

## Sistema de información georreferenciada para análisis de datos eólicos

CRUZ-JIMÉNEZ, Braulio\*†, CONTRERAS-RIVERO, Jannette, RICALDE-CASTELLANOS, Luis, ATOCHE, Alejandro y VALES-PINZÓN, Caridad.

*Universidad Autónoma de Yucatán - Facultad de Ingeniería*

Recibido Enero 4, 2016; Aceptado Marzo 7, 2016

### Resumen

En el presente trabajo se desarrolla un sistema de información orientado a la web, analizando datos eólicos georreferenciados mediante la implementación de un gestor de bases de datos. El sistema es capaz de almacenar, organizar y analizar toda la información eólica generada en diferentes puntos geográficos de la ciudad de Mérida y parte de su zona costera, el sistema cuenta con una interface de mapas geográficos en los cuales el usuario puede marcar un punto geográfico en particular y asociar a dicho punto la cantidad de información deseada. Los datos se organizan en un sistema de bases de datos de manera tal que puedan asociarse a puntos georreferenciados que distingan claramente el origen de los mismos. Tener a disposición un sistema de estas características permite la obtención de datos eólicos locales de manera formal, eficiente y efectiva, lo cual representa un apoyo tecnológico para investigadores y/o desarrolladores de software vinculados con el estudio de datos eólicos mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

### Bases de datos, datos eólicos, gestión, información geográfica

**Citación:** CRUZ-JIMÉNEZ, Braulio, CONTRERAS-RIVERO, Jannette, RICALDE-CASTELLANOS, Luis, ATOCHE, Alejandro y VALES-PINZÓN, Caridad. Sistema de información georreferenciada para análisis de datos eólicos. Revista de Sistemas Computacionales y TIC'S 2016, 2-3: 45-52

### Abstract

In this paper an information system web oriented was develop, analyzing georeferenced wind data by implementing a database manager. The system is able to store, organize and analyze all wind information generated in different geographical locations of the city of Merida and part of the coastal area, it has an interface of geographical maps in which the user can mark a geographical point in particular and associated to that point the amount of information desired. The data is organized in a database system so that they can be associated with georeferenced points that clearly distinguish the origin of them. Have available a system like this allows obtain formal local wind data, in an efficient and effective manner, which represents a technological support to researchers and/or software developers involved in the study of wind data using Geographic Information Systems (GIS).

### Data bases, eolic data, managment, geographic information

\* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: braulio.cruz@correo.uady.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

El uso de los combustibles fósiles y el agotamiento acelerado de estos recursos son dos tendencias que influyen negativamente en las características socioeconómicas de los países; Para satisfacer la demanda de electricidad hay que buscar nuevas fuentes de energía que produzcan un menor impacto ambiental y utilizar de manera eficiente las ya conocidas implementando políticas racionales de ahorro energético que disminuyan las exigencias para los sistemas de generación [10]. La energía eólica es una variante de la energía solar, pues se deriva del calentamiento diferencial de la atmósfera y de las irregularidades de relieve de la superficie terrestre. La energía eólica podría proporcionar cinco veces más electricidad que el total consumido en todo el mundo, sin afectar a las zonas con mayor valor ambiental. La energía eólica no contamina y su impacto ambiental es muy pequeño comparado con otras fuentes energéticas. De ahí la necesidad de acelerar su implantación en localizaciones favorables [7].

La energía eólica tiene muchas facetas ambientales positivas, tales como ser limpia, renovable y un medio de generación sustentable. La energía eólica ofrece una de las opciones energéticas más económicas entre las nuevas fuentes renovables de energías para reducir la emisión de CO<sub>2</sub>. El empleo de la energía eólica genera un ahorro en el uso de las reservas de combustible fósiles en general y un aporte al uso racional de la energía [10]. Se espera que la energía eólica juegue un papel cada vez más importante en el escenario energético internacional futuro. Los expertos predicen que esta tecnología podría abarcar el 5 % del mercado energético mundial para el 2020 [9].

