanto a tipo de componentes, diseño y régimen de explotación. Este tipo de base de datos permite, cuando el acopio de información es grande, e incluye mucha población, y en ocasiones varias instalaciones, conformar bases de datos genéricas como las que se encuentran en la bibliografía de referencia<sup>11,12</sup>.

Tal práctica, será lógicamente aplicable a la obtención de bases de datos específicas que describan los componentes – modos de fallo de una instalación dada, como es el caso de la instalación objeto de esta investigación.

Una forma de acoplar los datos específicos de fallos de una determinada familia de equipos con sus análogos genéricos es utilizar el método de ajuste bayesiano, el que permite tener en cuenta ambas experiencias en la descripción de los parámetros de confiabilidad para determinado tipo de dispositivo<sup>11,12</sup>.

Aunque la práctica general es tomar a los equipos dinámicos en instalaciones complejas como grandes componentes, cuya tasa de fallo es única y agrupa a todos los mecanismos de fallos que caracterizan a dicho equipo, los datos de fallos disponibles para aerogeneradores están asociados a sus partes o subsistemas componentes.

Por ello, los árboles de fallos que se desarrollaron en el documento parten de la segregación del aerogenerador en sus partes principales. No existen datos suficientes para separar dichas partes principales en sus componentes. Estas partes se agruparon de tal forma que aportaron 12 fragmentos esenciales o grupos funcionales, acoplados para conformar a cada máquina (componentes-modos de fallo). Este paso fue fundamental, pues permitió disponer de una base homogénea de componentes-modos de fallo de las máquinas, lo que resulta trascendental para su comparación<sup>9,18</sup>.

Dada la uniformidad en cuanto a cantidad de máquinas por parque, se adoptó un criterio de fallo similar para los tres parques: 2 de 6 aerogeneradores<sup>9,18</sup>. Este criterio persigue como objetivo limitar la indisponibilidad permitida del parque a un aerogenerador, lo que significa que la política de explotación debe restringirse a la salida de servicio de sólo una máquina cada vez (ya sea por mantenimiento planificado o causas aleatorias de fallo).

Para la identificación de los elementos integrantes de cada máquina fue necesaria una compatibilización de la información donde se tuvieron en cuenta las siguientes fuentes:

- Datos estructurales de los aerogeneradores<sup>13-17</sup>.
- Datos de fallos segregados por componentes para aerogeneradores<sup>3</sup>.
- Datos de fallos recopilados en el parque por código de alarma<sup>10</sup>.

De cada una de las fuentes reseñadas fue posible obtener información diversa y/o común, la que se fue compatibilizando.

Teniendo en cuenta los datos genéricos de fallos reportados por la AEE y el comportamiento de la tasa de rotura por año, es posible inferir que la tasa de rotura por aerogenerador para Enero del 2005 tuvo un valor<sup>3</sup> de 0,5 año<sup>-1</sup>.

Dada la tasa anual de falla global reportada, así como las fracciones de contribución que corresponden a cada componente del aerogenerador, se pudo deducir tasas anuales para cada componente, a modo de tasa genérica de fallo. Por la variedad de tecnologías representadas, se consideró que este valor promedio de tasas es aplicable a cualquiera de las máquinas de cada parque.

Por otra parte, el análisis detallado de los registros de fallos reportados por cada parque demostró que los mismos no tenían un formato adecuado para la tarea propuesta, lo que obligó a diseñar un procedimiento particular para su uso, con el objetivo de obtener tasas de fallos específicas por componente-modo de fallo.

Este procedimiento incluyó los siguientes pasos<sup>9.18</sup>:

- 1- Clasificación de las fallas por su parque correspondiente.
- 2- Segregación y análisis por tipo\_causa 1, 2 y 3 (SEN, mantenimiento y resto, respectivamente)
- 3- Estudio del grupo Estado (Errores o Emergencia – Stop) y Causa (Alarma - Desconocida) por palabras claves de acuerdo a descripción.
- 4- Contabilización de palabras claves y adición al componente-modo de fallo asociado, o de tiempos fuera de servicio, si se trata de tipos-causa SEN y mantenimiento.
- 5- Cálculo de tasas de fallos (para Tipo\_causa 3) o indisponibilidad (para Tipo\_causa 1 y 2).

Para el cálculo de las tasa de fallo se usó la ecuación (1).

$$\lambda_{\text{anual}} = NF / T_{\text{observ}} \quad (1)$$

Dónde:  $\lambda_{\text{anual}}$  es la tasa anual de fallos específica, NF es cantidad de fallos reportados en el período para el componente en todas las máquinas (esto garantiza que la población de fallos por componentes es más notable y la tasa de fallos más representativa),  $T_{\text{observ}}$  es el tiempo de observación (en horas) considerando todas las máquinas.

La ecuación (2), fue la utilizada para los análisis de indisponibilidades por mantenimientos, eventos externos y asociadas al sistema eléctrico, o sea por causas externas, donde Q es la indisponibilidad y  $T_{\text{indisponible}}$  es el tiempo de indisponibilidad, fue la siguiente:

$$Q^8 = T_{\text{indisponible}} / T_{\text{observ}} \quad (2)$$

Finalmente, de la comparación entre las tasas de fallo genérica y específica, se dedujo la mayor, que fue la utilizada en el análisis. El ajuste bayesiano no fue aplicado dada la carencia de datos de distribuciones probabilistas y otros necesarios para esta aplicación.

Otros datos a tener en cuenta fueron las contribuciones de indisponibilidad asociadas a eventos externos de carácter antropogénico o natural.

A modo de resumen metodológico, resalta en este caso el diseño de un método de estudio que homogeniza los criterios y datos de todas las partes componentes de los parques, independientemente de su tecnología, lo que permite encauzar un estudio comparativo ulterior

### - ***Riesgos asociados al cambio climático***

Los materiales de este desarrollo están condensados en todo el conocimiento sobre peligros, vulnerabilidades, acciones de adaptación y estrategias de mitigación acopiados en sus múltiples informes por el Panel Intergubernamental sobre cambio climático<sup>26</sup>, así como en todos los informes sobre impactos y medidas de adaptación presentados por expertos y organizaciones cubanas<sup>27,28</sup>.

Algunos desarrollos de simuladores han pretendido crear conciencia sobre el calentamiento global como los logrados a raíz de la Conferencia de Copenhague en el 2009 o de Japón en el 2007<sup>24</sup>.

En el marco de la investigación se abordaron tres simuladores de proceso de cambio climático<sup>25</sup> empleados en la enseñanza:

1. Simulador de la atmósfera como bañera de CO<sub>2</sub>.
2. Simulador "Climate Momentum and Dynamics"
3. Simulador de bañera desarrollado por el MTI (Massachusetts Technological Institute)

Estos simuladores usados frecuentemente en el marco de cursos interactivos de aprendizaje sobre cambio climático, han sido empleados para la enseñanza de riesgos, pero de manera indirecta, con la representación de la evolución de procesos (influencia del contenido de CO<sub>2</sub> con la temperatura global o influencia del CO<sub>2</sub> en la temperatura y nivel del mar) y no directamente, sobre el comportamiento de parámetros referidos al riesgo.

---

<sup>8</sup> En el caso de mantenimientos preventivos, estos se distribuyen entre las 6 máquinas, por lo que se suman tiempos de indisponibilidad y de observación de los 6 aerogeneradores. Cuando se trata de afectaciones por el SEN o eventos meteorológicos, los tiempos de indisponibilidad se acoplan para todo el parque y el tiempo de observación corresponde al tiempo de operación del parque.



En otro sentido, se ha trabajado en sistemas de pronóstico de peligros (sequía, disminución de precipitaciones) acrecentados por el calentamiento global (derivado del incremento de la emisión de GEI <sup>27,28</sup>). Los sistemas de evaluación de riesgo basados en matrices de riesgo han sido frecuentemente referidos en bibliografías preparadas por diferentes autores y organizaciones<sup>8,23,27</sup>, sin embargo, ninguno de ellos ha conseguido combinar todos los tipos de contribuyentes que interactúan en el riesgo relacionado con el cambio climático, y en ningún caso han informatizado la metodología.

El análisis de la información disponible permite asegurar la no existencia de un sistema de evaluación directamente dirigido a valorar riesgo asociado al cambio climático, lo que ha tratado de sustituirse por modelos de simulación de procesos, para lo cual es necesario sistematizar gran cantidad de información que permita inferir desde estos modelos a los riesgos. Algunos sistemas de pronóstico se han empleado para estudiar la influencia de la emisión de GEI a nivel global y regional, aunque sin presentar los riesgos de manera directa.

El sistema SIMENI Ver. 1.5<sup>24,25</sup>, programado para simular riesgos relativos al cambio climático combina, en una matriz de interdependencia<sup>23</sup> y en mapas mímicos, los peligros climáticos, las vulnerabilidades y las acciones de adaptación y mitigación. Cada una de estas entradas ha sido representada a través de códigos alfanuméricos a nivel de zonas en el mundo y a nivel de localidades por regiones. Esta combinación de factores responde a la ecuación:

$$R_{SistX} = GLOBAL * MIT * \sum_{n=1}^N (P_n * VUL_n * ADA_n) \quad (3)$$

Donde:

$R_{SistX}$  – Es el riesgo del sistema X

GLOBAL – es la representación del aporte Global al riesgo referido a incrementos de temperatura

MIT – es el aporte por fallo de la Mitigación, cuando ella procede, dado que los aportes globales son de origen antrópico. En la forma representada la MIT incorpora una acción de reserva o de control para el calentamiento GLOBAL.

$P_n$  – Es el peligro climático n que puede corresponder a cualquiera de los conocidos aplicables a una región en cuestión.

Vuln – Es la vulnerabilidad dada en la zona para el peligro n de partida

$ADA_n$  – es el fallo de la acción de adaptación para la Vuln. En la forma representada la adaptación es una reserva o control para la vulnerabilidad.

Para resolver la ecuación de riesgo anterior, de manera general, se aplica una matriz de Peligro vs. Vulnerabilidad<sup>23</sup>, la que se representa en la tabla 1.

El sistema se suministra con una base de datos para un escenario global que incluye todas las regiones del mundo, identificadas por el Panel Intergubernamental para el cambio climático, con sus respectivos peligros,

vulnerabilidades, adaptaciones y riesgos resultantes para diferentes grados de calentamiento global<sup>26</sup>. De la misma forma, pero a nivel de impactos sobre diferentes sectores<sup>27,28</sup>, se ha preparado una base de datos para el caso de Cuba. Los resultados obtenidos respecto a niveles de riesgo son coherentes con aquellos publicados por las bibliografías de referencia<sup>26-28</sup>. Ello se logra a través de una combinación de aplicación de la matriz presentada en la tabla 1 con un filtro de calibración que identifica situaciones particulares.

**Tabla 1 – Matriz de Peligro vs. Vulnerabilidad**

		VULNERABILIDAD						
		E	MA	A	M	B	MB	I
PELIGRO	PC	E	MA	MA	A	A	M	M
	MP	MA	MA	MA	A	M	M	M
	P	MA	MA	A	M	M	M	B
	PI	A	A	M	M	M	B	B
	I	A	M	M	M	B	B	MB
	MI	M	M	M	B	B	MB	MB
	SI	M	M	B	B	MB	MB	I

Leyenda:

Peligro: PC- Prácticamente cierto, MP- Muy Probable, P- Probable, PI- Tan probable como Improbable, I- Improbable, MI – Muy Improbable, SI- Sumamente Improbable.

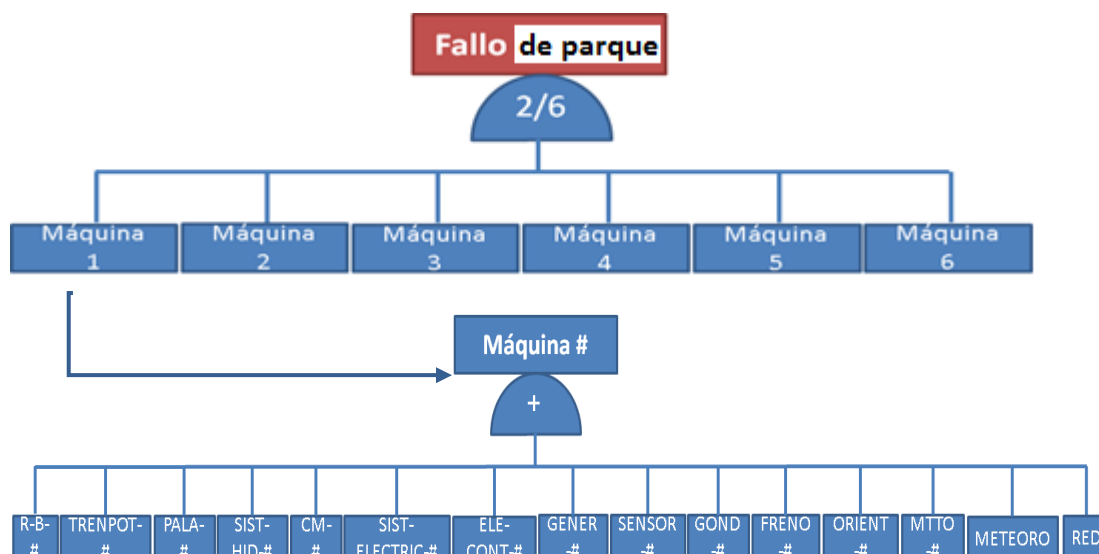
Vulnerabilidad y Riesgo: E- Evidente, MA- Muy Alto, A-Alto, M-Medio, B-Bajo, MB- Muy Bajo, I - Insignificante

La incorporación de estrategias de mitigación a estas bases de datos, relacionadas con la correcta gestión de la energía, por ejemplo por incorporación de fuentes renovables de energía para la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero, permite formular ejercicios relacionados con estas situaciones.

## RESULTADOS

El árbol de fallos<sup>9,18</sup> aplicable a cualquiera de los parques es el mostrado en la figura 3.

El subárbol de fallos Máquina #, representado en la figura, se repite para cada máquina sustituyendo el carácter # por el correspondiente número del aerogenerador modelado. De manera similar, se completan los componentes-modos de fallo de cada máquina.



**Figura 2 - Árbol de fallos para parque aerogenerador (Gibara 1, Gibara 2, Los Canarreos).**

La base de datos de confiabilidad utilizada en cada parque<sup>18</sup> se muestra en la tabla 2. Los datos de confiabilidad aplicados a cada componente correspondieron, fundamentalmente, a los obtenidos de la fuente específica del emplazamiento.

La obtención de dichos datos implicó el procesamiento de miles de registros acopiados por los sistemas SCADA de cada parque<sup>13-17</sup>.

**Tabla 2 – Base de datos para los tres parques eólicos**

No	Componentes Principales	Código genérico	GIBARA 1 Tasa de fallo horaria o Indisponibilidad (Q)	GIBARA 2 Tasa de fallo horaria o Indisponibilidad (Q)	LOS CANARREOS Tasa de fallo horaria o Indisponibilidad (Q)
1	Rotor + Buje	R-B	4.02E-4	2,85E-6	2,85E-6
2	Tren de Potencia	TREN- POT	1,14E-6	1,14E-6	3,80-05

No	Componentes Principales	Código genérico	GIBARA 1 Tasa de fallo horaria o Indisponibilidad (Q)	GIBARA 2 Tasa de fallo horaria o Indisponibilidad (Q)	LOS CANARREOS Tasa de fallo horaria o Indisponibilidad (Q)
3	Palas	PALA	4E-6	5,7E-5	5,7E-5
4	Sistema Hidráulico	SIST-HID	7.3E-5	1,71E-4	4,13E-2
5	Caja Multiplicadora	CM	3,42E-6	9,51E-5	7,61E-05
6	Sistema Eléctrico(otros)	SIST-ELECT	1,6E-3	1,9E-5	2,20E-3
7	Electrónica de Control	ELE-CONT	1,24E-3	4,8E-3	7,19E-2
8	Generador	GENER	7,67E-4	2,28E-6	1,90E-05
9	Sensores	SENSOR	1,3E-3	5,71E-6	1,38E-3
10	Góndola	GOND	2,28E-6	2,28E-6	3.8E-5
11	Sistema de Frenos	FRENO	1,09E-4	2,28E-6	9,21E-2
12	Sistema de Orientación	ORIENT	3,65E-5	1,9E-5	1,88E-1
13	Mantenimiento	MTTO <sup>9</sup>	Q=4E-3	Q=2,4E-3	Q=3,61E-3
14	Manipulación o afectación de red	RED <sup>10</sup>	Q=7,8E-3	Q=1,7E-2	Q=9,92E-3
15	Meteorológicos	METEORO <sup>3</sup>	Q=1,3E-2	Q=4,2E-2	Q=6,45E-2

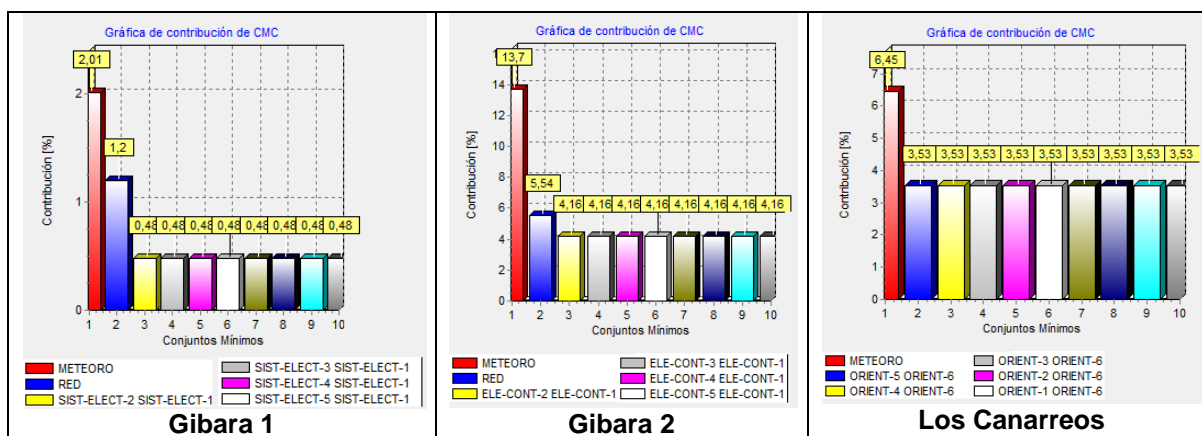
Aplicando los modelos de confiabilidad adecuados a cada caso, y utilizando las tasas de fallos e indisponibilidades reportadas en la tabla, se determinaron las probabilidades de fallo asociadas a cada componente.

<sup>9</sup> Las indisponibilidades por mantenimiento se asignan a cada aerogenerador

<sup>10</sup> Las indisponibilidades de la red y las debidas a eventos meteorológicos son comunes para todo el parque, por lo que se asignan comunes a todas las máquinas.

Posteriormente, aplicando el álgebra de Boole a través del código MOSEG<sup>11,12</sup>, se obtuvieron las combinaciones de fallos más importantes, las que se muestran en forma de histogramas comparativos de conjuntos mínimos de las tres tecnologías empleadas en Cuba (tabla 3). La indisponibilidad asociada a cada parque muestra que, para la meta de fallo establecida (2 de 6 aerogeneradores), los índices obtenidos (excluyendo las contribuciones de los eventos meteorológicos y la red) corresponden a 25 % para Gibara 1, 33 % para Gibara 2 y 100 % para Los Canarreos. El valor absoluto obtenido para Gibara 1 y 2 es similar y su diferencia se asocia más a los períodos de observación tomados como muestra. Por ello, es más importante remitirse a los análisis relativos en cada parque.

