

METODOLOGIA DE JERARQUIZACIÓN DE ÁREAS PARA PROYECTOS EÓLICOS MEDIANTE ANÁLISIS SECUENCIAL DE CORRELACIÓN COMBINATORIA HÍDRICA-EÓLICA.

Elvis Richard Tello Ortiz - elvis@pea.usp.br

Eliane Fadigas - eliane@pea.usp.br

Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Elétrica

Resumen. Este artículo presenta una metodología que permite localizar jerárquicamente las mejores áreas para instalación de parques eólicos mediante el análisis de la complementariedad entre los recursos hídricos y eólicos.

Esta metodología utiliza como indicadores a los factores de correlación, que permiten evaluar ambos recursos en un mismo intervalo de tiempo. Adicionalmente, se tiene incorporada una rutina de barredura combinatoria y secuencial que permite relacionar la energía generada entre recursos de un mismo local y de diferentes locales.

El principal objetivo de este trabajo es seleccionar, mediante una matriz de correlación, las áreas para proyectos eólicos que tengan un mejor comportamiento en la complementación de las centrales hidroeléctricas, que son la principal fuente de generación de la matriz energética Brasileira y que actualmente se encuentran complementadas por las termoeléctricas, principales emisoras de gases de efecto invernadero.

Palabras-clave: Energía Eólica, Energía Hídrica, Complementariedad.

1 INTRODUCCIÓN

Las nuevas fuentes renovables de energía como son: eólica, solar, biomasa y oceánica, han recibido especial atención en esta última década como resultado del interés de diversos países en tornar sus matrices energéticas más limpias, con la inserción de fuentes renovables, buscando un crecimiento económico sustentable y sin mayores perjuicios al medio ambiente.

El Brasil posee uno de los mayores potenciales en el mundo para la producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables. Estudios realizados por el Centro para Energía Solar y Eólica Sergio de Salvo Brito (CRESESB) estimaron que solamente la energía eólica posee un potencial de 143 GW, 50% ubicada en la región Nordeste, conforme muestra la tabla 1 (Amarante, 2001). Sin embargo, apenas 700 MW están en operación. Además, se sabe que toda la generación por fuentes renovables descentralizadas corresponde al 4% de la matriz eléctrica nacional.

Tabla 1. Potencial de generación eólica del Brasil por región

Región	Capacidad (GW)	Potencial de Producción de Energía (TWh)	Factor de Utilización (%)
Norte	12.84	36.45	32.4
Nordeste	75.05	144.29	21.9
Centro-este	3.08	5.42	20.1
Sudeste	29.74	54.93	21.1
Sur	22.76	41.11	20.6
Total	143.47	282.2	23.22

Alteraciones en el clima han sido objeto de estudios en el sentido de verificar el impacto que estas pueden causar en el régimen de lluvias, régimen de viento y producción de biomasa, es decir, en los recursos que son usados en la generación de energía, razón por la cual los estudios de previsión de estos recursos a largo plazo así como la complementariedad entre estos han crecido en importancia (Bittencourt et al, 2000).

Estos estudios pueden auxiliar en el proyecto e implementación de fuentes renovables de energía al mismo tiempo dislocando la energía eléctrica basada en combustibles fósiles, como son: el carbón mineral, petróleo y gas natural que son los principales recursos poluentes del planeta (Polizel, 2009). La tabla 2, presenta las emisiones de dióxido de carbono por kWh de energía generada para diferentes tipos de combustibles (Wikipédia, 2008).

Tabla 2. Emisiones de CO₂ por combustible fósil

COMBUSTIBLE	EMISIONES DE CO ₂ kg/kWh
Gas Natural	0,44
Óleo Combustible	0,71
Biomasa (madera, leña)	0,82
Carbón	1,45

Los factores de conversión presentados en la tabla 2 toman en cuenta el tipo de combustible y consideran un rendimiento de 40% sobre la energía primaria consumida. Se puede observar también que el Carbón es el recurso que emite más CO₂ en relación a la energía generada por otros recursos utilizados en las termoeléctricas.