Las fases fundamentales para el desarrollo de un proyecto eólico son las siguientes [7]: identificación, medición, evaluación del recurso eólico, ingeniería y proyectos, estudio de impacto ambiental, construcción del parque y explotación; esta investigación se centra en la medición de parámetros eólicos, con la finalidad de gestionar las bases de datos generadas con las mediciones implementando un SIG.

Existen varios softwares para estimar el potencial eólico de una región o país. Los más conocidos son el WASP, WindPRO, Homer, LabView, Sipleólico y WindFarmer. De manera general estos softwares permiten la realización de cálculos a partir de las ecuaciones de movimiento de un fluido de viento dentro de la capa límite y además de realizar la extrapolación del mismo considerando características fundamentales. También generan un hipotético viento sin perturbaciones donde el programa puede calcular el viento estimado en un determinado emplazamiento con determinada rugosidad, obstáculos y relieve. Estas aplicaciones requieren un alto costo de adquisición y despliegue de las TIC asociados a estos, además de una preparación profesional para el manejo del software, esto provoca un bajo nivel de adaptación, por lo que su inversión sólo se justifica para grandes instalaciones. Otras de las desventajas que presentan los mismos es que generalmente son de código cerrados. También se puede decir que estos softwares no garantizan el almacenamiento de los datos, además de que no muestran la información que los mismos representan en cualquier momento que algún usuario interesado en el tema lo requiera, ya que cuando se realiza una evaluación del recurso eólico se trabaja con los datos de las zonas de estudio y una vez concluida con la misma no se guarda esa información para una posible comparación con otras evaluaciones [10].

Por lo tanto, los sistemas de información geográfica (SIG) se están convirtiendo en herramientas indispensables en la toma de decisiones en las que la información espacial tiene una especial relevancia [2], de alguna de estas decisiones depende en muchos casos el éxito o fracaso de un negocio o el desarrollo tecnológico ya sea en el ámbito industrial o incluso en el ámbito académico.

La tecnología de los Sistemas de Información Georreferenciados puede ser utilizada para investigaciones científicas, para la gestión de los recursos y activos, en evaluación del impacto ambiental, etc. La ubicación del potencial eólico de la zona de Yucatán, permite por ejemplo hacer estimaciones sobre la viabilidad de generar electricidad económicamente sostenible, entre muchas aplicaciones.

Los SIG son una integración de hardware, software y datos geográficos cuya finalidad es la captura, manipulación, almacenamiento y análisis de información geográficamente referenciada con el fin de resolver diferentes tipos de problemas, que van desde mejorar el tráfico en una red de vialidades hasta la generación de mapas de vientos en áreas definidas [3]. Los SIG nos permiten hacer análisis exhaustivos en diferentes ámbitos relacionados con un punto o área geográfica, es decir, la información geográficamente referenciada puede ser de diferentes tipos, como topográfica, hidrográfica, orográfica, eólica, etc.

En la investigación científica los SIG juegan un papel importante debido a que permiten correlacionar datos geográficamente referenciados para buscar patrones, tendencias, rutas y/o modelos que describan numerosos eventos. Además, son una excelente fuente de referencias estadísticas, las cuales están perfectamente organizadas.

Otro punto importante es el aumento de las demandas energéticas para nuestro diario vivir y sostenimiento debido al constante progreso de la tecnología, y crecimiento del sector industrial y la sociedad; en consecuencia el ritmo de consumo de los recursos tradicionales es muy acelerado provocando que las reservas se agoten cada vez más rápido [5], México cuenta con un potencial eólico incuestionable, si bien sólo se ha comenzado a explotar en años recientes, el sector muestra ya un alto dinamismo y competitividad. Prueba de ello son los más de 1,900 MW en operación, en producción independiente y autoabastecimiento, como los más de 5,000 MW en distintos niveles de desarrollo.

Debido a que las altas velocidades del viento a lo largo del año son raras, mientras que los vientos moderados son bastante comunes y a las características tan dispersas y aleatorias de la energía eólica [6], se tiene que la utilización de la estadística es la mejor manera de estudiar si un emplazamiento es adecuado o no; para lo cual se recurre a la representación de la velocidad del viento como una variable aleatoria. Esto permite analizar si las probabilidades de ocurrencia pueden ajustarse a algún tipo de distribución continua, una expresión matemática para calcular la energía eólica en función del tiempo [4].