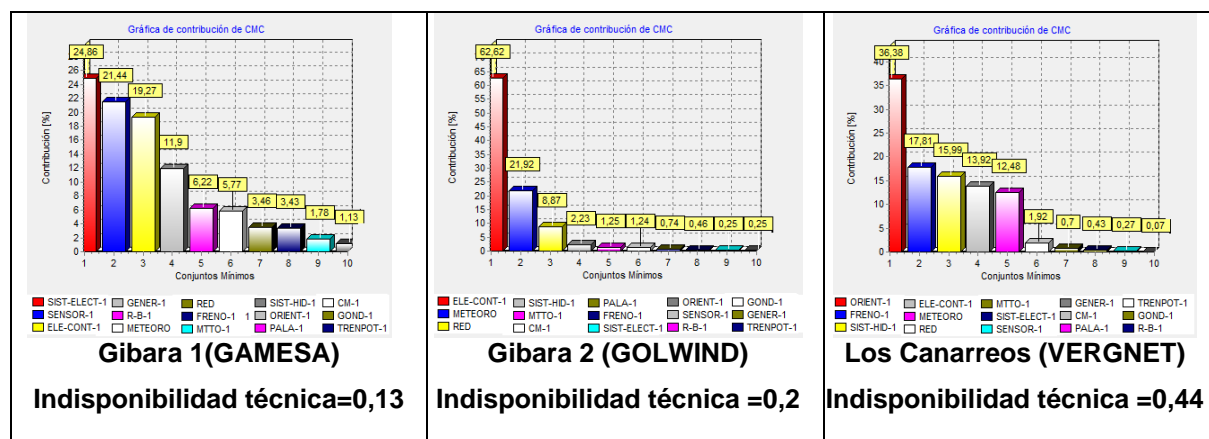
**Tabla 3 - Comparación de conjuntos mínimos más importantes para cada parque**



Con el objetivo de facilitar las aplicaciones de optimización al diseño o explotación de cada parque, se ha ejecutado la modelación de una sola de las máquinas. Lógicamente, los resultados para las restantes máquinas serán simétricos al mostrado.

La base fundamental de esta aplicación fue la tabla de conjuntos mínimos de corte para cada máquina. Para ilustrar el ordenamiento de los contribuyentes por cada tecnología se presenta la tabla comparativa 4.

**Tabla 4 - Importancia por componente-modo de fallo de cada máquina**



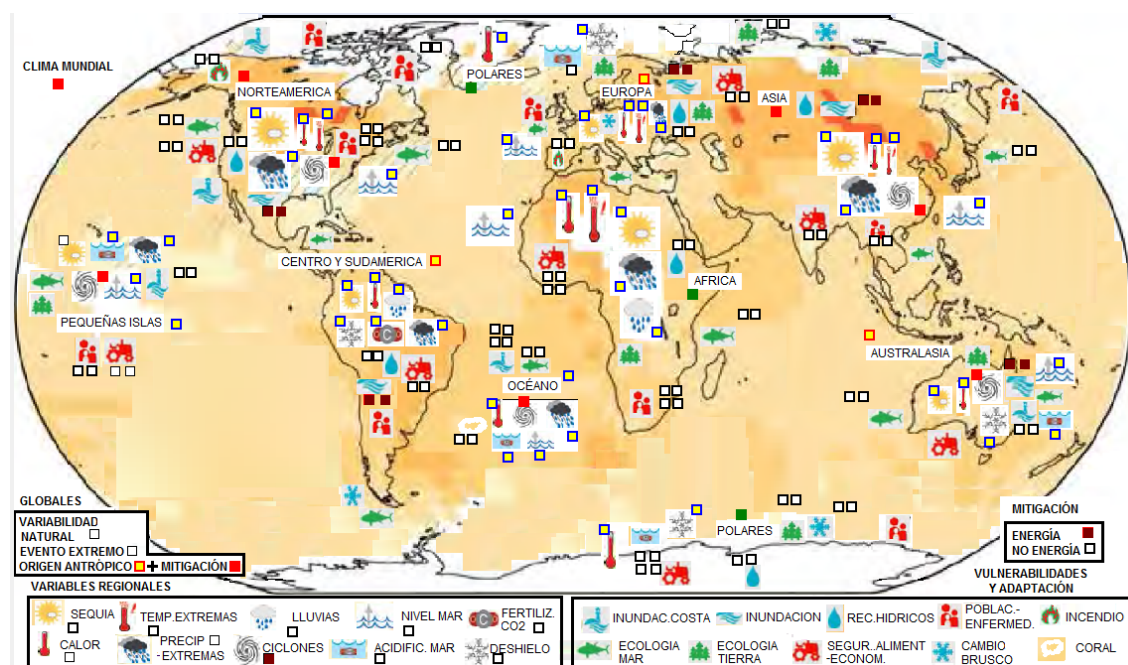
Los resultados de indisponibilidad técnica presentados en la base de cada histograma fueron obtenidos obviando la contribución de la red y de los eventos meteorológicos, con el objeto de hacerlos comparables a los índices de disponibilidad técnica publicados por bibliografías actualizadas en el tema<sup>6</sup>.

Un resultado colateral del estudio, que permite implementar prácticamente la capacitación es un simulador de riesgo asociado al cambio climático. El mismo combina adecuadamente los peligros climáticos, las vulnerabilidades y las acciones de adaptación y mitigación. La necesidad de capacitación ha sido avalada por una reciente revisión del estudio de percepción de riesgo sobre cambio climático en el sector educacional de Cuba<sup>43</sup>, la que incluye nuevos parámetros de dispersión de opiniones en la muestra analizada, así como estudios de la calidad del cuestionario basados en la muy baja probabilidad de respuesta acertada al azar de la encuesta empleada en tal estudio. Estos aspectos incrementan la confiabilidad del estudio enunciado para su empleo como base del sistema de simulación de riesgos climáticos.

Un ejemplo (Figura 3), aplicando SIMENI-CC a escenarios regionales de Cuba, permite diferenciar situaciones antes y después de incorporar errores en la gestión energética del país.



En la figura 4 se aprecia que, de acuerdo a los efectos probables para la combinación de variables previstas, los mayores impactos ocurrirán sobre Asentamientos Humanos y Uso de la Tierra. Los códigos de colores permiten apreciar las magnitudes de los peligros, vulnerabilidades, errores de adaptación y de mitigación, así como las zonas más vulnerables para la situación postulada.



**Figura 5 – Escenario para caso mundial suponiendo peligro climático Huracán combinado con alta vulnerabilidad y adaptación fallida a inundaciones.**

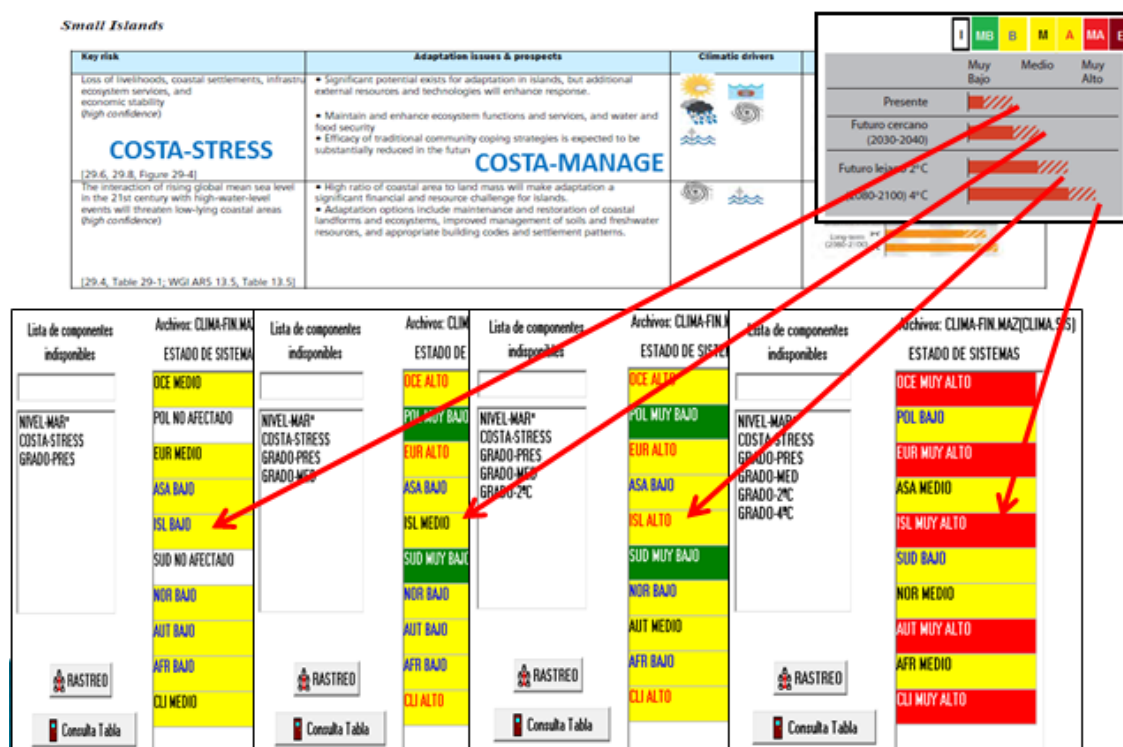
En la figura 5 se muestra el comportamiento del escenario global para una combinación de contribuyentes similar a la de la figura 4.

Obsérvese la identificación de las zonas más peligrosas para dicha combinación de contribuyentes en Norteamérica y Asia, lo que refleja el efecto importante de huracanes y tifones en dichas áreas. Estas situaciones colocan al clima mundial en una categoría de Riesgo Alto. Se ha adicionado para este caso un calentamiento global superior y una gestión energética ineficiente. Ambas situaciones también se ilustran en el mapa.

Otra situación importante a ilustrar es la correspondencia de la respuesta del simulador respecto a los riesgos climáticos publicados. Se ha seleccionado un caso que, al menos parcialmente, afecta algunas zonas de Cuba. Se trata de los riesgos esperados para las pequeñas islas ante la subida del nivel del mar, a lo que se ha unido una vulnerabilidad por costas bajas. Esta combinación de factores coincide perfectamente con situaciones esperadas en zonas como Batabanó y Santa Cruz del Sur.



Se aprecia en la figura 6 la correspondencia de los riesgos esperados publicados (parte superior derecha) con las respuestas de la herramienta ante las situaciones de elevación paulatina de la temperatura global (parte inferior)



**Figura 6 – Correspondencia entre riesgos climáticos publicados y simulaciones realizadas con SIMENI-CC.**

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Una variante del análisis de disponibilidad de cada parque se ha realizado obviando las contribuciones de la red y los eventos meteorológicos, para centrar la atención en los componentes de cada máquina. Para este caso, los valores absolutos de disponibilidad de cada parque muestran que, teóricamente la tecnología GOLDWIN con 25 % de indisponibilidad sería similar que GAMESA (33 %) y ambas superiores a VERGNET (100 %). La pequeña diferencia entre Gibara 1 y 2 se debe esencialmente a los períodos de observación tomados. Por ello, resulta más práctico referirse a los valores relativos para los componentes de los parques, lo que se hace en los próximos párrafos.

Desde el punto de vista general, el análisis de la Tabla 3 demuestra que, en todos los parques, los eventos meteorológicos han sido contribuyentes importantes a la indisponibilidad general de la instalación. A continuación le siguen los fallos de la red, o sea, eventos inducidos por fallos del Sistema Electroenergético Nacional. Debe tomarse con reservas el hecho de que, este contribuyente no aparezca en ese orden para el caso de Los Canarreos, ya que ello puede estar vinculado al

período de observación tomado como referencia. Después de estos contribuyentes, en los histogramas puede apreciarse que, en todos los parques aparecen combinaciones dobles de los componentes más importantes que, de manera individual caracterizan a cada tecnología.

La tabla 4 muestra una comparación de resultados absolutos y relativos entre las tres tecnologías evaluadas a nivel de máquinas independientes. Desde el punto de vista absoluto, los valores de indisponibilidad presentados en la base de cada histograma son, teóricamente comparables al complemento del coeficiente de disponibilidad técnica formulado por Moreno<sup>6</sup>. Los resultados obtenidos en el estudio para una máquina GAMESA (indisponibilidad  $1,3E-1$ ) se pueden considerar similares a los declarados por Moreno (indisponibilidad técnica  $3E-2$ ). Las diferencias de estos valores pueden deberse al acentuado nivel de detalle logrado en este estudio respecto a los cálculos mostrados por Moreno. Para el resto de los casos (GOLDWIND indispon.  $2E-1$  y VERGNET indispon.  $4,4E-1$ ) los valores de indisponibilidad superan a los postulados por Moreno.

Por otra parte, respecto a resultados relativos, la tabla 4 presenta tres histogramas de contribución de los fallos, para los componentes-modos de fallo por máquina de cada una de las tecnologías evaluadas. De esta forma, el estudio permite determinar debilidades de cada tecnología. El acentuado desbalance de la contribución de la electrónica de control en el caso de la tecnología GOLDWIND está motivado por el efecto de las señales espurias sobre la disponibilidad de los aerogeneradores. En este sentido, por sugerencia de los ejecutores del proyecto, la Empresa de Ingeniería y Proyectos de la Electricidad (INEL) ha solicitado estudios particulares de la electrónica de control al Instituto de Cibernética, Matemática y Física (ICIMAF). En la tecnología GAMESA el sistema eléctrico resulta el principal contribuyente. Es necesario destacar que, en este caso, una combinación de dispositivos eléctricos y de control (ver los 4 primeros contribuyentes) condensa el principal aporte de la indisponibilidad de las máquinas. Llama la atención que la electrónica de control, aunque con menos importancia en GAMESA respecto a GOLWIND, resulta un contribuyente a tener en cuenta en estos dos casos. En el caso de Los Canarreos (tecnología VERGNET) la importancia de los componentes mecánicos vuelve a tomar trascendencia, tal como lo reporta la bibliografía internacional. En esta tecnología el componente más importante es el sistema de orientación, al que siguen el sistema de frenos y el sistema hidráulico. La utilización de técnicas de predictivo, cuando la característica de los contribuyentes lo permita, resultará esencial en los mantenimientos futuros de este tipo de energía renovable.

Desde el punto de vista individual por máquinas, la no coincidencia de factores externos como factores meteorológicos y fallos de la red entre los tres casos, debe tomarse con cautela, pues se debe a los períodos de observación considerados, y pudiera afectar, por igual, a cualquiera de los parques. Sin embargo, a este nivel de resolución, debe suponerse que en la distribución de componentes puede pesar la asimetría de la contribución del fallo de los mismos según cada tecnología.

El fortalecimiento del SEN en las zonas de emplazamiento deberá ser un paso fundamental en los futuros desarrollos de este tipo de fuente. La participación de las inestabilidades de la red (por causas antropogénicas) en la disponibilidad de los parques han sido muy importantes. La contribución de los eventos meteorológicos a la indisponibilidad de los parques, así como a su más lenta recuperación tras los efectos de los fenómenos, es otra enseñanza que deberá sacarse de los análisis. Será esencial, para futuros emplazamientos tener en cuenta estudios detallados que prevean todas las variantes y combinaciones de eventos externos que correspondan a cada caso. La única de las tecnologías que ha previsto el enfrentamiento a fenómenos meteorológicos extremos mediante su abatimiento, es la del parque de Isla de la Juventud. En las otras dos analizadas, se ha confiado esta misión a la resistencia de las estructuras y a medidas propias de cada diseño.

La ilustración de la Figura 3, obtenida a partir del código SIMENI-CC, respalda científicamente y con un ejemplo práctico las decisiones respecto a la incorporación de fuentes renovables para disminuir el calentamiento global, vinculado a la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero. En este ejemplo, para demostrar las capacidades de modelación y enseñanza del sistema, se ha sobredimensionado la participación de Cuba por inadecuada gestión energética sobre el efecto antrópico del calentamiento. Las figuras 4 y 5 muestran potencialidades gráficas del sistema, lo que resulta un recurso motivador para la enseñanza de la temática. Ello constituye una ayuda al profesor para desarrollar el enfoque del aprendizaje basado en problemas. La figura 6 es un ejemplo de la coherencia de las simulaciones realizadas con SIMENI-CC respecto a los riesgos publicados. Ello es una muestra de las pruebas de validación a que ha sido sometido el código.

La investigación ha tenido buenos resultados, reflejados en el cumplimiento de todos los objetivos planificados, la realización de 5 presentaciones en fórum científico técnico con obtención de categoría de relevante en varios de ellos, la elaboración de 3 artículos científicos publicados en revistas nacionales, la programación de un software para simulación de riesgos asociados al cambio climático, el desarrollo de dos tesis de pregrado y una de maestría y la entrega de recomendaciones técnicas válidas para la optimización de la explotación de los parques analizados, así como para la selección de equipamiento base para el desarrollo eólico futuro del país.

El proyecto ha recibido avales de INEL como cliente y de otros grupos de expertos, así como tres avales de introducción de resultados. También ha recibido avales de introducción en el área de capacitación.

## CONCLUSIONES

Aunque a todos los aportes realizados puede atribuirse un impacto científico técnico, se ha sugerido una subdivisión en aras de particularizar las áreas en las que se estima pudiera tener influencia el estudio.

### Aporte científico-técnico:

- La estructura de análisis sugerida en el documento ha sido avalada como un marco metodológico adecuado para extrapolar los estudios a futuros parques eólicos<sup>18</sup>. Esta posición aparece avalada por el **Acta<sup>41</sup> del grupo de expertos del programa “Desarrollo de FRE”** y el **Acta<sup>42</sup> del INEL de Reunión de conclusión del proyecto**, anexas a este documento. Un estudio de confiabilidad de este tipo no tiene precedentes dados los niveles de detalle respecto a modelos y datos de confiabilidad revelados para los parques eólicos<sup>18</sup>. Ello también queda respaldado por los resultados comparativos inter-tecnologías respecto a confiabilidad tecnológica. Desde el punto de vista técnico, la introducción del resultado aparece respaldada por los correspondientes ***certificados de introducción en cada parque***. El estudio de confiabilidad fue desarrollado con herramienta informática propia (MOSEG Ver. 5.0) que cuenta con ***certificado de derecho de autor***. El material preparado constituye una contribución en el marco técnico a la toma de decisiones con respecto al futuro desarrollo eólico del país. Sus hallazgos sobre particularidades tecnológicas pueden servir de pauta, entre otras aplicaciones, para la selección de equipamiento. Las más recientes decisiones técnicas sobre selección de tecnologías para instalar nuevos parques eólicos en Cuba resultan consistentes con los resultados de la investigación. Adicionalmente, se realizan sugerencias sobre estrategias de explotación de los parques y particularidades de los emplazamientos, vinculadas con características del sistema electroenergético nacional en dichas zonas y los eventos meteorológicos extremos.
- Nueva metodología integradora con enfoque multifactorial para simular los riesgos asociados a cambio climático<sup>24,25</sup>. Su sistematización se logra a través del software SIMENI-CC Ver 1.5, el que incorpora los múltiples factores relacionados con el cambio climático: peligros climáticos, vulnerabilidades, acciones de adaptación y mitigación, asociados con diferentes grados de calentamiento global. El software se suministra con bases de datos de partida para escenarios globales y regionales, sintetizadas desde una amplia información contenida en las bibliografías de referencia<sup>8,26-28</sup>. Sus resultados pueden ser valorados en forma de matrices analíticas o mapas animados con colores, que representan niveles de riesgo por zonas o por tipos de impactos. Puede ser empleado, de acuerdo al nivel educacional en forma de juego didáctico (idóneo para varios de los tipos de ejercicios creados durante los talleres docente-metodológicos auspiciados por la UNESCO<sup>29-31</sup>) o para evaluar situaciones complejas desde el punto de vista ambiental<sup>32</sup>. El sistema SIMENI-CC Ver 1.5 ha obtenido ***certificado de derecho de autor*** y ***certificado de introducción de la UNESCO y del MINED***.

- Los resultados de la investigación han sido publicados en **varios artículos científicos del grupo II y libros electrónicos**, los que se detallan en este documento. Debe aclararse que, por razones de protección de datos técnicos de las tecnologías objeto de estudio, potenciales suministradores a su vez de máquinas para el futuro desarrollo eólico de Cuba, no ha podido ser publicado un artículo abarcador que incluya simultáneamente, los resultados mostrados en este estudio.
- Se anexa el **Premio Anual 2016 de la AENTA** por el resultado de la investigación, donde se reconoce el papel del INSTEC y de los otros organismos participantes.

### **Aporte Social:**

- Desde el punto de vista puramente social, resultará estratégico para el futuro del país el cambio a una matriz energética con mayor componente de tipo renovable. Los resultados del estudio respaldan los niveles de confiabilidad que pueden esperarse de dichas tecnologías, lo que incidirá en la estabilidad del servicio sin dependencias foráneas de combustibles fósiles. Ello es reflejo de la responsabilidad social con que se despliega esta medida de mitigación, aunque su impacto mundial sobre la fracción de GEI emitidos sea modesta. Este aspecto aparece también avalado por los respectivos **certificados de introducción**. La significación del estudio en cuanto a la reducción modesta al aporte de GEI aparece demostrada, genérica y cualitativamente, por los resultados de la aplicación del código SIMENI-CC Ver 1.5, programado en el marco de la investigación. Todos los resultados han sido puestos a disposición de las autoridades competentes a través de informes técnicos entregados en el marco del Programa de Desarrollo Sostenible de FRE<sup>1,18</sup>.
- La posibilidad de empleo en la capacitación refuerza también el impacto social del resultado. La versatilidad del sistema SIMENI-CC ha permitido su empleo generalizado para diferentes niveles de enseñanza. Ello incluyó la difusión del mismo a través de un **CD preparado por la Oficina Regional de la UNESCO<sup>33</sup>** en la Habana para la red de escuelas asociadas a la UNESCO primarias, secundarias y preuniversitarias del país, así como su empleo en la educación ambiental dentro del Palacio de Pioneros José Martí. En el nivel universitario el sistema ha sido empleado en el pregrado de la carrera de meteorología y en el postgrado de la maestría de Ciencias de la Gestión Ambiental<sup>32</sup>. Los **certificados de introducción en el área de capacitación** se presentan en la propuesta, así como **avales de la Oficina de la UNESCO, del MINED y de expertos en esta área de la energía renovable**.
- Los resultados de la investigación también se han desarrollado a través de **tesis de grado y postgrado**, cuyas portadas se anexan como parte del documento.

### **Aporte Económico:**

- Un estudio de este tipo requiere herramientas informáticas solo disponibles a un elevado costo. Por ejemplo, un software de análisis de confiabilidad en el

estado del arte, de los empleados en APS de centrales nucleares (RISKSPECTRUM) tiene un costo de 50000 USD/pax en el mercado mundial<sup>22</sup>. El software MOSEG empleado en el estudio es de manufactura nacional<sup>11</sup>, se emplea en la docencia y en servicios científico técnicos y ha obtenido **certificado de derecho de autor** en Cuba. Otro aspecto de carácter económico se refiere a que los estudios de confiabilidad en el mundo son caros. Solamente por salario, cada especialista en estos temas se cotiza entre 2000 y 4000 USD/mes, de acuerdo a su calificación<sup>22</sup>. El estudio realizado para los parques eólicos de Cuba ha sido cotizado, según la ficha de costo del proyecto en 68700 CUP<sup>18</sup>.

- Adicionalmente, hay que considerar el ahorro colateral asociado a la aplicación de los resultados del estudio a la optimización de la operación, el mantenimiento y el stock de piezas de repuesto de los parques.

Los resultados de la investigación han sido publicados en varios artículos científicos del grupo II, libros electrónicos y en memorias de eventos científicos. Destacan entre ellos:

1. Evaluación de confiabilidad tecnológica del parque aerogenerador de Gibara 2, Torres A., Martínez E., Revista Energética, Vol. 37, No. 1, 2016, pp. 25-34  
<http://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/article/view/462/492>
2. Simulador para la enseñanza interactiva del riesgo de cambio climático, Torres A., Martínez E., Revista Cubana de Ingeniería, Vol. 6, No. 3, septiembre-diciembre, RNPS 2294, ISSN 2223-1781, 2015, pp. <http://rci.cujae.edu.cu/index.php/rci/article/view/395/pdf>
3. UNESCO, Educación y cambio climático, Riesgos asociados al cambio climático, Simulador 1 y 2, CD-UNESCO, ISBN 978-959-18-1041-0, La Habana, Cuba, 2015
4. Estudio de percepción de riesgo asociado al cambio climático en el sector educacional, Torres A., Garea B., Jauregui U., Lau M., Valdés O., Llivina M., *Revista Cubana de Salud y Trabajo*, 18 (1):3-13, 2017  
[http://bvs.sld.cu/revistas/rst/vol18\\_1\\_17/rst01117.pdf](http://bvs.sld.cu/revistas/rst/vol18_1_17/rst01117.pdf)

Los resultados fueron presentados en dos fórum científicos de base, dos municipales y uno provincial, obteniendo categoría de relevante en varios de ellos<sup>34-36</sup>. Además, estos resultados se presentaron en cuatro eventos científicos<sup>37-40</sup>. Las copias de las primeras páginas de las publicaciones y los certificados acreditativos de relevancia y participación en eventos aparecen anexos a la propuesta. Se dispone de 10 avales de respaldo para los resultados de la investigación, emitidos por una empresa de proyectos, dos instituciones educativas, una gubernamental, un organismo internacional y por expertos en esta área del conocimiento. También cuenta con los certificados de derecho de autor por dos software. Se anexan las primeras páginas de varias tesis de grado y postgrado desarrolladas durante esta investigación.

## REFERENCIAS

1. Ministerio de Energía y Minas, Programas de Ciencia, Tecnología e Innovación de Interés Nacional, Desarrollo Sostenible de las Energías Renovables, Prioridad Nacionalmente Establecida: "Desarrollo Energético sobre bases de eficiencia, ahorro y empleo de fuentes renovables de energía", Cuba, 2013
2. Mosquera, G., Rivero, J., Salomón, J., Valhuerdi, C., Perdomo, M., Torres, A., Ferro., R., *Disponibilidad y Confiabilidad de sistemas industriales*, ISBN 980-00-0889-6, Universidad "Gran Mariscal de Ayacucho", Barcelona, Venezuela, 1995.
3. Colectivo de Autores. Asociación Empresarial Eólica, la referencia del sector. Eólica 11. 2011 (<http://www.gwec.net/publications>)
4. Del Campo, Edelstein, N. "La energía del viento en México: Simulación de un parque eólico y aplicación de análisis probabilístico de seguridad". RIIT Vol. X. No.4. p. 343-352, México, 2009 [Consultado el: 24 de octubre de 2014]. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=s1405-77432009000400006&script=sci\\_arttex](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=s1405-77432009000400006&script=sci_arttex) ISSN1405-7743 FI-UNAM
5. Ortiz, G, Marco A. "Aplicación de Técnicas Probabilísticas al Análisis de Flujo de Carga con Generación Distribuida de Origen Eólico. Caso Práctico: Sistema Eléctrico Isla de Margarita". Caracas, Venezuela, 2007[Consultado el: 29 de octubre de 2014]. Disponible en: [http://saber.ucv.ve/jspui/bitstream/123456789/733/1/TesisMarco\\_Ortiz.pdf](http://saber.ucv.ve/jspui/bitstream/123456789/733/1/TesisMarco_Ortiz.pdf)
6. Moreno Figueredo, C, "Energía Eólica. Tecnología y aplicaciones". Editorial Academia, 153 p., La Habana, Cuba, 2011. ISBN 978-959-270-210-3
7. Maggio M. (2005), El uso de simuladores en las prácticas de la enseñanza en la universidad, Universidad de Buenos Aires, <http://asesoriapedagogica.ffyb.uba.ar/?q=el-uso-de-simuladores-en-las-pr-cticas-de-la-ense-anza-en-la-universidad>
8. Garea, B., Torres, A., Gómez, C., Pich, R., Jauregui, U., Valdés O., Llivina, M., Lau, M., González Z. (2014), Cambio Climático y desarrollo sostenible. Bases conceptuales para la educación en Cuba, ISBN 978-959-18-1047-2, Oficina Regional de la UNESCO en Cuba.
9. Torres A., Martínez E., Evaluación de confiabilidad tecnológica del parque aerogenerador de Gibara 2, Revista Energética, Vol. 37, No. 1, 2016, pp. 25-34 <http://rie.cujae.edu.cu/index.php/RIE/article/view/462/492>
10. Ministerio de Energía y Minas, Base de datos de Parque Eólico de Gibara 1, Gibara 2 y Los Canarreos, 2012
11. Torres Valle, A., Rivero Oliva, J.J., Mantenimiento Orientado a la Seguridad, CUBAENERGIA, ISBN: 959-7136-10-4, 2006.
12. Torres, A, Rivero, J. "Gestión de Mantenimiento Orientado a la Seguridad". Revista Ingeniería Mecánica. 2004, vol. 7, nº 2, p. 7-15, [Consultado el: 5 de marzo 2014]. Disponible en: [http://revistascientificas.cujae.edu.cu/Revistas/Mecanica/Vol-7/2-2004/01\\_7-15\\_Gesti%C3%B3n\\_de\\_mantenimiento.pdf](http://revistascientificas.cujae.edu.cu/Revistas/Mecanica/Vol-7/2-2004/01_7-15_Gesti%C3%B3n_de_mantenimiento.pdf). ISSN 1815-5944.
13. Gamesa, GAMESA G52-850 KW, Abril, 2007. Disponible en: <http://www.gamesa.es>
14. GAMESA, MANUAL DE ALARMAS G5X PHOENIX DFM, 31 p., 2007

15. Goldwind 750 kW Series Wind Turbine Generator System, Operation and Maintenance Manual, Issued by Goldwind Science & Technology CO, LTD, Q/JF 2SJ750SM.3EN-2009. Disponible en: <http://www.goldwind.cn>
16. Mita-Teknikas, WP3100 Manual Goldwind 750kW, Copyright c Mita-Teknik A/S 2004, 2005, 2006
17. Datos técnicos máquinas VERGNET, 2008. Disponible en: <http://www.vergnet.fr>
18. InSTEC, Informe Final del proyecto Análisis de Confiabilidad de parques eólicos de Cuba al Programa Nacional de FRE, 2016
19. Plasencia, A. "Breve introducción a los sistemas de control de los aerogeneradores". Revista Control Cibernética y Automatización (CCA). 2013, vol. 1, nº 2, p. 22-32. [Consultado el: 10 de mayo de 2014]. Disponible en: [http://www.icimaf.cu/revista\\_cca/sites/default/files/2.pdf](http://www.icimaf.cu/revista_cca/sites/default/files/2.pdf). ISSN: 2312-5276.
20. Gao Pajuelo, V. "Implementación de un sistema de mantenimiento predictivo de averías en el tren de potencia de un aerogenerador". Maestría en Mantenimiento Industrial y Técnicas de Diagnóstico. Universidad de Sevilla, España. Junio 2006. [Consultado el: 2 de junio de 2014]. Disponible en: [http://www.gmingeneria.com/noticias/Masters\\_Mantenimiento\\_2010\\_11.pdf](http://www.gmingeneria.com/noticias/Masters_Mantenimiento_2010_11.pdf)
21. Rodríguez Amado, F, García Sánchez, M., Plan de mantenimiento para parques eólicos, Universidad de Cádiz, España, 2005
22. Torres Valle, A., Perdomo Ojeda, M. "Aplicación de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad a la Central Nuclear Embalse". Nucleus, 2010, No. 47, p. 24-29. [Consultado el: 16 de diciembre de 2014]. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-084X2010000100004&script=sci\\_arttext&tlng=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-084X2010000100004&script=sci_arttext&tlng=pt). ISSN 0864-084X
23. Torres, A., Perdomo, M., Rivero, J., (2011), Matriz informatizada de principios básicos de seguridad: una alternativa útil para su aprendizaje y aplicación, Revista Ingeniería Mecánica. Vol. 14. No. 3, septiembre-diciembre, 2011, p. 221-229, ([http://revistascientificas.cujae.edu.cu/Revistas/Mecanica/Vol-14/3-2011/06\\_2011\\_03\\_221\\_229.pdf](http://revistascientificas.cujae.edu.cu/Revistas/Mecanica/Vol-14/3-2011/06_2011_03_221_229.pdf) )
24. Torres A., Martínez E., Simulador para la enseñanza interactiva del riesgo de cambio climático, Revista Cubana de Ingeniería, Vol. 6, No. 3, septiembre-diciembre, RNPS 2294, ISSN 2223-1781, 2015, pp. <http://rci.cujae.edu.cu/index.php/rci/article/view/395/pdf>
25. Torres, A., Manual de usuario SIMENI-CC Ver. 1.5, 2015.
26. IPCC WGII AR5 (2014). Summary for Policymakers. In: Climate Change 2014: IMPACTS, ADAPTATION AND VULNERABILITY. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment
27. INSMET (2014). Segunda Comunicación Nacional de la República de Cuba a la Convención Marco de las Naciones Unidas. Documento en proceso de consulta en Cuba.
28. Planos, E., Vega, R., Guevara, A., Editores (2013), Impacto del cambio climático y medidas de adaptación en Cuba, Instituto de Meteorología, Agencia de Medioambiente, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medioambiente, La Habana, Cuba, 430 pp., ISBN 978-959-300-039-0.



29. Valdés, O., Llivina, M., "Educación y cambio climático: Adaptación y mitigación desde las escuelas y hacia las comunidades en Cuba", EDUCACIÓN PRIMARIA, Editorial Educación Cubana, La Habana, Cuba, ISBN 978-959-18-1041-0
30. Valdés, O., Llivina, M., "Educación y cambio climático: Adaptación y mitigación desde las escuelas y hacia las comunidades en Cuba", EDUCACIÓN SECUNDARIA BÁSICA, Editorial Educación Cubana, La Habana, Cuba, ISBN 978-959-18-1042-7
31. Valdés, O., Llivina, M., "Educación y cambio climático: Adaptación y mitigación desde las escuelas y hacia las comunidades en Cuba", EDUCACIÓN PREUNIVERSITARIA, Editorial Educación Cubana, La Habana, Cuba, ISBN 978-959-18-1043-4
32. INSTEC, Módulo Riesgos ambientales y Cambio Climático, Maestría en Ciencias de la Gestión Ambiental, Habana, Cuba, 2015
33. Organismo de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), Educación y Cambio Climático, ISBN 978-959-18-1041-0, La Habana, Cuba, 2015
34. Torres A., Evaluación de confiabilidad tecnológica de parque eólico de Gibara, Relevante XVI Fórum Científico Técnico Provincial, 2013.
35. Torres A., Evaluación de confiabilidad tecnológica de parque de aerogeneradores de Gibara 2, Relevante XVI Fórum Científico Técnico Municipal, 2013.
36. Torres A., Evaluación de confiabilidad tecnológica de parque de aerogeneradores de Gibara 2, Relevante XVI Fórum Científico Técnico nivel de base, 2013.
37. Torres, A., Ulloa, D., Sistema interactivo para el estudio de los riesgos sobre cambio climático, Trópico 2016
38. Torres, A., Martínez, E., Simulador para la enseñanza interactiva de los riesgos asociados al cambio climático, Universidad 2016
39. Torres, A., Medio Ambiente, Cambio climático, Desastres y Educación Ambiental para el Desarrollo Sostenible, Pedagogía 2015.
40. Torres, A., La didáctica dentro de la enseñanza de la seguridad en la ingeniería: Retos y perspectivas, Universidad 2014.
41. Reunión de Grupo de Expertos, Acta No. 7 de Programa de Desarrollo Sostenible de FRE, sept. 29 y 30, 2016
42. Acta de INEL sobre Reunión de conclusión de proyecto "Análisis de confiabilidad tecnológica de parques eólicos de Cuba", 2016
43. Torres A., Garea B., Jauregui U., Lau M., Valdés O., Llivina M., Estudio de percepción de riesgo asociado al cambio climático en el sector educacional, *Revista Cubana de Salud y Trabajo*, 18 (1):3-13, 2017  
[http://bvs.sld.cu/revistas/rst/vol18\\_1\\_17/rst01117.pdf](http://bvs.sld.cu/revistas/rst/vol18_1_17/rst01117.pdf)

## Acreditación de la introducción del resultado y su impacto

En esta sección se presentan:

- **Premio Anual 2016 de la AENTA**, como resultado científico técnico destacado
- Cuatro **certificados de introducción de resultados** en los parques eólicos analizados (Gibara 1, Gibara 2 y Los Canarreos y uno general, como conclusión del proyecto). Este grupo de certificados avalan que, desde el punto de vista técnico, se ha ejecutado toda la generalización posible de la investigación. Además, se agrega el acta de conclusión y entrega del informe final del proyecto nacional a la empresa cliente INEL donde se expresa el acuerdo con las conclusiones técnicas emitidas.
- Fragmento del **informe final del proyecto** “Análisis de confiabilidad de parques eólicos de Cuba”, como documento acreditativo de cierre de la investigación.
- Se anexan dos **certificados de introducción**, que avalan el empleo del sistema SIMENI-CC Ver. 1.5 en la enseñanza del postgrado durante la maestría en Ciencias de la Gestión Ambiental, módulo Riesgos Ambientales y Cambio Climático y otro referido a la instrucción de niños y adolescentes en el Palacio de Pioneros José Martí.
- También aparecen las portadas de un **CD preparado por la Oficina Regional de la UNESCO en la Habana** que fue entregado a los centros primarios, secundarios y preuniversitarios, de la red de escuelas asociadas a la UNESCO en el país. El mismo contiene una versión explicativa del sistema SIMENI-CC Ver 1.5.
- Se anexa un **aval emitido por la Oficina Regional de la UNESCO** sobre el empleo del sistema SIMENI-CC Ver 1.5
- Se incluye otro **aval del MINED**, con similar destino.
- Se incorpora **aval emitido por el Dr. Conrado Moreno**, autoridad nacional e internacional en el campo de la energía eólica, autor de varios libros en la temática.
- **Certificado de derecho de autor del software SIMENI-CC Ver 1.5**, así como la primera página de su manual de usuario.
- **Certificado de derecho de autor del software MOSEG**, así como la primera página de su manual de usuario.
- **Primeras páginas de publicaciones en revistas** y memorias
- **Certificados de participaciones en eventos** internacionales
- **Certificados de nivel relevante de fórum científico técnico** para el nivel provincial, municipal y de base.
- **Portadas de las tesis** de grado (Análisis de confiabilidad del parque aerogenerador Gibara 2 utilizando árboles de fallo, Simulación del Riesgo del Cambio Climático ante diferentes escenarios de empleo de energías renovables) y maestría (Análisis de confiabilidad tecnológica del parque eólico Los Canarreos), todas desarrolladas en el marco de la investigación.