De lo anteriormente mencionado, deriva la importancia de la correcta aplicación de las tecnologías de la información, lo cual es actualmente un gran reto y una herramienta al servicio de la ciencia y tecnología, sobre todo cuando se habla de caracterización de sistemas o experimentos. Los sistemas de adquisición de datos son un claro ejemplo de dicha integración tecnológica; un sistema estructurado de análisis de datos eólicos georreferenciados funcionará como una herramienta para la toma de decisiones con aplicaciones de diversa índole.

Una aplicación distribuida es una aplicación con distintos componentes que se ejecutan separados, normalmente en diferentes plataformas conectadas, donde la distribución se refiere a la construcción de software por partes, a las cuales le son asignadas un conjunto específico de responsabilidades dentro de un sistema [8].

Existen en la actualidad diferentes paquetes de software que permiten el análisis de los datos y la creación de mapas eólicos, sin embargo, la organización de tal cantidad de información georreferenciada se ve reducida a un control de archivos y directorios de una ubicación en disco duro, en este trabajo se implementa la adquisición de datos desde cualquier ubicación vía web. Además, en el laboratorio de energías renovables de la facultad de ingeniería de la UADY, se han desarrollado diversos paquetes computacionales capaces de generar análisis estadístico y modelos de predicción basados en inteligencia artificial [1]. Tal desarrollo sienta las bases del presente proyecto, ya que se incluye como innovación la creación de puntos georreferenciados en un mapa de la tierra.

## Desarrollo

La recopilación de los parámetros medidos, usados para determinar el potencial eólico, se realiza mediante un sistema compuesto por tres estaciones anemométricas situadas en las ciudades de Mérida y Progreso (zona costera). Se realizaron mediciones a lo largo de los días, promediando un valor de velocidad en (m/s). En dichas estaciones anemométricas está conectado un registrador de datos (data logger), que conserva en su memoria las lecturas automáticas de varios días, hasta su recogida y posterior envío; las lecturas son registradas en archivos .csv o .txt.

Una vez que los datos son registrados durante el día en cuanto a horas y cambios representativos, estos son almacenados en una base de datos, la cual a través de la aplicación se emplea para generar información estadística. La aplicación está estructurada en tres capas representativas descritas a continuación:

### a) Capa de presentación

La primera capa es aquella que permite la visualización de los datos, y la interacción del programa con los usuarios, en esta capa están definidas todas las ventanas que serán presentadas a los usuarios. Para el caso del presente sistema de gestión, en esta capa se utilizan los mapas que nos permiten georreferenciar toda la información que se designe para tal propósito.

### b) Capa lógica del proyecto

La segunda capa es la que contiene toda la lógica de la aplicación, en esta capa encontramos el sentido funcional de los datos que serán utilizados, se definen las relaciones entre los datos y se aplican los cálculos correspondientes. En esta capa se asignan puntos georreferenciados a los archivos de mediciones de manera textual en un archivo relacional, el cual permitirá relacionar todos los conjuntos de información que sean necesarios.

### c) Capa de datos

La tercera capa es la que permite conectar la aplicación con el gestor de archivos, para obtener los datos de las estaciones eólicas remotas y que estos datos puedan ser usados en la aplicación.

Cada capa entrega un bloque de datos (resultados) a la capa anterior/siguiente para que sea tratada de acuerdo a la secuencia establecida en cada una (ver Figura 1).

El SIG propuesto hace uso de un sistema de información georreferenciada muy conocido en el mundo llamado Google Earth, el cual servirá para obtener y visualizar todos los puntos geográficos necesarios y útiles en cada corrida del programa. La estructura funcional del programa puede observarse en la Tabla 1.