## Premio Anual 2016 de la AENTA



Otorga el siguiente

# Reconocimiento

RESULTADO CIENTÍFICO-TÉCNICO DESTACADO

al trabajo:

**Los análisis de confiabilidad y riesgo como apoyo  
al desarrollo de la energía eólica en Cuba**

Centro:

**Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas**

Resultado científico-técnico por su aporte científico en la categoría por contribuir al desarrollo o la asimilación con "know-how" propio de soluciones creativas y con rigor científico.

*La independencia no es una bandera, o un himno, o un escudo;  
la independencia depende del desarrollo, la independencia depende de la tecnología,  
depende de la ciencia en el mundo de hoy.*

dado en La Habana a los 20 días del mes de enero de 2017



Daniel López Aldama  
Presidente AENTA



Otorga el siguiente

# Reconocimiento

## RESULTADO CIENTÍFICO-TÉCNICO DESTACADO

al trabajo:

**Los análisis de confiabilidad y riesgo como apoyo  
al desarrollo de la energía eólica en Cuba**

Centro: **Oficina UNESCO**

Resultado científico-técnico por su aporte científico en la categoría por contribuir al desarrollo o la asimilación con "know-how" propio de soluciones creativas y con rigor científico.



*La independencia no es una bandera, o un himno, o un escudo;  
la independencia depende del desarrollo, la independencia depende de la tecnología,  
depende de la ciencia en el mundo de hoy.*

dado en La Habana a los 20 días del mes de enero de 2017

Daniel Lopez Aldama  
Presidente AENTA





Otorga el siguiente

# Reconocimiento

## RESULTADO CIENTÍFICO-TÉCNICO DESTACADO

al trabajo:

**Los análisis de confiabilidad y riesgo como apoyo  
al desarrollo de la energía eólica en Cuba**

Centro: **Dirección de Ciencia y Técnica del Ministerio de Educación**

Resultado científico-técnico por su aporte científico en la categoría por contribuir al desarrollo o la asimilación con "know-how" propio de soluciones creativas y con rigor científico.



*La independencia no es una bandera, o un himno, o un escudo;  
la independencia depende del desarrollo, la independencia depende de la tecnología,  
depende de la ciencia en el mundo de hoy.*

dado en La Habana a los 20 días del mes de enero de 2017

Daniel López Aldama  
Presidente AENTA



**RESOLUCIÓN No. 1 /2017**

**POR CUANTO:** En virtud de la Resolución No. 104 de 15 de noviembre del 2001, emitida por la entonces Ministra de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, fue creada la Unidad presupuestada denominada Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada.

**POR CUANTO:** El Acuerdo número 4002 del Comité Ejecutivo del Consejo de Ministros de 24 de abril del 2001, dispone en el Numeral veintidós, Apartado Segundo que el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente es el encargado a nivel nacional de proponer la política a seguir con relación al uso de la energía nuclear, dirigir y controlar su ejecución y cumplimiento especialmente en lo referido a la energética nuclear, las investigaciones y la aplicación de las técnicas nucleares y las radioisotópicas.

**POR CUANTO:** Los Lineamientos del PCC establecen en su Capítulo V Política de Ciencia, Tecnología, Innovación y Medio Ambiente, especialmente en el 102. "Que hay que sostener y desarrollar los resultados alcanzados en el campo de la biotecnología, la producción médico-farmacéutica, la industria del software y el proceso de informatización de la sociedad, las ciencias básicas, las ciencias naturales, los estudios y el empleo de las fuentes de energía renovables, las tecnologías sociales y educativas, la transferencia tecnológica industrial, la producción de equipos de tecnología avanzada, la nanotecnología y los servicios científicos y tecnológicos de alto valor agregado.

**POR TANTO:** Que por Resolución No. 14 de 28 de abril del 2016, dictada por el Presidente de los Consejos de Estado y de Ministros es designado quien resuelve Presidente de la Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada

**POR CUANTO:** Resulta procedente reconocer los resultados científicos considerados Destacados por la Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada.

**POR TANTO:** En ejercicio de las facultades que me están conferidas

**RESUELVO**

**PRIMERO:** Reconocer a Nivel de Agencia, el Resultado Científico-Técnico:





**Los análisis de confiabilidad y riesgo como apoyo al desarrollo de la energía eólica en Cuba.**

**Resultado científico-técnico destacado por su aporte científico en la categoría por contribuir al desarrollo o la asimilación con "know-how" propio de soluciones creativas y con rigor científico,** , desarrollado por las entidades que se relacionan en el Anexo a la presente y que forma parte integrante de la misma.

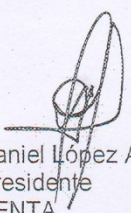
**SEGUNDO:** Que el Resultado Científico objeto de este reconocimiento, tiene como autores a los compañeros que se relacionan en el Anexo a la presente.

**TERCERO:** Dispongo que el reconocimiento se realice en acto público y solemne.

**Comuníquese** a las instituciones participantes y a todos los interesados por conducto de los Directores de las instituciones.

**Archívese** el original de la presente Resolución en el Protocolo de las disposiciones Jurídicas a Cargo del Asesor Jurídico de la Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada.

Dada en La Habana, a los 9 días del mes de enero de 2017 "Año 59 de la Revolución".

  
Daniel López Aldama  
Presidente  
AENTA

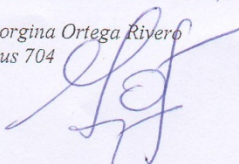


*MsC. Georgina Ortega Rivero, Asesora Jurídica Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada, institución subordinada al Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.*

*Certifico: Que el presente documento es copia fiel y exacta del original firmado y acopiado que obra en archivo jurídico de la Agencia.*

*Y para que así conste, se expide y firma el presente, a*  
9 de Enero de 2017 "Año 59 de la Revolución"

*MsC. Georgina Ortega Rivero*  
tNo. Minjus 704

A handwritten signature in blue ink, appearing to be "G. Ortega Rivero".

## ANEXO

### Instituciones que obtuvieron el resultado científico-técnico.

- Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC)
- Oficina UNESCO
- Dirección de Ciencia y Técnica del Ministerio de Educación (MINED)

### Relación de autores que obtuvieron el resultado científico-técnico.

- Antonio Torres Valle
- Daniel Rodríguez López
- Erich Martínez Martín
- Laudis Pupo Alegría
- Maylin Ceballos de la Torre
- Ulises Jauregui Haza
- Maritza Lau González
- Bárbara Garea Moreda
- Miguel Jorge Llivina Lavigne
- Orestes Valdés Valdés
- Diego Ulloa López





## Certificados de introducción

### ANEXO 2

#### CERTIFICADO DE INTRODUCCIÓN DE RESULTADO

1. Denominación de resultado: Análisis de confiabilidad tecnológica de parque eólico Gibara 1

2. Relación de autores, coautores y colaboradores del estudio

Autores principales: Dr. Antonio Torres Valle (INTEC), Ing. Daniel Rodríguez López (INTEC), MS. Erich Martínez Martín (INTEC)

Coautores: MS. Manuel Perdomo Ojeda (INTEC), Dr. Jesús Salomón Llanes (INTEC)

Colaboradores: Ing. Maylin Ceballos de la Torre (UNE Isla de la Juventud), Ing. Laudis Pupo (UNE-Ciego de Ávila)

3. Entidad introductora del resultado: INEL-Parque eólico Gibara 1

4. Entidad que obtuvo el resultado: Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas

5. Año que se introdujo en la práctica social: 2015

6. Aporte económico, político y social del trabajo:

El presente resultado constituye un estudio de confiabilidad tecnológica para la tecnología GAMESA de Gibara 1. El mismo determina, empleando la metodología de árboles de fallos y los datos de confiabilidad, deducidos de los registros SCADA del parque, las debilidades tecnológicas de la instalación. Las fundamentales son el sistema eléctrico de los aerogeneradores, así como sus Electrónica de Control y detectores. También son importantes para la indisponibilidad, los eventos meteorológicos extremos y las inestabilidades del SEN en la zona de emplazamiento. Los resultados pueden ser aplicados a la optimización de la explotación de los aerogeneradores desde el punto de vista de las políticas de mantenimientos y la operación del parque y del SEN. Los detalles de esta aplicación se encuentran disponibles en informes técnicos entregados a INEL según el proyecto P211LH003-023 del Programa Nacional Desarrollo Sostenible de las Energías Renovables.

7. Fecha de la presente certificación:

8. Firma y cuño de la entidad introductora:



## ANEXO 2

### CERTIFICADO DE INTRODUCCIÓN DE RESULTADO

1. Denominación de resultado: Análisis de confiabilidad tecnológica de parque eólico Gibara 2

2. Relación de autores, coautores y colaboradores del estudio

Autores principales: Dr. Antonio Torres Valle (INTEC), Ing. Daniel Rodríguez López (INTEC), MS. Erich Martínez Martín (INTEC)

Coautores: MS. Manuel Perdomo Ojeda (INTEC), Dr. Jesús Salomón Llanes (INTEC)

Colaboradores: Ing. Maylin Ceballos de la Torre (UNE Isla de la Juventud), Ing. Laudis Pupo (UNE-Ciego de Ávila)

3. Entidad introductora del resultado: INEL-Parque eólico Gibara 2

4. Entidad que obtuvo el resultado: Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas

5. Año que se introdujo en la práctica social: 2014

6. Aporte económico, político y social del trabajo:

El presente resultado constituye un estudio de confiabilidad tecnológica para la tecnología GOLDWIND de Gibara 2. El mismo determina, empleando la metodología de árboles de fallos y los datos de confiabilidad, deducidos de los registros SCADA del parque, las debilidades tecnológicas de la instalación. Las fundamentales son la electrónica de control de los aerogeneradores, así como los eventos meteorológicos extremos y las inestabilidades del SEN en la zona de emplazamiento. Los resultados han sido informados vía INEL a ICIMAF para su análisis detallado. Estos pueden ser aplicados a la optimización de la explotación de los aerogeneradores desde el punto de vista de las políticas de mantenimientos y la operación del parque y del SEN. Los detalles de esta aplicación se encuentran disponibles en informes técnicos entregados a INEL según el proyecto P211LH003-023 del Programa Nacional Desarrollo Sostenible de las Energías Renovables.

7. Fecha de la presente certificación:

8. Firma y cuño de la entidad introductora:



## ANEXO 2

### CERTIFICADO DE INTRODUCCIÓN DE RESULTADO

1. Denominación de resultado: Análisis de confiabilidad tecnológica de parque eólico Los Canarreos

2. Relación de autores, coautores y colaboradores del estudio

Autores principales: Dr. Antonio Torres Valle (INSTECH), Ing. Daniel Rodríguez López (INSTECH), MS. Erich Martínez Martín (INSTECH)

Coautores: MS. Manuel Perdomo Ojeda (INSTECH), Dr. Jesús Salomón Llanes (INSTECH)

Colaboradores: Ing. Maylin Ceballos de la Torre (UNE Isla de la Juventud), Ing. Laudis Pupo (UNE-Ciego de Ávila)

3. Entidad introductora del resultado: INEL-Parque eólico Los Canarreos

4. Entidad que obtuvo el resultado: Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas

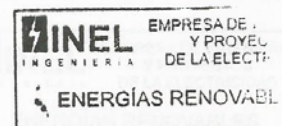
5. Año que se introdujo en la práctica social: 2016

6. Aporte económico, político y social del trabajo:

El presente resultado constituye un estudio de confiabilidad tecnológica para la tecnología VERGNET de Los Canarreos. El mismo determina, empleando la metodología de árboles de fallos y los datos de confiabilidad, deducidos de los registros SCADA del parque, las debilidades tecnológicas de la instalación. Las fundamentales son el sistema de orientación, el sistema de frenos y el sistema hidráulico, así como los eventos meteorológicos extremos y las inestabilidades del SEN en la zona de emplazamiento. Los resultados pueden ser aplicados a la optimización de la explotación de los aerogeneradores desde el punto de vista de las políticas de mantenimientos y la operación del parque y del SEN. Los detalles de esta aplicación se encuentran disponibles en informes técnicos entregados a INEL según el proyecto P211LH003-023 del Programa Nacional Desarrollo Sostenible de las Energías Renovables.

7. Fecha de la presente certificación:

8. Firma y cuño de la entidad introductora:







Habana, 12 de mayo de 2016

"Año 58 de la Revolución"

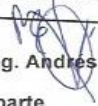
Asunto: Reunión de conclusión de proyecto "Análisis de confiabilidad tecnológica de parques eólicos de Cuba"

En reunión técnica sostenida entre especialistas del InSTEC, ejecutores del proyecto de referencia y especialistas de INEL, contraparte del proyecto, se analizó la marcha del proyecto, el cual concluye con el análisis de los tres parques eólicos seleccionados en Cuba (Gibara 1, Gibara 2 y Los Canarreos), arribándose a las siguientes valoraciones:

- Se consideran como pautas adecuadas para futuros análisis de confiabilidad de tecnologías de producción de energía con base eólica, las establecidas por el proyecto.
- Se reconoce la validez de los resultados respecto a las contribuciones más importantes obtenidas a nivel de parques, por máquinas y por causas derivadas de eventos meteorológicos extremos e inestabilidades del SEN. Se avalan los hallazgos sobre la importancia del sistema eléctrico y la electrónica de control para la tecnología GAMESA, la electrónica de control para la tecnología GOLDWIND y los sistemas de orientación y de frenos para la tecnología VERGNET.
- Se valoran como positivas las recomendaciones técnicas sobre confiabilidad tecnológica que el estudio ha aportado para las decisiones futuras que se tomen respecto al tipo de equipamiento a utilizar en el desarrollo energético con base eólica que se prevé en el país. De manera inmediata, los resultados obtenidos para GOLDWIND (tecnología empleada en el emplazamiento Herradura 1) deben constituir patrón de referencia.

Finalmente, le fue entregado a la empresa INEL, por parte del InSTEC, el informe final del proyecto en el que se detallan los resultados más importantes obtenidos en los tres años de trabajo (2014-2016).



MsC. Ing.  Andres Espino Ares

Contraparte

Directo FRE, INEL



Dr. Antonio Torres Valle

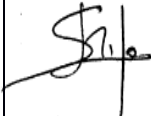

Jefe de proyecto

Dpto. Ingeniería Nuclear, InSTEC

## ANEXO 11 (fragmento)

### Informe Final de proyecto

<b>Identificación del proyecto. Programa:</b> DESARROLLO SOSTENIBLE DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES <b>Proyecto:</b> Análisis de confiabilidad tecnológica de parques eólicos en Cuba <b>Código:</b> P211LH003-023 <b>Entidad ejecutora principal:</b> INSTITUTO SUPERIOR DE TECNOLOGIA Y CIENCIAS APLICADAS (InSTEC) <b>Entidades participantes:</b> -					
<b>Colectivo de autores</b> expresando el grado de participación de cada uno de ellos y sus entidades de procedencia.					
Nombre	Responsabilidad	% participación			
Dr. Antonio Torres Valle	Jefe de proyecto	60			
Ing. Daniel Rodríguez López	participante	15			
Ing. Erich Martínez Martín	participante	15			
Ing. Laudis Pupo Alegría	participante	5			
Ing. Maylin Ceballos de la Torre	participante	5			
<b>Objetivos planteados en el proyecto.</b>  General: Optimizar la explotación de los parques eólicos de Cuba a partir de los resultados de los análisis de confiabilidad de los mismos.  Específicos: -Clasificar los componentes que participarán en la modelación partiendo del estudio de los modelos típicos de aerogeneradores existentes en los parques (incluye revisión bibliográfica de documentos existentes en el país y de bibliografía internacional). -Identificar las fuentes genéricas de datos de fallos aplicables a cada tecnología de los aerogeneradores existentes en el país (incluye revisión bibliográfica internacional). -Diseñar un procedimiento de filtrado de datos acopiados en los parques eólico de Cuba, según sus particularidades, para aprovechar la experiencia específica sobre datos de fallos e indisponibilidades de la que se dispone en cada caso. -Recopilar y agrupar convenientemente los datos de fallos para cada uno de los componentes que se usará en la modelación. -Establecer las diferentes configuraciones de explotación que se modelará en cada parque eólico. -Modelar utilizando la metodología de árbol de fallos las configuraciones de explotación de los parques eólico, anteriormente definidas. -Realizar el análisis de confiabilidad de los parques eólico objeto de estudio. -Proponer aplicaciones de optimización de la explotación partiendo de los análisis realizados.					
<b>Ejecución del presupuesto</b> de gastos asignado y otros recursos utilizados.					
<b>Presupuesto anual aprobado: 67,2 MP</b>					
<b>EJECUCION FINANCIERA</b>					
<b>Entidades</b>	<b>Financiamiento Entregado a la Entidad para el proyecto en el período en CUP</b>	<b>Ingresos acumulados en el período</b>	<b>Ingresos acumulados en el año</b>	<b>Gastos acumulados en el período</b>	<b>Gastos acumulados en el trienio</b>

Entidad principal	67,2 MP	-	-	67,2 MP	67,2 MP
Entidades participantes					
EP-1					
EP-2					
Total proyecto	67,2 MP	-	-	67,2 MP	67,2 MP
Jefe de Proyecto		Decano		Firma	Fecha
Antonio Torres Valle Jefe de Proyecto		Jesús Rubayo Soneira Decano de FCTN			20/5/2016
					

---

## ANEXO 12

### Modelo de la Evaluación Final (oponencia) de Proyecto

#### Evaluación Final de Resultados por Etapas y del Proyecto.

<p><b>Identificación del Proyecto:</b> Análisis de confiabilidad tecnológica de parques eólicos en Cuba</p> <p><b>Código:</b> P211LH003-023</p> <p><b>Entidad ejecutora principal:</b> INSTITUTO SUPERIOR DE TECNOLOGIA Y CIENCIAS APLICADAS (InSTEC)</p>
---

**Cumplimiento de los objetivos.**

El objetivo principal del proyecto considero que se ha cumplido con creces y con un gran grado de profundidad

**Rigor científico de los resultados obtenidos:**

**Nivel de actualización de los resultados.**

Los resultados son de gran actualidad en nuestro país por cuanto es un tema en el que debe profundizarse y preparar recursos humanos en este tema.

**Impacto:** Valoración de los impactos de los resultados del proyecto respecto a los esperados

Los impactos que han resultado en mi opinión están por encima de lo esperado. Se cumplieron las etapas planificada, se presentaron los resultados en eventos científicos, se publicaron los resultados (4 artículos), un software con derecho de autor entre otros.

**Generalización:** Valoración del nivel de generalización (grado de introducción)

Los resultados fueron alcanzados en parques eólicos que operan en el país por lo tanto su generalización esta intrínseca en el trabajo. Son resultados de alta importancia por los problemas que se han presentado con la operación y mantenimiento de los parques existentes.

**Conclusiones:** Precisar la aprobación o no del informe

Se aprueba el informe

**Recomendaciones:** Acciones de continuidad que se proponen

Debe dársele seguimiento a este tipo de trabajo por la gran necesidad que hay en el país de formar recursos humanos en este campo

**Fecha y firma del evaluador 13 junio 2016**





## ANEXO 2

### CERTIFICADO DE INTRODUCCIÓN DE RESULTADO

1. Denominación de resultado: Simulador para la Enseñanza Interactiva de los Riesgos asociados al Cambio Climático (SIMENI-CC Ver. 1.5)

2. Relación de autores, coautores y colaboradores del estudio. Autores principales: Dr. Antonio Torres Valle (INTEC), Dra. Bárbara Garea Moreda (INTEC), Dr. Ulises Jauregui (INTEC), MS. Maritza Lau (INTEC)

Coautores: -, Colaboradores: -

3. Entidad introductora del resultado: Maestría en Ciencias de la Gestión Ambiental, Facultad de Medio Ambiente

4. Entidad que obtuvo el resultado: Dpto. Ingeniería Nuclear, Facultad de Tecnologías y Ciencias Aplicadas

5. Año que se introdujo en la práctica social: 2015

6. Aporte económico, político y social del trabajo:

El presente resultado constituye un sistema interactivo para la enseñanza de los riesgos asociados al cambio climático. El mismo se ha programado en forma de un software que vincula los peligros climáticos, las vulnerabilidades y las acciones de adaptación y mitigación. El sistema tiene también en cuenta factores naturales y antropogénicos que tributan al calentamiento global. La representación de todas las variables se realiza en forma de una matriz analítica y con mapas ilustrativos detallados, ambos de nivel global y regional. La información de partida ha sido obtenida de los documentos editados por el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático y la Segunda Comunicación Nacional de la Defensa Civil de Cuba sobre el Cambio Climático. Los resultados contribuyen a la formación de personal en áreas relativas al riesgo del cambio climático facilitando el aprendizaje activo en un área donde la integración multi, inter y transdisciplinaria de conocimientos es esencial. El sistema sirve a la enseñanza teórica y permite ejecutar variados ejercicios prácticos para el aprendizaje y la evaluación.

7. Fecha de la presente certificación:

12/09/2016

8. Firma y cuño de la entidad introductora:

*M. Lau*





## ANEXO 2

### CERTIFICADO DE INTRODUCCIÓN DE RESULTADO

1. Denominación de resultado: Simulador para la Enseñanza Interactiva de los Riesgos asociados al Cambio Climático (SIMENI-CC Ver. 1.5)
2. Relación de autores, coautores y colaboradores del estudio. Autores principales: Dr. Antonio Torres Valle (INTEC), Dra. Bárbara Garea Moreda (INTEC), Dr. Ulises Jauregui (INTEC), MS. Maritza Lau (INTEC)  
Coautores: - , Colaboradores: -
3. Entidad introductora del resultado: Palacio de los Pioneros José Martí, Circulo de interés, CITMA
4. Entidad que obtuvo el resultado: Dpto. Ingeniería Nuclear, Facultad de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, INTEC
5. Año que se introdujo en la práctica social: 2015
6. Aporte económico, político y social del trabajo:

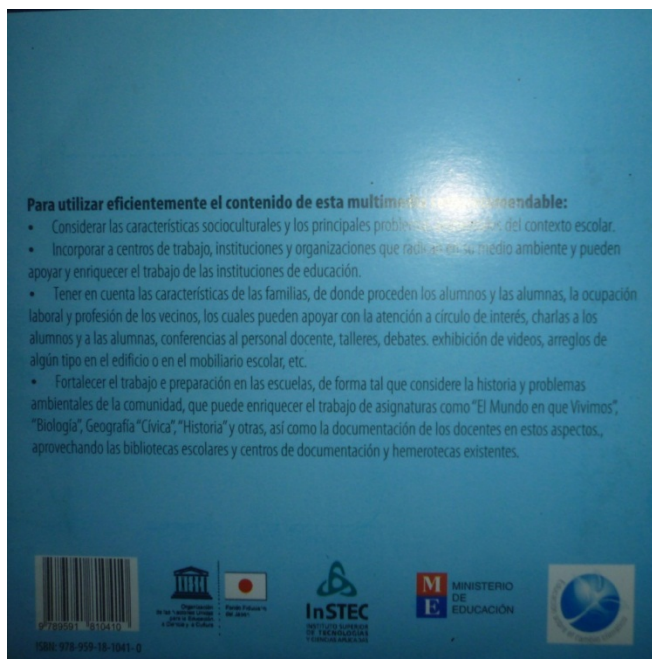
El presente resultado constituye un sistema interactivo para la enseñanza de los riesgos asociados al cambio climático. El mismo se ha programado en forma de un software que vincula los peligros climáticos, las vulnerabilidades y las acciones de adaptación y mitigación. El sistema tiene también en cuenta factores naturales y antropogénicos que tributan al calentamiento global. La representación de todas las variables se realiza en forma de una matriz analítica y con mapas ilustrativos detallados, ambos de nivel global y regional. La información de partida ha sido obtenida de los documentos editados por el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático y la Segunda Comunicación Nacional de la Defensa Civil de Cuba sobre el Cambio Climático. Los resultados contribuyen a la formación de estudiantes en una cultura ambiental integral, ayudando a entender el cambio climático y sus efectos. La versatilidad del sistema ha permitido su empleo con éxito en charlas instructivas para niños y adolescentes participantes en las áreas de medio ambiente del Palacio de Pioneros. El programa se encuentra instalado en áreas relacionadas con el cuidado del medioambiente de la instalación.

7. Fecha de la presente certificación: 2 mayo/2015
8. Firma y cuño de la entidad introductora:



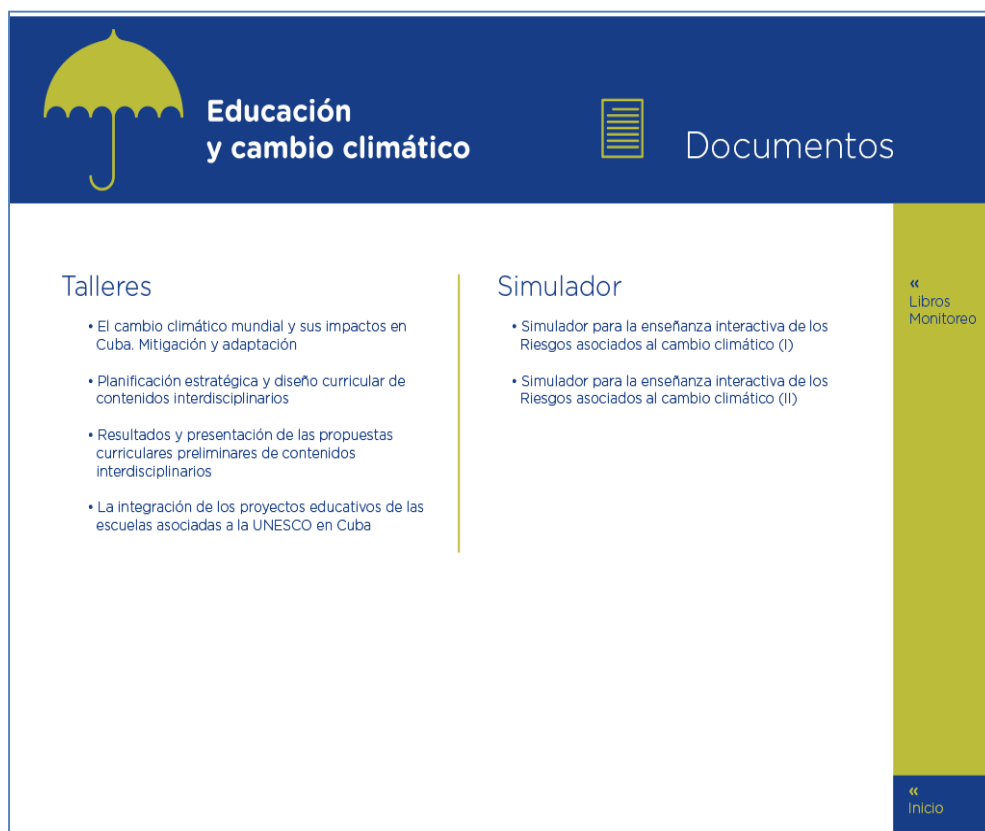
- UNESCO, Educación y cambio climático, Riesgos asociados al cambio climático, Simulador 1 y 2, CD-UNESCO, ISBN 978-959-18-1041-0, La Habana, Cuba, 2015

Portada y contraportada de CD divulgado en la red de escuelas asociadas a la UNESCO.



**Páginas iniciales que acompañan al CD que permite la generalización del resultado en la red de escuelas primarias, secundarias y preuniversitarias asociadas a la UNESCO**

Secuencia de acceso a versión explicativa de SIMENI-CC





# Riesgos asociados al cambio climático (I)

Dr. Antonio Torres

INTEC  
2015



## INSTALACIÓN DEL SIMULADOR

- LAS PRESENTACIONES QUE SE MUESTRAN A CONTINUACIÓN TIENEN COMO OBJETO AUXILIAR A LOS DOCENTES Y EDUCANDOS EN EL APARATO TEÓRICO Y PRÁCTICO NECESARIOS PARA COMPRENDER LOS RIESGOS ASOCIADOS AL CAMBIO CLIMÁTICO.
- COMO UNA HERRAMIENTA COMPLEMENTARIA SE PRESENTA EN LA 2DA PARTE DE ESTE MATERIAL EL PROGRAMA SIMENI-CC Ver. 1.5, EL QUE PUEDE SER INSTALADO EN SU ENTIDAD A TRAVÉS DEL MECANISMO QUE FACILITARÁ EL DR. ORESTES VALDÉS VALDÉS ([educamb@dct.rimed.cu](mailto:educamb@dct.rimed.cu))



## UNESCO La Habana

Oficina Regional de Cultura para América Latina y el Caribe  
Oficina de Representación para Cuba, República Dominicana y Aruba

Dra. Bárbara Garea.  
Rectora INSTEC

12 de octubre del 2015

**Asunto:** Reconocimiento por la elaboración del Simulador para la Enseñanza Interactiva del Cambio Climático (SIMENI-CC Ver 1.5)

Estimada Dra. Bárbara Garea:

Las Naciones Unidas se han planteado entre sus Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) el número 4, enfocado directamente a la Educación. Dicho objetivo plantea "Garantizar una educación inclusiva y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje permanente para todos". El logro de este objetivo implica cambiar paradigmas por cuanto significa educar para entender que no será posible un desarrollo humano sin un planeta en buen estado de salud. Entender los complejos procesos del cambio climático, sus interacciones, los impactos, riesgos, peligros, vulnerabilidades, acciones de adaptación y estrategias de mitigación, es un reto para profesores y educandos.

De hecho, el acceso a las tecnologías de la información y las comunicaciones (TICs) constituye una de las metas incluidas en el ODS 4. El empleo de las TICs, con todas sus potencialidades de modelación y representación de procesos, está llamado a ayudar activamente en la enseñanza de las comunidades para el logro de un desarrollo sostenible.

En este marco, un sistema dirigido a la modelación multifactorial de todos los contribuyentes participantes en los riesgos asociados al cambio climático puede ayudar a entender sus múltiples relaciones y a instruir a profesores y estudiantes, de manera activa, en el trabajo en un ambiente solidario, dirigido a identificar las necesidades de cooperación para asimilar y apoyar las acciones de adaptación y las estrategias de mitigación que serán indispensables para salvar al planeta.

El Simulador para la Enseñanza Interactiva del Cambio Climático (SIMENI-CC Ver 1.5), fue presentado en el año 2015 durante varias sesiones de talleres y seminarios, donde participaron cientos de profesores y directivos de las escuelas asociadas a la UNESCO en varias provincias del país.

SIMENI-CC presenta, de manera sencilla y amigable, los peligros climáticos, las vulnerabilidades, las acciones de adaptación y las estrategias de mitigación, que confluyen o confluirán en escenarios mundiales y regionales, para diferentes grados de calentamiento global. Su empleo prevé la definición preliminar de combinaciones de contribuyentes a evaluar de donde se obtienen mapas, animados con un sistema de colores progresivo, para representar los diferentes niveles de riesgo en cada zona del mundo o de impactos, para el caso de Cuba. Toda la información empleada ha sido obtenida desde documentos del Panel Intergubernamental para el cambio climático o desde bibliografías actualizadas sobre la temática para Cuba.

De esta forma, el sistema puede ser empleado en forma de un juego didáctico, para la enseñanza en las edades más tempranas, o de un programa más complejo, para explicación de fenómenos climáticos del planeta o la región, en niveles de enseñanza secundarios y preuniversitarios. En cada caso, la diferencia estará en manos del profesor que dará a los ejercicios el enfoque en problema que cada el nivel de enseñanza demande.

Considerando estas capacidades, la Oficina Regional de la UNESCO incluyó, en un CD divulgado en todo el sistema de escuelas asociadas a la UNESCO del país, una versión explicativa del código en cuestión, así como Instruyó, en el mismo material, los pasos necesarios para su instalación a plena escala.

La Oficina Regional de la UNESCO desea reconocer el arduo trabajo realizado por los autores y colaboradores, que laboraron en el desarrollo de este sistema informático, así como destacar su voluntad para propiciar la instalación del mismo en todas las escuelas de enseñanza primaria, secundaria y preuniversitaria del país.

  
Fernando Brugman  
Oficial a Cargo







## AVAL

El desarrollo sostenible es hoy una necesidad impostergable para salvar al planeta. Es necesario que esta idea se inculque desde la más temprana edad. En este sentido, Cuba se incorpora con ventaja, gracias a su mantenida política educacional inclusiva, al Objetivo de Desarrollo Sostenible No. 4 "Garantizar una educación inclusiva y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje permanente para todos", propugnado por la UNESCO en el 2015.

Las situaciones relacionadas con el calentamiento global y el cambio climático impactarán en Cuba de manera desigual, de acuerdo a los peligros y vulnerabilidades asociados con las diferentes zonas; sin embargo, el enfrentamiento a esta situación requiere de actitudes cooperativas que solo se lograrán en base a una cultura que involucre un conocimiento multidisciplinario y multifactorial sobre fenómenos muy complejos. Entender los procesos del cambio climático, sus interacciones, los impactos, riesgos, peligros, vulnerabilidades, adaptaciones y estrategias de mitigación, es un reto para profesores y educandos.

Las capacidades de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TICs) pueden ayudar a modelar y representar estos complejos procesos y de esta forma, contribuir activamente a la enseñanza de las comunidades para el logro de un desarrollo sostenible.

Como parte de los esfuerzos de enseñanza-aprendizaje de estos conocimientos, un grupo de profesores e investigadores de diferentes filiaciones (INTEC, MINED, UNESCO) realizaron esfuerzos para el desarrollo de un sistema informático capaz de integrar estas disímiles variables. Este sistema, identificado como Simulador para la Enseñanza Interactiva del Cambio Climático (SIMENI-CC Ver 1.5), fue presentado en el año 2015 durante varias sesiones de talleres y seminarios, donde participaron cientos de profesores y directivos del sistema de escuelas asociadas a la UNESCO en varias provincias del país.

SIMENI-CC fue concebido en base a información publicada por el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático y por bibliografías cubanas dedicadas a la temática de este fenómeno, sus impactos y el desarrollo sostenible. Utilizando una matriz de peligro-vulnerabilidad, el sistema informático es capaz de predecir, a partir de combinaciones preestablecidas de contribuyentes, los niveles de riesgo en escenarios mundiales o regionales.

De esta forma, el código puede ser empleado en forma de un juego didáctico, para la enseñanza en las edades más tempranas, o de un programa más complejo, para explicación de fenómenos climáticos del planeta o la región, en niveles de enseñanza secundarios y preuniversitarios. En cada caso, la diferencia estará en manos del docente que dará a los ejercicios el enfoque en problema que cada el nivel de enseñanza demande.

Considerando las capacidades del sistema y evaluando la versatilidad para su aplicación a diferentes niveles de enseñanza, la dirección del MINED desea expresar su satisfacción por la creación de una versión explicativa del sistema que ha sido divulgada, en el sistema de Escuelas Asociadas a la UNESCO del país, a través de un CD auspiciado por la Oficina Regional de dicho organismo en la Habana, así como agradecer la implementación del mecanismo que propicia la instalación del sistema a plena escala en las escuelas interesadas.

Por lo antes expresado la Dirección de Ciencia y Técnica del Ministerio de Educación, desea reconocer y avalar el importante trabajo realizado por los autores y colaboradores, que laboraron en el desarrollo del sistema informático SIMENI-CC Ver 1.5, que tiene posibilidades de ser introducido y generalizado, paulatinamente, a otras instituciones educativas seleccionadas en el país.

Y para que así conste, firma, el presente aval en La Habana, Cuba, a 22 de septiembre del 2016. Año 58 de la Revolución"

Dr.C. Orestes Valdés Valdés  
Profesor Titular  
Metodólogo Nacional  
Dirección de Ciencia y Técnica  
Ministerio de Educación




Dra. C. Eva Escalona Serrano  
Profesora Titular  
Directora Nacional  
Dirección de Ciencia y Técnica  
Ministerio de Educación



**Patentes otorgadas, certificados de autor, los registros que corresponden a nuevos productos y las copias de las publicaciones científicas**

**Certificados de derecho de autor y portada Manual de usuario de programas SIMENI-CC y MOSEG.**

AM 8:20 ABR/ 6/2015

 **CENDA**  
Centro Nacional de Derecho de Autor

*Registro Facultativo de Obras Protegidas y de Actos y Contratos referidos al Derecho de Autor*

**CERTIFICACION DE REGISTRO**

Licenciada Maria Teresa Otero Palacios, funcionaria encargada del Registro Facultativo de Obras Protegidas y de Actos y Contratos referidos al Derecho de Autor,

**CERTIFICO:**

Que la obra cuyos datos se consignan a continuación, aparece inscrita en el referido Registro con el número: 1160-03-2015.

**Título:** Simulador para la enseñanza interactiva de los riesgos asociados al cambio climático (SIMENI-CC) Ver. 1.5.

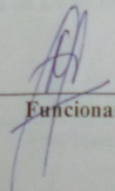
**Tipo de Obra:** Software.


**Breve descripción de la obra:** La obra es un sistema informático destinado a la medición de riesgo asociado al cambio climático, que parte de una matriz interdependiente de los contribuyentes al riesgo y un algoritmo recursivo para su evaluación.

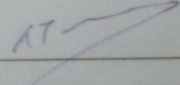
**Autor:** Antonio Torres Valle.

**Titular:** El Autor.

Dada en La Habana, a los 31 días del mes de marzo de 2015.