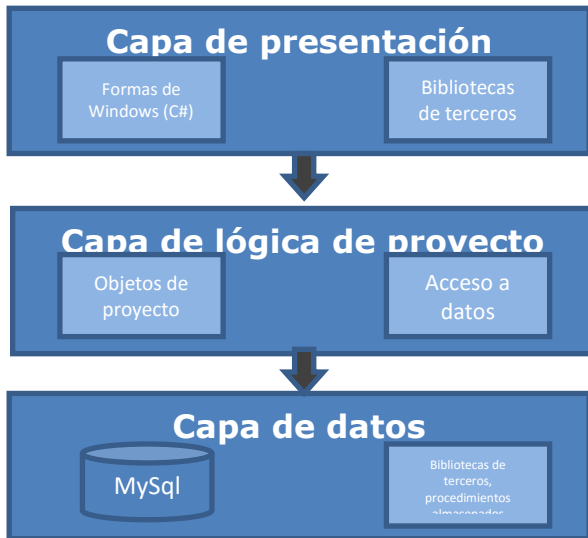


Figura 1 Estructura general de la aplicación.

Módulos	Bloques de programas
WindGIS 1.0	Visualización Tabular Visualización Gráfica Georreferenciación
MySQL Server Browser	Sentencias SQL de consulta Sentencias SQL de definición Bloque de conexión

Tabla 1 Estructura funcional del programa.

El programa computacional ha sido desarrollado utilizando las siguientes herramientas computacionales:

- Gestor de bases de datos de uso libre MySQL Server
- Lenguaje de programación Visual Studio C#
- Librerías gráficas de terceros

Y está compuesto por los siguientes programas:

- Herramienta computacional “Analizador de datos de predicción”
- Google Earth SDK Plugin

Resultados

La arquitectura implementada en este sistema maneja un subsistema con el cual se lleva a cabo el registro de los datos, los cuales se almacenaron en una base de datos y otro subsistema de usuario con el cual se genera la visualización de los datos desplegando gráficos y tablas. Al implementar estos subsistemas se tomaron en cuenta criterios de disponibilidad de los datos, de tal forma que todo usuario pueda acceder a los mismos de manera funcional, adicionalmente se protegió la información de amenazas que pudieran generarse, aportando seguridad al sistema.

La pantalla de inicio del sistema se observa en la Fig. 2, en el lado izquierdo de la pantalla aparece la pestaña MySQL Server Browser, la cual permite acceder a la sección que presenta todas las bases de datos contenidas en el servidor que se está accediendo.

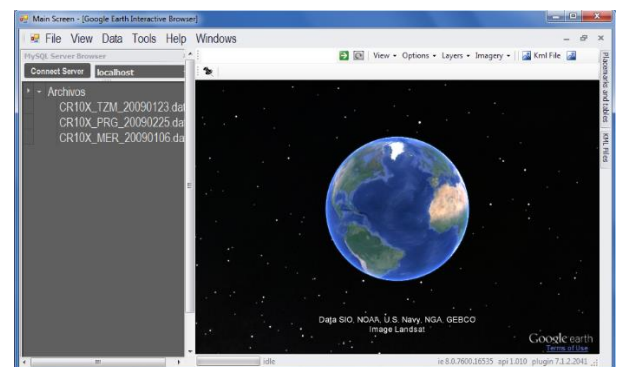


Figura 2 Pantalla principal.

El browser permite navegar mediante un árbol de jerarquías las bases de datos, las tablas e incluso archivos de datos.

En la pantalla aparece la pestaña “Placemarks and tables”, dicha pestaña permite acceder a la sección en la cual se realiza la vinculación de un conjunto dado de información con un conjunto de coordenadas geográficas, a esta acción se le llamará georreferenciación (ver Figura 3).

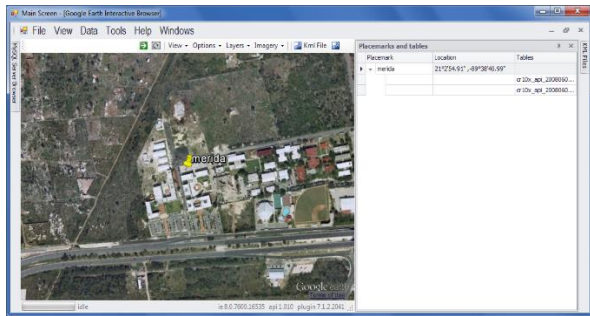


Figura 3 Herramienta de georreferenciación.