 **Funcionaria**

  
CENTRO NACIONAL DE DERECHO DE AUTOR  
SUBDIRECCIÓN  
REGISTRO DE OBRA

Recibo conforme: 

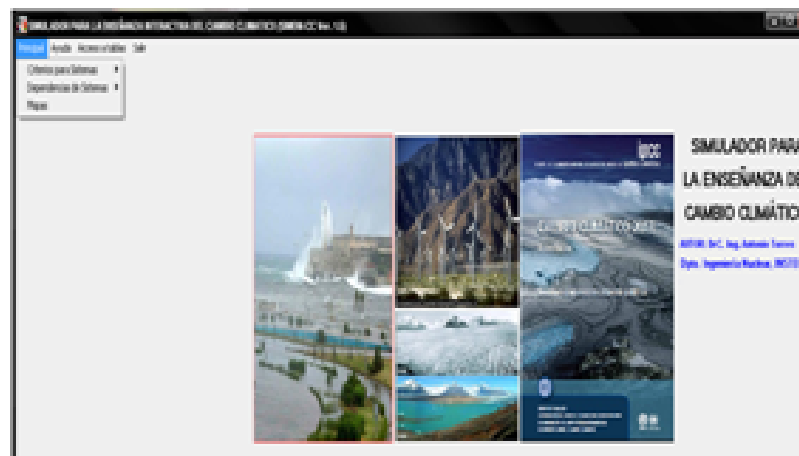
Para proteger la creación

Calle 15 N° 604 e/ B y C, Plaza de la Revolución, CP10400, La Habana, Cuba.  
Teléfonos: (53-7) 832 3571 – 72 Fax: (53-7) 833 2030 E-mail: [cenda@cenda.cu](mailto:cenda@cenda.cu)  
[www.cenda.cu](http://www.cenda.cu)

# **MANUAL DE USUARIO**

## **SIMENI-CC Ver. 1.5**

### **SIMULADOR PARA LA ENSEÑANZA INTERACTIVA DE LOS RIESGOS ASOCIADOS AL CAMBIO CLIMÁTICO**



**Dr. Antonio Torres Valle**

**2019**



**CENDA**

Centro Nacional de Derecho de Autor

Registro: 961 - 2003

**CERTIFICACION DE DEPOSITO LEGAL FACULTATIVO DE OBRAS PROTEGIDAS**

La que suscribe, Lic. Belkis Delgado Núñez, Especialista del Departamento Jurídico del Centro Nacional de Derecho de Autor, CENDA deja constancia de que, previa comprobación, ha sido admitida en el área de depósito legal de esta Institución la obra, protegida por la legislación vigente de Derecho de Autor en la República de Cuba cuyos pormenores se describen a continuación:

**Título:** "MOSEG Ver 1.0"

**Autor / (es):** Antonio Torres Valles; Jesús Rivero Oliva;  
Jesús Salomón Llanes; Margarita Piedra Díaz.

**Titular:** Instituto Superior de Ciencias y Tecnología Nucleares.

**Tipo de Obra:** Software.

**Características:** Programa destinado a la evaluación del mantenimiento en instalaciones o procesos con riesgo asociado a su explotación, partiendo de una combinación de indicadores. Los mismos abarcan áreas como la confiabilidad o el riesgo, la seguridad del personal durante las intervenciones y la disponibilidad de personal para realizar el mantenimiento.

El presente documento que otorga la fe pública del acto de creación. La existencia y la titularidad originaria en esta fecha de la obra descrita, sólo constituirán prueba de primera vista ante cualquier litigio respecto a la autoría y explotación de la misma.

Dado en Ciudad de La Habana, a los 10 días del mes de abril de 2003.



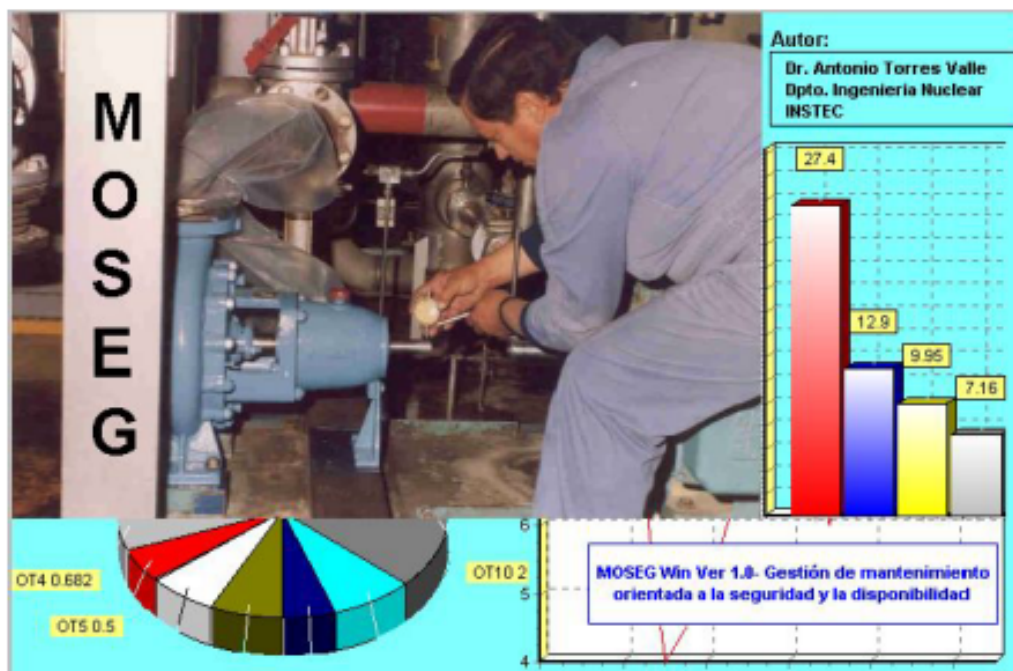
*P/O Refund*  
Autor

Para proteger la creación

Calle 15 N° 604 e/ B y C, Vedado, Ciudad de La Habana, Cuba, 10400. Apartado Postal 4521.  
Teléfono: (53-7) 832 3571 - 73 Fax: (53-7) 66 2030 E-mail: [centro@www.cenda.cu](mailto:centro@www.cenda.cu)  
<http://www.cenda.cu>

# MANUAL DE USUARIO

## CODIGO MOSEG WIN Ver. 2.0.



Preparado:

Dr. Prof. Ing. Antonio Torres.  
Dpto. Ingeniería Nuclear.  
Instituto Superior de Ciencias y Tecnología Aplicadas  
Email: [atorres@instec.cu](mailto:atorres@instec.cu)



## Evaluación de confiabilidad tecnológica del parque aerogenerador de Gibara 2

### EVALUATION OF TECHNOLOGICAL RELIABILITY OF WIND TURBINE FACILITY GIBARA 2

Antonio – Torres Valle  
Erich – Martínez Martín

Recibido: enero de 2015  
Aprobado: julio de 2015

#### RESUMEN/ABSTRACT

Las energías renovables, en particular la eólica, ocuparán un lugar importante en las próximas décadas, marcadas por el agotamiento de las fuentes de combustible fósil. En Cuba se prevé un crecimiento considerable en la utilización de estas fuentes energéticas. De ahí la importancia de crear las bases del uso de tecnologías confiables que garanticen tal misión futura. El artículo se propone como objetivo central, realizar el análisis de confiabilidad del parque eólico Gibara 2 partiendo del empleo de la metodología de árbol de fallos y recomendar algunas posibles aplicaciones de sus resultados. Un paso esencial en la investigación es la determinación de los componentes que participarán en el árbol de fallos y el procesamiento de la base de datos disponible en el parque Gibara 2. El documento tributa esencialmente a la identificación de los contribuyentes principales a la indisponibilidad de los parques y a la optimización de la política de mantenimiento.

**Palabras clave:** aerogenerador, árbol de fallos, confiabilidad, energía eólica, mantenimiento.

*Renewable energy, particularly wind, will occupy an important place in the coming decades, marked by the depletion of fossil fuel sources. In Cuba significant growth in the use of these energy sources is forecasted. For this reason is important the creation of reliable technology to ensure that future mission. The paper proposes as its central objective, the analysis of reliability of Wind Farm Gibara 2 starting from its representation based on the methodology of fault tree and to recommend some possible applications of the results. An essential step in the research is the determination of participating components in the fault tree and processing of the available reliability database at the Wind Farm Gibara 2. The document essentially helps in the identification of the main contributors to the unavailability of facilities and optimizing maintenance policy.*

**Key Words:** wind turbine, fault tree, reliability, wind energy, maintenance.

#### INTRODUCCIÓN

En el escenario mundial las energías renovables tendrán cada vez mayor impacto, destacándose en esta afirmación la energía eólica. Se prevé que para el año 2100, casi un tercio de la matriz energética mundial se base en energías renovables [1]. La figura 1, representa esta afirmación.



# Simulador para la enseñanza interactiva del riesgo de cambio climático

Antonio Torres Valle

correo electrónico: atorres@instec.cu

Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC), La Habana, Cuba

Artículo Original

Erich Martínez Martín

correo electrónico: erich@instec.cu

Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC), La Habana, Cuba.

## Resumen

El uso de simuladores constituye una buena práctica para la enseñanza o entrenamiento en la operación de procesos complejos. Este es el caso del cambio climático, el que tiene asociado múltiples fenómenos que no pueden ser reproducidos como prácticas aisladas de laboratorio. Los propios expertos del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC) han sugerido indicadores cualitativos para medir los componentes de este riesgo (peligro, vulnerabilidad y exposición) y, aún así, su complejidad es notable por la multi, inter y transdisciplinariedad de los conocimientos necesarios para su evaluación. Uno de los retos más importantes de la enseñanza de estos temas es la multiplicidad de combinaciones que pueden ocurrir por la variedad de entradas de los factores tributarios al riesgo en cada zona del mundo estudiada. Por ello, la presentación de un sistema matricial interdependiente que correlaciona las variables globales y regionales, relativas al riesgo del cambio climático y un sistema recursivo para su evaluación, constituyen las bases del simulador propuesto en este documento. El mismo ha sido probado con escenarios globales y regionales, los cuales se han incorporado al código informático desarrollado para la preparación de ejercicios didácticos preelaborados y como recomendación para la implementación de nuevos casos de estudio.

**Palabras claves:** cambio climático, mitigación, riesgo, variabilidad, vulnerabilidad

Recibido: 29 de enero de 2015

Aprobado: 26 de junio de 2015

## INTRODUCCIÓN

El uso de simuladores para la enseñanza o para el entrenamiento en la operación de procesos complejos es una modalidad común en las prácticas docentes [1].

En muchos casos, las posibilidades de un simulador garantizan el desarrollo de capacidades cognitivas y operativas sin incurrir en errores peligrosos, que pudieran derivarse del entrenamiento sobre objetivos reales, en el caso en que los mismos tuviesen implícitos riesgos operacionales. Estos son los casos de los simuladores de

operación de plantas nucleares, vuelos aéreos, manejo de submarinos, etc. [2].

De manera general, los simuladores ayudan al aprendizaje de los estudiantes de forma interactiva y motivadora, recurriendo al enfoque basado en problemas de la enseñanza, lo que propicia la independencia de los futuros profesionales en la toma de decisiones.

En el año 2009 Google Earth, como parte de una campaña para generar conciencia sobre el cambio climático (CC), se lanzó al desarrollo de un simulador

## ESTUDIO DE PERCEPCIÓN DE RIESGO ASOCIADO AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL SECTOR EDUCACIONAL

## STUDY ABOUT THE RISK PERCEPTION RELATED TO CLIMATE CHANGE IN THE EDUCATIONAL SECTOR

Antonio Torres Vañe<sup>1</sup>  
Bárbara Garea Moreda<sup>1</sup>  
Ulises Jáuregui Haza<sup>1</sup>  
Maritza Lau González<sup>2</sup>  
Orestes Valdés Valdés<sup>3</sup>  
Miguel Llivina Lavigne<sup>4</sup>

### RESUMEN

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático ha expresado en sus informes que la percepción del riesgo es un aspecto que debe ser tenido en cuenta en el diseño de políticas referidas a las medidas de adaptación y mitigación para atenuar este fenómeno global; sin embargo, la evaluación de este riesgo subjetivo no ha alcanzado un desarrollo similar a su par (riesgo) objetivo. **Objetivos:** Implementar y aplicar una metodología que permita el estudio de la percepción de riesgo asociada con el cambio climático y, consecuentemente, identificar las acciones correctivas requeridas. **Material y método:** El método se basa en el diseño de un grupo de variables, representativas de las temáticas que se desean evaluar, para las que se elaboran preguntas especializadas con respuestas cerradas, crecientes y unipolares. El balance de respuestas obtenidas se sistematiza a través de las variables, las que representan los Scores de percepción por individuo, por variable y para todo el grupo investigado. Para el procesamiento de este grupo de datos se utilizó el programa Riskpercep. La población seleccionada para el análisis incluyó a un grupo de profesores y dirigentes de las escuelas cubanas asociadas a la Unesco. **Resultados:** Las evaluaciones se estructuraron en forma de perfiles de riesgo percibido e histogramas, donde se aplica el principio de Pareto, para establecer prioridades y sobre cuya base se preparan planes específicos de capacitación. **Conclusión:** Los resultados avalan la subestimación del riesgo asociado al cambio climático en el grupo investigado. El artículo recomienda medidas específicas de formación clasificadas según las variables investigadas.

**Palabras clave:** cambio climático, peligros climáticos, adaptación, mitigación, riesgo objetivo, riesgo subjetivo, percepción de riesgo, encuestas

### ABSTRACT

The Intergovernmental Panel on Climatic Change has expressed in its reports that the risk perception is an aspect that should be kept in mind in the design of politicians referred to the measures of adaptation and mitigation to attenuate this global phenomenon; however, the evaluation of this subjective risk has not reached a similar development to its couple objective (risk). **Objectives:** To implement and to apply a methodology that allows the study of the risk perception associated with the climatic change and consequently, to identify the required actions of improvement.

**Method:** The method is based on the design of a group of variables, representative of the thematic that are wanted to evaluate, for those that specialized questions are elaborated with closed, growing and unidirectional answers. The balance of answers obtained for the whole investigated universe is systematized through the variables, those that represent the score of perception for individual, for variable and for the whole investigated group. For the prosecution of this diverse group of data the program RISKPERCEP was used. The population selected for the analysis included a group of professors and leaders of the Cuban schools associated to the UNESCO. **Results:** The evaluations are structured in form of profiles of perceived risk and histograms to establish priorities and on whose base gets ready specific plans of training. **Conclusion:** The results endorse the underestimate of the risk associated to the climatic change in the investigated group. The article recommends specific measures of formation classified according to the investigated variables.

**Keywords:** climatic change, climatic drivers, adaptation, mitigation, objective risk, subjective risk, risk perception, surveys

### INTRODUCCIÓN

Los esfuerzos para cuantificar el riesgo tienen sus bases modernas en el desarrollo de los métodos estadísticos que permitieron evaluar, inicialmente y de manera *postmortem*, las pérdidas humanas o materiales tras desastres naturales o tecnológicos.

El riesgo (R), en su definición más explícita, se concreta al producto de la frecuencia (F) de un tipo de evento peligroso por sus consecuencias (C)<sup>1</sup>.

$$R = F \cdot C$$

Mientras la frecuencia se cuantifica como sucesos por tiempo (ejemplo: accidentes por año), las consecuencias se miden en pérdidas por suceso (ejemplo: pesos/accidentes o

<sup>1</sup> Profesores Titulares. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, Ministerio de Educación Superior, La Habana, Cuba

<sup>2</sup> Profesor Auxiliar. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, Ministerio de Educación Superior, La Habana, Cuba

<sup>3</sup> Profesor Titular. Dirección de Ciencia y Técnica, Ministerio de Educación, La Habana, Cuba

<sup>4</sup> Profesor Titular. Oficina Regional de Cultura para América Latina y El Caribe, Unesco, La Habana, Cuba

### Correspondencia:

Dr. Antonio Torres Vañe  
Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, Ministerio de Educación Superior,  
Ave. Salvador Allende y Luaces, Quinta de los Molinos, Plaza, La Habana, Cuba  
Email: atorres@isctec.cu

- UNESCO, Educación y cambio climático, Riesgos asociados al cambio climático, Simulador 1 y 2, CD-UNESCO, ISBN 978-959-18-1041-0, La Habana, Cuba, 2015

Portada de CD divulgado en la red de escuelas asociadas a la UNESCO.





## Certificados de participación en eventos y FCT

  
V Congreso de Geografía Tropical  
V Congreso de Agricultura Tropical  
IV Congreso de Biodiversidad y Ecología Tropical  
IV Congreso de Meteorología Tropical  
I Coloquio de Derecho Ambiental y Forestal  
I Coloquio de Universidad y Geografía en el Mundo Contemporáneo

**CERTIFICADO**

Se otorga a: Antonio Torres Valle, Diego Rafael Ulloa López

Título del trabajo: *Sistema interactivo para el estudio de los riesgos sobre cambio climático. Cuba.*  
*GEO-107*

En la modalidad de:

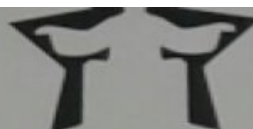
<input type="checkbox"/> Conferencia	<input type="checkbox"/> Presidente de sesión	Fecha: de junio de 2016
<input type="checkbox"/> Mesa Redonda	<input type="checkbox"/> Secretario de sesión	Hora: 09.00-14.00
<input type="checkbox"/> Panel	<input type="checkbox"/> Coordinador	Sala: 12
<input type="checkbox"/> Intervención Especial		

Tema Libre:

☒ Oral  
☐ Póster

  
Dr. Jorge A. Luis Machín  
Presidente Convención Trópico 2016

PM10:51 JUN/12/20



**Universidad 2016**  
10<sup>mo</sup> Congreso Internacional  
de Educación Superior

EL COMITÉ ORGANIZADOR OTORGA EL

# CERTIFICADO

A: Antonio Torres Valle, Erich Martínez Martín

por el trabajo o actividad titulada:

SIMULADOR PARA LA ENSEÑANZA DE LOS RIESGOS ASOCIADOS AL CAMBIO CLIMÁTICO

presentado en el Taller:

X Taller Internacional "Universidad, Medio Ambiente, Energía y Desarrollo Sostenible"

Dado en el Palacio de Convenciones de La Habana, Cuba  
del 15 al 19 de febrero del 2016



Dr. José Ramón Saborida Loidi  
Vice Presidente Ejecutivo  
Comité Organizador

Coordinador del Taller



# PEDAGOGÍA 2015

ENCUENTRO INTERNACIONAL POR LA UNIDAD DE LOS EDUCADORES

Palacio de Convenciones de La Habana  
26 al 30 de enero de 2015

## Certifico que:

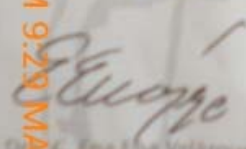
Dr. C. Antonio Torres Valle

es autor(es) del trabajo titulado:

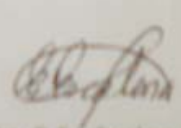
MEDIO AMBIENTE, CAMBIO CLIMÁTICO, DESASTRES Y  
EDUCACIÓN AMBIENTAL PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE

29 de enero de 2015

Fecha:

  
Dra. C. Eva Escalona Serrano  
Presidenta del Comité Organizador  
Ministerio de Educación, República de Cuba



  
Dra. C. Eva Escalona Serrano  
Presidenta Comité Científico



unicef



AM 9:29 MAY/30/2016

# Universidad 2014

## 9no Congreso Internacional de Educación Superior

*Taller de Didáctica y las Ciencias  
Básicas*

El Comité Organizador del Evento Provincial  
le otorga el

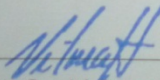
# CERTIFICADO

A: *Antonio Torres Valle*

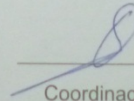
por su participación en calidad de: *autor*

*Oratoria: La didáctica en la  
enseñanza y la seguridad de  
los de la ingeniería: Retos y  
perspectivas.*

*Categoría: Vicerrector*



Presidente Comité Organizador



Coordinador del Taller



PRIMER COLOQUIO CIENTÍFICO INTERNACIONAL  
"CIENCIA, PENSAMIENTO Y ACCIÓN PARA UN FUTURO SUSTENTABLE"



# CERTIFICADO



A: Antonio Torres Valle

Por su participación como **POLENTE** con el trabajo:

El estudio de la percepción social del riesgo en el marco del desarrollo tecnológico sustentable.