En la sección de georreferenciación se presenta un menú emergente que permite localizar el sitio en el mapa mediante la opción “Ir al sitio” y mostrar el conjunto de datos al que están vinculadas las coordenadas geográficas como se observa en la Figura 4.

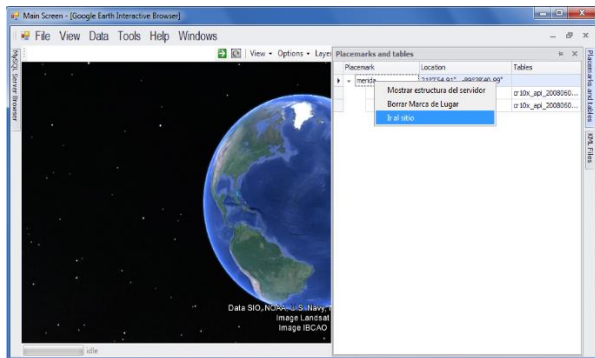


Figura 4 Tablas de datos georreferenciados.

La aplicación permite además generar distintas gráficas de los conjuntos de datos georreferenciados utilizando herramientas computacionales anteriormente desarrolladas referentes a los datos estadísticos eólicos. A continuación, se observan algunos ejemplos (ver Figura 5 y Figura 6).

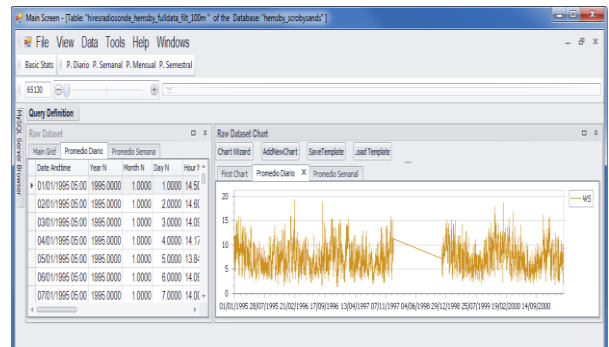


Figura 5 Ejemplo 1 de datos eólicos georreferenciados.

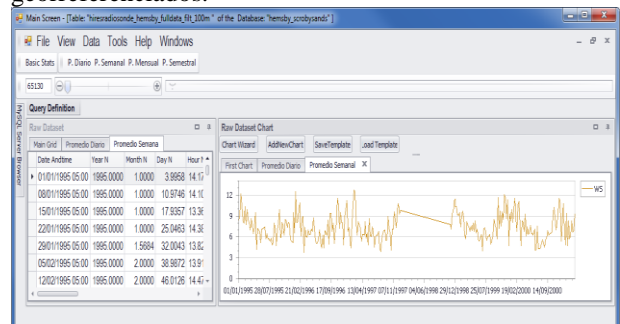


Figura 6 Ejemplo 2 de datos eólicos georreferenciados.

Los datos graficados tienen la información de georreferencia en la parte superior izquierda y mediante el botón “Geo Location” se puede visualizar la localización geográfica en el mapa de Google Earth, los datos eólicos se observan en el recuadro de la izquierda, e indican las velocidades del viento (ver Fig.7).

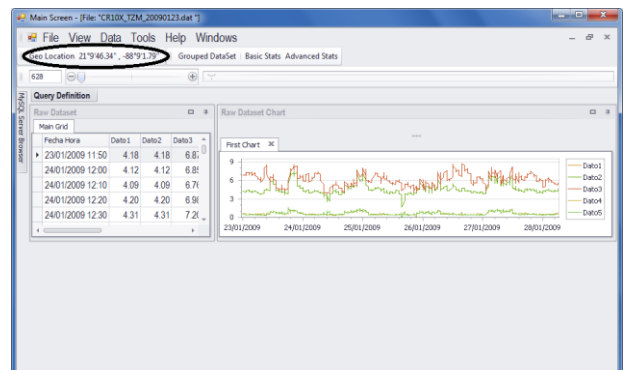
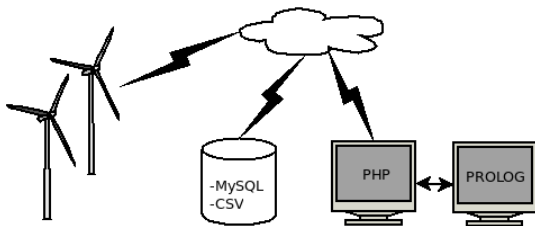


Figura 7 Localización de datos eólicos.

## Discusión

La arquitectura está propuesta en un software web, la cual mediante el uso de programación en PHP y PROLOG, base de datos MySQL y archivos CSV (ver Fig. 8), se incrementa la potencialidad en las consultas al hacer uso de las tecnologías web, mejorando la visualización de los resultados y el análisis interactivo de los datos. Uno de los beneficios de la implementación es que posteriormente mediante el uso de XML se pueden estructurar los documentos sin perder el formato, ni la flexibilidad de su contenido o realizar la inclusión de varios formatos dentro del mismo documento (texto e imágenes), incluyendo marcas de campo dentro del documento, lo cual propicia el aprovechamiento de la capacidad para la presentación y administración de la información.



**Figura 8** Arquitectura del uso del SIG como soporte para la toma de decisiones.

Se decidió prospectar la zona regional de las ciudades de Mérida y parte de la zona costera (Progreso) con la finalidad de generar mediante este sistema de información georreferenciada, bases de datos que a futuro permitan identificar áreas idóneas para el aprovechamiento de la energía eólica en la región.

## Conclusiones

La aplicación incluye un sistema visualizador tabulador y un sistema visualizador gráfico para aquellos datos funcionales en los que además se puede observar el resultado de cada análisis y cada predicción brindando al usuario posibles tendencias sobre los cambios que se pueden presentar mediante muestras y modelos de predicción para obtener valores históricos de datos eólicos de la zona de Mérida, Yuc. así como parte de su zona costera. A futuro se podría desarrollar un sistema de control de versiones, facilitando el almacenamiento y gestión de los documentos cuando estos requieran de alguna actualización frecuente, lo que permitiría a los usuarios volver a versiones anteriores y poder contar con información comparativa y/o histórica.

El hecho de evaluar el potencial eólico generado en un determinado sitio mediante este tipo de aplicaciones, representa una oportunidad para analizar a futuro el impacto de este tipo de investigación mediante acciones tales como: socializar el proyecto con las comunidades del área de influencia directa, realizar estudios ambientales y de tipo socioeconómico. Los beneficios directos de la implementación de este sistema son: la flexibilidad y funcionalidad en la búsqueda de los parámetros eólicos, ahorros en tiempos de atención al usuario, ahorro económico en el empleo de recursos de desarrollo dado que se emplearon tecnologías conocidas que funcionan con software de uso libre.

## Referencias

E. Turban, R. Shardan, D. Denle, Decision Support and Business Intelligence Systems. 9ª. Edición. 2007. Pearson. EUA. Págs. 25-75.

A. Palacio Buendía, “Implementación de los sistemas de información geográfica en la gestión de los espacios naturales protegidos”. XVI Congreso Nacional de Tecnologías de Información Geográfica. España. Junio de 2014.

Manual de sistemas de información geográfica para el ordenamiento territorial. Ministerio de infraestructura de la ciudad de Buenos Aires. Argentina. 2011.

Manual de aplicación de la energía eólica. Instituto de Ciencias Nucleares y Energías Alternativas (INEA). Chile. 2003.

Manuales de energías renovables: energía eólica. Instituto para la diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). España. 2006.

Wind Energy Reference Manual. <http://www.windpower.org/en>. mayo de 2016.

R. Isaac, “Proyectos de Inversión de Parques de Energía Eólica”, COFIN Habana Revista de la Facultad de Contabilidad y Finanzas de la Universidad de La Habana. 2011.

A. S. Tanenbaum, Distributed System – Principles and Paradigms. Nueva York. Prentice Hall. 2002.

H. Joselin, G. M. A review of wind energy technologies. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2007.

E. Nuñez, R. Rodríguez, A. Pierra, O. Reyes, “Sistema de Información para el Análisis de Datos del Viento”. Revista Cubana de Ciencias Informáticas. Vol. 8. No.3. 2014. pp 100-113.