Dado a los 25 días del mes de Abril de 2014

MsC. Yurama Cardet Chaveco  
Coordinadora

Dra. Bárbara Garea Moreda  
Rectora





*La Comisión Provincial del Fórum  
de Ciencia y Técnica*

*Otorga el presente*

**CERTIFICADO**

**A LA PONENCIA**

*Evaluación de Confiabilidad Tecnológica del parque de aerogeneradores  
de Gibara*

**De:** *Antonio Torres Valle*

*La que obtuvo la categoría*

**RELEVANTE**

*En el XVI Fórum Provincial*

"LA PATRIA Y EL SOCIALISMO SE HACEN  
COMO LO ESTAN HACIENDO USTEDES"  
FIDEL

Ciudad de La Habana, 23 de Noviembre del 2013

  
SECRETARIA EJECUTIVA



Comisión Municipal de Ciencia y Técnica  
Plaza de la Revolución  
Otorga el presente

## CERTIFICADO

A: Evaluación de confiabilidad tecnológica del parque de aerogeneradores Jibara

DE: Antonio Torres Valle

Por su Participación en XVI Forum de Ciencia y Técnica, en su 7ma etapa y haber obtenido:

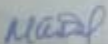
Categoría: **RELEVANTE**

... "El Fórum no es una institución administrativa, es un movimiento y un movimiento de integración..."

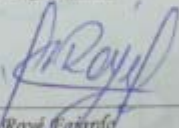
Fidel

Dado en La Habana, a los 26 días del mes de Nov del 2013

"Año 59 de la Revolución"

  
María Elena Delgado Mesa  
Secretaria Ejecutiva FORUM



  
Lic. Carlos Royé Fajardo  
Presidente de la Comisión de Ciencia y Técnica



Se otorga el presente:

## DIPLOMA


al trabajo:

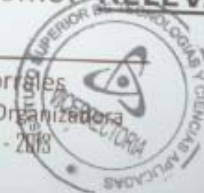
Evaluación de confiabilidad tecnológica del parque de  
aerogeneradores Gibara 2

de los autores:

Antonio Torres Valle,  
Manuel Perdomo Ojeda,  
Daniel Rodríguez López,  
Jesús Salomón Llanes,  
Diana Gisell Figueroa del Valle

Por haber sido seleccionado como: **RELEVANTE**

  
Dr. Yuri Aguilera Cortés  
Presidente de la Comisión Organizadora  
Fórum de base del InSTEC - 2018



## Portadas de tesis

<p><b>Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas</b></p> <p><b>Facultad de Ciencias y Tecnologías Nucleares</b></p> <p><b>Departamento de Ingeniería Nuclear.</b></p> <div></div> <p><b>Título de la Tesis</b></p> <p><i>Análisis de Confiabilidad del parque de aerogeneradores Gibara</i></p> <p><i>2 utilizando árboles de fallos</i></p> <p><b>Tesis presentada en opción al Título:</b></p> <p><i>Ingeniero en Tecnologías Nucleares y Energéticas.</i></p> <p><b>Autor:</b> Landis Pupo Alegría</p> <p><b>Tutor:</b> Dr. Antonio Torres Valle</p> <p><b>2013</b></p>
---

**Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas**

**Facultad de Ciencias y Tecnologías Nucleares**

**Departamento de Ingeniería Nuclear.**



**Simulación del Riesgo del Cambio Climático ante  
diferentes escenarios de empleo de energías  
renovables**

**Tesis de Diploma en Opción al Título:  
"Ingeniero en Tecnologías Nucleares y Energéticas".**

**Autor: Luis Daniel Gómez Chiong,**

**Tutor: Antonio Torres Valle**

**La Habana, 2017.**

Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InsTEC)

# **Análisis de confiabilidad tecnológica del parque eólico Los Canarreos**

Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias  
Aplicadas

Autor: Maylin Ceballos de la Torre

Tutor: Dr. Antonio Torres





**Dictamen de Órgano Científico** de la institución donde se discutió el trabajo acreditando su importancia y valor del aporte de resultado para la ciencia y la tecnología.



**Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas**  
**CONSEJO CIENTIFICO**

**DICTAMEN**

El Consejo Científico del Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC), de la Universidad de La Habana, ha analizado la propuesta del resultado de investigación “Los análisis de confiabilidad y riesgo como apoyo al desarrollo de la energía eólica en Cuba” del Dr.C. Antonio Torres Valle y un colectivo de autores, para su presentación como premio de la Academia de Ciencias de Cuba , 2017.

Al respecto, el Consejo Científico del InSTEC ha considerado lo siguiente:

- La propuesta incluye como elemento central los resultados del proyecto “Análisis de confiabilidad de parques eólicos de Cuba” que durante 3 años se ha ejecutado en los marcos del programa de Ciencia y Tecnología sobre Desarrollo Sostenible de la Energía Renovable , así como otros aspectos adicionales relacionados con ese tema. La evaluación del grupo de expertos del citado programa sobre el grado de completamiento y calidad de los resultados es muy positiva.
- Como resultado del proyecto, se ha realizado el análisis de confiabilidad tecnológica de los tres parques eólicos más importantes del país, o sea, Gibara 1 y Gibara 2 ,en Holguín, y Los Canarreos en Isla de la Juventud. Ello ha permitido poner en manos de las autoridades competentes una importante opción de análisis para tener en cuenta en las decisiones de selección de tecnologías que garanticen el futuro desarrollo eólico planificado, así como recomendaciones de gran valor para el seguimiento y mantenimiento de los equipos ya instalados.
- Además de su gran valor práctico, el trabajo ha sido desarrollado con alto nivel científico y rigurosidad.
- Esta investigación culmina con 4 certificados de introducción de resultados, varios artículos científicos en publicaciones del grupo II y materiales compilados en CD, varias participaciones en foros científico-técnicos (calificadas como Relevantes) y otros eventos y dos certificados de derecho de autor para dos de los códigos empleados en el marco de la investigación.



**Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas**  
**CONSEJO CIENTIFICO**

- El resultado fue premiado por la Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada como resultado destacado por su aporte científico y tecnológico en 2016.

Teniendo en cuenta los elementos anteriores, el Consejo Científico del InSTEC acordó avalar el resultado titulado “Los análisis de confiabilidad y riesgo como apoyo al desarrollo de la energía eólica en Cuba” para su presentación como Premio de la Academia de Ciencias de Cuba, 2017.

Y para que así conste, firmamos la presente a los 4 días del mes de octubre de 2017. “Año 59 de la Revolución”.

Dr.C. Oscar Díaz Rizo

Vice-presidente

Dr.C. Daniel Codorniu Pujals

Secretario



### **Avales de instituciones participantes.**

#### **Aval del INSTEC sobre participación de autores en la propuesta de premio ACC**

La Habana, 29 de septiembre de 2015

A quien pueda interesar:

Los autores de la investigación “Los análisis de confiabilidad y riesgo como apoyo al desarrollo de la energía eólica en Cuba” son trabajadores del INSTEC y han tenido la siguiente participación en la investigación:

#### **Participación porcentual**

<b>Nombre</b>	<b>Responsabilidad</b>	<b>% de participación</b>
Dr. Antonio Torres Valle	Jefe de proyecto	35
MS. Daniel Rodríguez López	participante	10
MS. Erich Martínez Martín	participante	10
Ing. Maylin Ceballos de la Torre	participante	7
Ing. Laudis Pupo Alegría	participante	7
Dr. Ulises Jauregui Haza	participante	6
Dra. Bárbara Garea Moreda	participante	5
MS. Maritza Lau González	participante	5
MS. Diego Ulloa López	participante	5

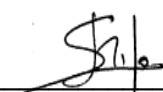
#### **Participación cualitativa**

<b>Nombre</b>	<b>Aporte</b>
Dr. Antonio Torres Valle	Es el jefe de proyecto nacional de investigación “Análisis de confiabilidad tecnológica de parques eólicos de Cuba”. Realizó la evaluación y síntesis de todos los resultados. Autor y programador de los códigos informáticos empleados en la investigación (MOSEG Win Ver. 5.0 y SIMENI-CC Ver. 1.5). Produjo los modelos sistémicos basados en árboles de fallos empleados para cada parque. Trabajó en la identificación de contribuyentes y en el ajuste estadístico de las bases de datos obtenidas para cada parque eólico. Dirigió las tesis de pregrado y postgrado relacionadas con el proyecto. Es coautor de todas las publicaciones realizadas y participaciones en eventos. Realizó las coordinaciones con INEL para informar los resultados, así como con la comisión de expertos que agrupa los proyectos en el programa nacional “Desarrollo sostenible de fuentes renovables”.

<b>Nombre</b>	<b>Aporte</b>
MS. Daniel Rodríguez López	Es coautor de varios artículos científicos y de presentaciones en eventos y fórum de ciencia y técnica. Ha trabajado esencialmente en los temas del análisis de confiabilidad de parques eólicos de Cuba.
MS. Erich Martínez Martín	Es coautor de varios artículos científicos y de presentaciones en eventos. Ha trabajado esencialmente en los temas del análisis de confiabilidad de parques eólicos de Cuba y en el ajuste del simulador de riesgos asociados al cambio climático.
Ing. Maylin Ceballos de la Torre	Es autora de la tesis de postgrado que acopió los datos del sistema SCADA en el emplazamiento Los Canarreos. Participó en el procesamiento estadístico de la información obtenida en dicho parque y en la obtención de los resultados del análisis de confiabilidad del mismo.
Ing. Laudis Pupo Alegría	Es autor de la tesis de grado que acopió los datos del sistema SCADA en el emplazamiento Gibara 2. Participó en el procesamiento estadístico de la información obtenida en dicho parque y en la obtención de los resultados del análisis de confiabilidad correspondiente. Su esfuerzo también ayudó en la obtención de los datos de Gibara 1.
Dr. Ulises Jauregui Haza	Es coautor del software SIMENI-CC y de artículos científicos y presentaciones en eventos. Realizó importantes sugerencias al diseño del sistema y a su validación como método de enseñanza.
Dra. Bárbara Garea Moreda	Es coautora del software SIMENI-CC y de artículos científicos y presentaciones en eventos. Facilitó importante documentación para el desarrollo y ajuste del simulador de riesgos asociados al cambio climático.
MS. Maritza Lau González	Es coautora del software SIMENI-CC y de artículos científicos y presentaciones en eventos. Realizó importantes sugerencias al diseño del sistema.
MS. Diego Ulloa López	Es coautor de presentaciones en eventos. Sus conocimientos y sugerencias han potenciado al simulador de riesgos asociados al cambio climático, fundamentalmente con información a nivel de localidades en Cuba.

Y para que así conste, firma el presente aval



  
**Dr. Jesús Rubayo Soneira**  
**Decano FCTN, INTEC**



### **Aval de la Oficina de la UNESCO y el Dpto. de Ciencia y Técnica de MINED**

Estos avales aparecen como parte de los certificados emitidos por las correspondientes entidades. Están contenidos en el marco de este documento.

El otorgamiento del Premio AENTA 2016, contenido en esta propuesta, ha diferenciado como organismos participantes a estas dos entidades.

**Valoración del resultado por parte del Consejo Técnico Asesor** del Organismo de la administración del Estado u Órgano superior de dirección empresarial, OACE u OSDE **al cual pertenece la entidad que lo presenta** o del Consejo Técnico Asesor del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente



Habana, 12 de mayo de 2016

"Año 58 de la Revolución"

**Asunto:** Reunión de conclusión de proyecto "Análisis de confiabilidad tecnológica de parques eólicos de Cuba"

En reunión técnica sostenida entre especialistas del InSTEC, ejecutores del proyecto de referencia y especialistas de INEL, contraparte del proyecto, se analizó la marcha del proyecto, el cual concluye con el análisis de los tres parques eólicos seleccionados en Cuba (Gibara 1, Gibara 2 y Los Canarreos), arribándose a las siguientes valoraciones:

- Se consideran como pautas adecuadas para futuros análisis de confiabilidad de tecnologías de producción de energía con base eólica, las establecidas por el proyecto.
- Se reconoce la validez de los resultados respecto a las contribuciones más importantes obtenidas a nivel de parques, por máquinas y por causas derivadas de eventos meteorológicos extremos e inestabilidades del SEN. Se avalan los hallazgos sobre la importancia del sistema eléctrico y la electrónica de control para la tecnología GAMESA, la electrónica de control para la tecnología GOLDWIND y los sistemas de orientación y de frenos para la tecnología VERGNET.
- Se valoran como positivas las recomendaciones técnicas sobre confiabilidad tecnológica que el estudio ha aportado para las decisiones futuras que se tomen respecto al tipo de equipamiento a utilizar en el desarrollo energético con base eólica que se prevé en el país. De manera inmediata, los resultados obtenidos para GOLDWIND (tecnología empleada en el emplazamiento Herradura 1) deben constituir patrón de referencia.

Finalmente, le fue entregado a la empresa INEL, por parte del InSTEC, el informe final del proyecto en el que se detallan los resultados más importantes obtenidos en los tres años de trabajo (2014-2016).



MsC. Ing. Andrés Espino Ares

Contraparte

Directo FRE, INEL



Dr. Antonio Torres Valle

Jefe de proyecto

Dpto. Ingeniería Nuclear, InSTEC

Acta de aval de grupo de expertos del Programa Nacional de Desarrollo Sostenible de FRE.

**Programa: “Desarrollo Sostenibles de las Energías Renovables”**

**REUNION GRUPO DE EXPERTOS.  
ACTA NO 7**

**Fecha: Septiembre 29 y 30 2016**

**Lugar: CUBAENERGIA**

**Preside:** Manuel Álvarez González  
Gestor PROGRAMA

**Expertos Presentes:**

- |                              |                                       |
|------------------------------|---------------------------------------|
| • Manuel Álvarez González    | Experto energía solar térmica         |
| • Antonio Valdés Delgado     | Experto biomasa..                     |
| • David de los Ángeles Pérez | Experto en FRE.,                      |
| • Oscar Leandro Jiménez      | Experto Bioenergía, gasif.. y alcohol |
| • Marlenis Aguila            | Experta Dir. FRE MINEM                |
| • Luis Berriz                | Experto en FRE.,                      |
| • Jose Villaroel             | Experto Energia transporte            |
| • Antonio Sarmiento          | Experto energía solar fotovoltaica    |
| • Elena Vigil                | Experta en materiales                 |
| • Jorge Isaac                | Experto en ener gias renovables       |

**Invitados y ponentes.**

Alfredo Roque	INSMET
Israel Borrajero	INSMET
Enrique Viant	CUBAENERGIA
Antonio Torres	INTEC
Yoel Suarez	CUBAENERGIA
Demetrio Diaz	UNAH
Aliet Achkerman	INSMET
Raul Torres	MES
Teresa Frazer	I Suelos
Arturo Martinez	UNAH
Armando Plasencia	ICIMAF
Yanoy Morejon	UNAH
Jose Luis Perez	CITMA

## **Orden del día**

### **A.- SITUACION DE LA MARCHA DEL PROGRAMA**

**Se inicia la sesión de trabajo del Grupo de Expertos mediante la intervención del Dr Antonio Valdes Secretario Ejecutivo del Programa donde informa que se han recibido 61 proyectos, de ellos 16 se iniciaron en el año 2014.,se adicionaron 8 en el 2015, se adicionaron 6 en el 2016 y se han recibido 3 proyectos para el 2017**

**El Dr. Manuel Álvarez González Gestor PROGRAMA explica sobre la convocatoria a proyectos para el 2018 y se aprueba que se realice la convocatoria para abarcar todos los objetivos específicos indicados en el programa.**

### **B.- Presentación Informe Final proyecto Análisis de confiabilidad tecnológica de parques eólicos de Cuba P211LH003-023 INSTEC Jefe proyecto el Dr Antonio Torres**

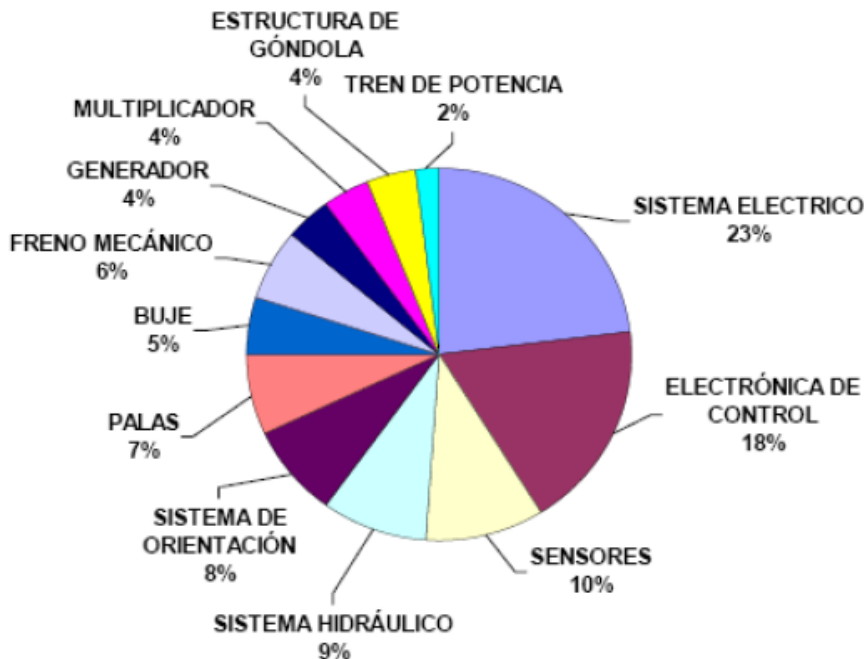
**Se inicia la sesión con la indicación por parte del Secretario del Programa por CUBAENERGIA de la existencia de los avales del cliente y consejo científico del INSTEC siendo positivo su dictamen y se indico que se podía proceder a la presentación del informe final del proyecto al cumplirse los requerimientos estipulados por el CITMA.**

**Se procedió a realizar la presentación del informe final por parte del jefe del proyecto el Dr Antonio Torres y se realizaron las oponentias del Dr. Conrado Moreno y del Profesor Instructor Edgardo Soler Torres y del Dr. Carlos García Hernández.**

**El objetivo general del proyecto consistió en Optimizar la explotación de los parques eólicos de Cuba a partir de los resultados de los análisis de confiabilidad correspondientes y como Objetivos Específicos:**

- Clasificar los componentes que participarán en la modelación partiendo del estudio de los modelos típicos de aerogeneradores existentes en los parques (incluye revisión bibliográfica de documentos existentes en el país y de bibliografía internacional).
- Identificar las fuentes genéricas de datos de fallos aplicables a cada tecnología de los aerogeneradores existentes en el país (incluye revisión bibliográfica internacional).
- Diseñar un procedimiento de filtrado de datos acopiados en los parques eólico de Cuba, según sus particularidades, para aprovechar la experiencia específica sobre datos de fallos e indisponibilidades de la que se dispone en cada caso.
- Recopilar y agrupar convenientemente los datos de fallos para cada uno de los componentes que se usará en la modelación.
- Establecer las diferentes configuraciones de explotación que se modelará en cada parque eólico.
- Modelar utilizando la metodología de árbol de fallos las configuraciones de explotación de los parques eólico, anteriormente definidas.
- Realizar el análisis de confiabilidad de los parques eólico objeto de estudio
- Proponer aplicaciones de optimización de la explotación partiendo de los análisis realizados

**Se indicaron como aspectos principales obtenidos:**



**Gráfico de distribución de fallos por componentes**

### **Conclusiones del estudio para el parque eólico Gibara 1**

El estudio realizado demuestra que es posible la modelación sistémica del parque aerogenerador Gibara 1, utilizando el método de Árbol de Fallos (AF), a lo que se ha unido el análisis estadístico de datos del emplazamiento y la información mundial recopilada sobre fallos de aerogeneradores. La clasificación de componentes constituye un avance sensible en la modelación y sienta las bases del procedimiento a seguir para la obtención de la base de datos.

La preparación del árbol de fallos del parque ha previsto el mantenimiento de una máquina cada vez, lo que garantiza una política de mantenimiento adecuada y reduce las indisponibilidades por coincidencia de mantenimientos planificados.

Un aporte importante del estudio es la generación de un procedimiento para tratar los datos acopiados en los parques aerogeneradores y convertirlos en fuentes útiles para los análisis de confiabilidad.

Finalmente, resultan trascendentes las aplicaciones realizadas que, basadas en los estudios de contribución individual, centran la atención en los aportes del sistema eléctrico, los sensores y la electrónica de control. Estas cuestiones coinciden en esencia con lo reportado en la bibliografía consultada.

Todas las tareas incluidas en el análisis de este parque corresponden a los 8 objetivos específicos previstos para el parque de aerogeneradores Gibara 1, lo que cubre las dos etapas previstas para este emplazamiento.

### **Conclusiones del estudio para el parque eólico Gibara 2**

De manera similar al caso anterior, el estudio realizado demuestra que es posible la modelación sistémica del parque aerogenerador Gibara 2.

Resultan trascendentes las aplicaciones realizadas que, basadas en los estudios de contribución individual, centran la atención en los aportes de la electrónica de control. Dada la importancia de este hallazgo se decidió realizar un análisis particular para esta tecnología, por lo que se encomendó esta tarea al centro ICIMAF, especializado en el diseño y estudio de este tipo de equipamiento (Adjunto 2).

Todas las tareas incluidas en este caso corresponden a los 8 objetivos específicos previstos para el parque de aerogeneradores Gibara 2, lo que cubre las dos etapas previstas para este emplazamiento.



## **Conclusiones del estudio para el parque eólico Los Canarreos**

Un aporte distintivo del estudio es la generación de un procedimiento para tratar los datos acopiados en el parque aerogenerador de Los Canarreos, el cual contiene particularidades que lo diferencian de los dos restantes parques.

Todas las tareas incluidas en este reporte corresponden a los 8 objetivos específicos previstos para el parque eólico de Los Canarreos, lo que cubre las dos etapas previstas para este emplazamiento.

Como mostraron los resultados más importantes ilustrados, mientras los eventos meteorológicos son la causa fundamental de indisponibilidad general del parque, los sistemas de orientación, de frenado e hidráulico constituyen los contribuyentes esenciales por cada máquina.

## **Conclusiones finales de los análisis de confiabilidad tecnológica de los parques eólicos de Cuba**

El uso de análisis de confiabilidad con enfoque sistémico (a través de árboles de fallos), basados en datos propios de los parques, ha sido una constante durante el proyecto nacional "Análisis de confiabilidad tecnológica de parques eólicos en Cuba". En todos los estudios la aplicación del principio de Pareto para deducir contribuyentes principales y medidas correctivas, también han sido una guía permanente.

La figura siguiente muestra una comparación de resultados, a través de tres histogramas de contribución de los fallos, para las partes componentes de las tres tecnologías evaluadas.

El estudio permite determinar debilidades de cada tecnología. Llama la atención que la electrónica de control, aunque con menos importancia en GAMESA respecto a GOLWIND, resulta un contribuyente a tener en cuenta en estos dos casos.

En el caso de Los Canarreos (tecnología VERGNET) la importancia de los componentes mecánicos vuelve a tomar trascendencia, tal como lo reporta la bibliografía internacional. Aunque sin grandes éxitos, la única de las tecnologías que ha previsto el enfrentamiento a fenómenos meteorológicos extremos mediante su abatimiento, es la del parque de Isla de la Juventud.

La no coincidencia de factores externos como factores meteorológicos y fallos de la red entre los tres casos, debe considerarse con cautela, pues se debe a los períodos tomados de la base de datos, y afecta por igual a cualquiera de los parques.

El fortalecimiento del SEN en las zonas de emplazamiento deberá ser un paso fundamental en los futuros desarrollos de este tipo de fuente. La participación de las inestabilidades de la red (por causas antropogénicas) en la disponibilidad de los parques han sido muy importantes.

La contribución de los eventos meteorológicos a la indisponibilidad de los parques, así como a su más lenta recuperación tras los efectos de los fenómenos, es otra enseñanza que deberá sacarse de los análisis. Será esencial, para futuros emplazamientos tener en cuenta estudios detallados que prevean todas las variantes y combinaciones de eventos externos que correspondan a cada caso.

Finalmente, la utilización de técnicas de predictivo, cuando la característica de los contribuyentes lo permita resultará esencial en los futuros desarrollos de este tipo de energía renovable.

Debe resaltarse que, si fuese a tomarse como único factor de decisión, las ventajas técnicas de las variantes analizadas, la tecnología GAMESA puede considerarse superior a la GOLWIND y a VERGNET.

Teniendo en cuenta que los futuros desarrollos mediatos de energía eólica, como el parque de Herradura 1, ya han sido decididos en base a tecnología GOLWIND, resulta elemental que los resultados del proyecto se hacen más importantes por cuanto existen debilidades ya

reconocidas en el mismo para esta variante de equipamiento. Debe argumentarse, que tal decisión también tiene como base las posibilidades de financiamiento ofrecidas por la parte china

**Acuerdo 47 Se aprueba el Informe Final siendo importante los resultados obtenidos. Se recomienda sostener una sesión de trabajo entre diferentes centros que trabajan en la temática para estudiar y proponer el manual a utilizar por la UNE para la operación de estos equipos**

#### **C.- CONTROL DE LA MARCHA DE LOS PROYECTOS EN EJECUCIÓN PARA SU DISCUSIÓN Y APROBACIÓN.**

El Co Antonio Valdes Secretario del Programa por parte de CUBAENERGIA da inicio a la sesión de las presentaciones por parte de los jefes de proyecto de las tareas programas del año 2016.

No	Nombre y código proyecto. Observaciones y acuerdos.
1	<p><b><u>Pronóstico de la radiación solar y potencia a generar en las plantas fotovoltaicas conectadas a red eléctrica nacional. P211LH003-001 INSMET</u></b></p> <p>Se cuenta con un compendio de datos de la nubosidad a partir de los modelos considerados y se tiene mejor calculo del estudio de la nubosidad. Se evaluó la nubosidad tomadas en el modelo vs el calculo de radiación (nubosidad vs velocidad)</p> <p>Se continuo con las mediciones satelitales y se recomienda determinar la energía que se esta generando en lo parques ya instalados contra la energía que se había planificado obtener, igualmente se recomendó revisar con la UNE la ubicación de los nuevos parques proyectados en función de los datos históricos de irradiancia.</p> <p>Se desarrolla el modelo numérico para estado de la atmosfera a 24-72 horas con indicadores de temperatura, presión, nubosidad, ,se necesita separar la radiación difusa de la directa, se puede tener un error del 30 al 40 %, se trabajo a 9 km y se trabaja a 3 km.</p>
2	<p><b><u>Desarrollo tecnológico de un secador solar para productos agropecuarios. P211LH003-022 CUBAENERGIA</u></b></p> <p>Se indico por el jefe del proyecto que el secado de plantas medicinales y condimentos no son de interés al MINAG, se trabaja la tecnología para el secado de la Salicornia (esparrago de sal) que se da en las salinas y tiene propiedades como sazoador.-sustituye la sal lo que es mejor para la salud, además contiene otros minerales, se propuso se contacte con el INIFAT para intercambiar experiencias de secado. -</p>

<p><b><u>3 Desarrollo de un secador solar para la producción de granos a pequeña escala. P211LH003-008 Centro Mecanización Agropecuaria UNAH</u></b>  Se realizaron pruebas demostrativas a productores del prototipo desarrollado, se necesita determinar los costos del secador y del secado de diferentes productos así como se expongan las características del prototipo del secador..  <b><u>ACUERDO 48.- Se realice por parte del jefe del proyecto una valoración de la cronología de empleo del secador en el año de forma tal que permita su mayor tiempo de utilización independiente a cultivos que se puedan secar en todo el año</u></b>  <b><u>ACUERDO 49.- Se determine por parte del jefe del proyecto los posibles constructores del secador para su posterior comercialización</u></b>  <b><u>ACUERDO 50 Se propone hacer una sesión de trabajo con GESIME , para determinar que hacer, para su producción y eventual generalización..</u></b>  <b><u>ACUERDO 51 Se recomienda organizar un taller nacional de secado</u></b></p>
<p><b><u>4 Investigación, desarrollo, innovación tecnológica y docencia de sistemas de control de aerogeneradores. P211LH003-016 ICIMAF</u></b>  <b><u>Se trabajo en el sistema de control para un pequeño aereogenerador de 400 watt.</u></b></p>
<p><b><u>5 Desarrollo de una tecnología para la producción de biodiesel de residuos agroindustriales lignocelulósicos P211LH003-007 Universidad Camagüey</u></b>  <b><u>Se continuó con el trabajo sobre la producción de lipasas.</u></b></p>
<p><b><u>6 Estudio de pre-tratamientos básicos y especiales para mejorar la producción y alidad del biogás. P211LH003-010 UCLV</u></b>  <b><u>No se presento el investigador por dificultades del transporte</u></b></p>
<p><b><u>7 Valoración de los distintos escenarios para la obtención y utilización del hidrógeno como combustible alternativo en motores de combustión interna (MCI) y para la generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables de energía. P211LH003-026 CETER CUJAE</u></b>  <b><u>No asistió el jefe del proyecto</u></b></p>
<p><b><u>8 Vigilancia Estratégica de las fuentes renovables de energía P211LH003-029 CUBAENERGIA</u></b>  <b><u>No asistió el jefe del proyecto</u></b></p>
<p><b><u>9 Celdas solares basadas en nanomateriales IMRE P211LH003-031</u></b> <b><u>Se inicio el proyecto y se recomendó se contactase con la institución que estudia los nanomateriales en el país para ver el apoyo posible a brindar al proyecto.</u></b></p>
<p><b><u>10 Resistencia al clima tropical de paneles solares FV de producción nacional y recubrimientos utilizados en su estructura metálica P211LH003-032</u></b> <b><u>Se iniciaron ensayos climáticos, paramétricos y mecánicos en paneles solares FV: inspección visual, ensayo de aislamiento, funcionamiento en CEM. ensayo continuo de calor húmedo y ensayo de carga mecánica</u></b></p>
<p><b><u>11 Medición y análisis de la variabilidad a corto plazo de la potencia de salida de los sistemas fotovoltaicos de conexión a red y su influencia en la estabilidad de la red eléctrica con el incremento de la penetración fotovoltaica. IMRE P211LH003-034</u></b> <b><u>No asistió el jefe del proyecto</u></b></p>
<p><b><u>12 Diseño y montaje de prototipos de baterías ión-li para el almacenamiento de energía eléctrica IMRE P211LH003-035</u></b> <b><u>Se continuo el trabajo sobre el desarrollo de la batería.</u></b></p>
<p><b><u>13 Caracterización de las potencialidades energéticas de los mares</u></b></p>

<p>circundantes a Cuba. <u>P211LH003-036 INSMET</u> Se trabaja en las variables, bases de datos y metodologías para la evaluación de las potencialidades, Determinar para las fuentes de energía aprovechables a partir del mar, que variables meteorológicas y oceanográficas son necesarias al realizar un análisis particular de cada una, definir los modelos matemáticos a emplear para la caracterización de las corrientes y del oleaje.</p>
<p><b>14 Caracterización y uso de residuos orgánicos derivados del proceso de digestión anaerobia como un producto orgánico y mejorador de suelos</b>  <u>P211LH003-037 INSTITUTO SUELOS</u> Se tomaron muestras del efluente líquido y sólido de los biodigestores del IIP y La Finca La Inesita en Pedro Pí, estas se enviaron al laboratorio del IIP y al INHEP para su caracterización química y microbiológica; además, se muestreo el suelo en este lugar donde se cultivan fundamentalmente ajo y tomate y se enviaron al laboratorio de suelos de Matanzas para su caracterización química. El efluente líquido no presentan signos de contaminación por microorganismos patógenos perjudiciales para la salud humana aunque se recomienda su monitoreo constante. El efluente fue evaluado como enmienda orgánica en los cultivo de ajo y tomate para demostrar científicamente su comportamiento en los indicadores de rendimientos de ambos cultivos, reflejando en este sentido resultados positivos en cuanto al peso del bulbo, número y peso del fruto con un rendimiento beneficioso de 5.74 y 72.88 kg.ha<sup>-1</sup> respectivamente con las mayores aplicaciones de efluentes superando al testigo en 1.84 y 19.4 kg.ha<sup>-1</sup> en ambos cultivos. La aplicación de efluente como enmienda orgánica incidió positivamente en el comportamiento de los indicadores químicos del suelo y contribuyó de manera favorable en la productividad agrícola del cultivo del ajo y el tomate,</p>
<p><b>15 Evaluación y modelación de los parámetros de operación de gasificadores de biomasa de lecho descendente</b> <u>P211LH003-039 CUBAENERGIA</u> No asistió el jefe del proyecto</p>
<p><b>16 Contribución al abasto de agua a pequeñas comunidades</b> <u>P211LH003-047 CUBAENERGIA</u> No asistió el jefe del proyecto</p>
<p><b>17 Evaluación del impacto de vientos extremos sobre baterías de paneles fotovoltaicos</b> <u>P211LH003-045 UNAH</u> Se indico la existencia de un túnel de viento en el ITM que hay que analizar si este permite realizar todas las pruebas que se necesitan, Además se recomendó se elaborase el diseño del experimento y se presente para su análisis con los colegas del MINDUS</p>
<p><b>18 Evaluación de potencialidades energéticas de especies forestales de Cuba</b> <u>P211LH003-046 IIF</u> Se desarrollan especies con fines energéticos para poder contar con cultivos energéticos como fuente de biomasa para las bioelectricas,,se analizan las especies en correspondencia a los tipos de suelos.</p>
<p><b>19 Desarrollo de un sistema de MICRORED INTELIGENTE con la utilización de multi-tecnologías energéticas renovables para lugares aislados o para circuitos cerrados</b> <u>P211LH003-048 CUBAENERGIA</u> Se confecciono el Informe sobre el Estado del Arte de las micro redes inteligentes. Se dispone de un convenio de colaboración con el Instituto Politécnico de Braganza Portugal y se trabaja en un convenio con el CIEMAT de España. Se inicio el estudio sobre los sistemas de control de las Microredes.</p>
<p><b>20 Elaboración e implementación de pronósticos energéticos para parques eólicos basados en enfoques físicos y estadísticos</b> <u>P211LH003-052 INSMET</u>  Se inicio el proyecto y se necesitan los datos de operación de los parques sin esta información no se puede desarrollar el proyecto. Se indica que se considera importante</p>

que cada parque cuente con su propia torre de medición.
<b>21 Las energías renovables y su impacto en la reducción de las brechas de género en proyectos comunitarios y familiares. <u>P211LH003-056</u></b> <b>CUBAENERGIA No asistió el jefe del proyecto</b>
<b>22 Creación de Visita Virtual Interactiva a Instalación de Tecnologías Energía Renovable <u>P211LH003-057</u> CUBAENERGIA No asistió el jefe del proyecto</b>
<b>23 Contribución al desarrollo de modelos de gestión energética municipal. Fase II <u>P211LH003-011</u> CUBAENERGIA Se trabajo en la elaboración de las herramientas y metodologías para la implementación de la gestión energética municipal</b>
<b>24 Evaluación de externalidades ambientales de tecnologías energéticas en Cuba <u>P211LH003-017</u> CUBAENERGIA Se recomendo se revisase la información que se expuso sobre las bioelectricas. Se presento</b>
<b>25 Desarrollo de modelos energéticos sostenibles a partir de la biomasa que integren la producción de energía y alimentos en áreas rurales de Cuba <u>P211LH003-028</u> Estación Experimental Indio Hatuey No asistió el jefe del proyecto</b>

**El proyecto Desarrollo de pequeño aerogenerador para zonas aisladas. Del Centro de Desarrollo de la Maquinaria Agrícola (CEDEMA). P211LH003-053 y el proyecto Desarrollo de un prototipo pequeño aerogenerador de 1 kw. De la Universidad Camaguey P211LH003-058**

**Están pendiente de la aprobación por parte del MINEM**

**Igualmente los proyectos presentados para su inicio en el año 2017**

- **Evaluación de alternativas para el desarrollo energético sostenible de la Empresa Azucarera Villa Clara**
- **Fortalecimiento de las capacidades para la evaluación del potencial eólico e hídrico, para el bombeo de agua con molinos de viento en la provincia Sancti Spíritus**
- **Estrategia de diagnóstico de fallos en Parques Fotovoltaicos**

**Están pendientes de la aprobación del MINEM**

**Siendo las 15:00 horas se dio por terminada la sesiones de trabajo del grupo de expertos.**



## ANEXO 12

### Modelo de la Evaluación Final (oponencia) de Proyecto

#### Evaluación Final de Resultados por Etapas y del Proyecto.

**Identificación del Proyecto:** Análisis de confiabilidad tecnológica de parques eólicos en Cuba  
**Código:** P211LH003-023  
**Entidad ejecutora principal:** INSTITUTO SUPERIOR DE TECNOLOGIA Y CIENCIAS APLICADAS (InSTEC)

#### **Cumplimiento de los objetivos.**

El objetivo principal del proyecto considero que se ha cumplido con creces y con un gran grado de profundidad

#### **Rigor científico de los resultados obtenidos:**

#### **Nivel de actualización de los resultados.**

Los resultados son de gran actualidad en nuestro país por cuanto es un tema en el que debe profundizarse y preparar recursos humanos en este tema.

**Impacto:** Valoración de los impactos de los resultados del proyecto respecto a los esperados

Los impactos que han resultado en mi opinión están por encima de lo esperado. Se cumplieron las etapas planificada, se presentaron los resultados en eventos científicos, se publicaron los resultados (4 artículos), un software con derecho de autor entre otros.

**Generalización:** Valoración del nivel de generalización (grado de introducción)

Los resultados fueron alcanzados en parques eólicos que operan en el país por lo tanto su generalización esta intrínseca en el trabajo. Son resultados de alta importancia por los problemas que se han presentado con la operación y mantenimiento de los parques existentes.

**Conclusiones:** Precisar la aprobación o no del informe

Se aprueba el informe

**Recomendaciones:** Acciones de continuidad que se proponen

Debe dársele seguimiento a este tipo de trabajo por la gran necesidad que hay en el país de formar recursos humanos en este campo

**Fecha y firma del evaluador 13 junio 2016**