El más importante beneficio que la energía eólica ofrece al medio ambiente se encuentra en el hecho de que esta no poluye durante su operación. Siendo así, su aprovechamiento en grande escala tendrá gran impacto en la reducción de los gases de efecto invernadero (Tolmasquim, 2004).

Este trabajo propone una nueva metodología de evaluación y selección de áreas destinadas a la instalación de centrales eólicas, tomando en cuenta el análisis de complementariedad de los recursos hídricos y eólicos, de forma que, se pueda tener indicadores de los lugares más promisorios para la instalación de parques eólicos como complemento de las centrales hidroeléctricas existentes.

El artículo está estructurado de la siguiente forma: En la parte 1 se presenta una introducción con las razones que motivaron este estudio, en la parte 2 se describe la actual situación de la energía eólica como fuente alternativa de generación, en el ítem 3 es presentada la metodología propuesta considerando las bases matemáticas de la matriz de correlación, en la parte 4 se entregan algunos resultados con sus respectivos comentarios y finalmente, en el tópico 5 son presentadas las conclusiones del trabajo.

2 ENERGÍA EÓLICA COMO FUENTE DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

2.1 Características generales

La consideración del viento como fuente de energía en el mundo, no es reciente, sin embargo en los últimos diez años, la generación de energía de este origen ha crecido substancialmente. Para entender la importancia de este tipo de generación y el cambio que viene aconteciendo a partir de la década de los 90, es necesario analizar algunos factores importantes (Manwell, 2006).

La creciente conciencia sobre las reservas limitadas de combustibles fósiles, así como la consideración de los efectos adversos que trae la utilización de estos combustibles han conducido a muchos investigadores a buscar otras fuentes de producción de energía eléctrica (Burton et al. 2006).

- Existe la potencia, es decir, el viento es una fuente que se encuentra en todos los lugares de la tierra y, en algunos con mayor capacidad de generación.
- Se tiene la capacidad tecnológica, estas tecnologías han sido desarrolladas para otros campos, de forma que, cuando son utilizadas en las turbinas eólicas pueden revolucionar la forma de ser usadas.
- El objetivo de proteger el medio ambiente con la introducción y utilización de energía limpia.
- El interés de los gobiernos, que están invirtiendo en el desenvolvimiento de investigaciones y pruebas, creando normas que incentivan y estimulan la utilización de fuentes alternativas para la generación de energía eléctrica, además de facilitar la viabilidad de conexión a las redes eléctricas.

2.2 Normas de incentivo a las fuentes alternativas en brasil

En los últimos años el gobierno Brasileño efectuó modificaciones en la regulación del área eléctrica con el objetivo de aumentar la participación de las fuentes renovables en la matriz energética. En el año 2002, se introdujo el Programa de Incentivo a las Fuentes Alternativas (PROINFA) con el objetivo de diversificar la matriz mediante la inserción de 3300 MW de capacidad instalada, siendo procedentes 1100 MW de Centrales a Biomasa, 1100 MW de Parques Eólicos y 1100 MW de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas.

A inicios del 2006, la Agencia Nacional de Energía Eléctrica – ANEEL – publicó la resolución No 247, que introdujo como principal contribución, los descuentos en las Tarifas de Utilización del Sistema de Distribución – TUSD – y/o Transmisión – TUST – que varía de 50% a 100%, para aquellos agentes (generadores, comercializadores y consumidores) que utilicen fuentes renovables, conocidas a partir de esta resolución como fuentes incentivadas. En septiembre del 2007, la ANEEL publicó la nota técnica N° 309 sobre el proceso de comercialización de energía incentivada y sus reglas (Da Silva, 2008).

A finales del 2009, se realizó la primera subasta, específicamente de energía eólica, donde fueron contratados por el Gobierno Federal, 1800 MW de energía eólica que estarán en funcionamiento a fines del 2012.

2.3 Situación actual de la energía eólica en el mundo

Actualmente, entre las fuentes alternativas, la energía eólica se destaca como una buena opción para la complementación energética de la generación eléctrica convencional. Así, varios países de Europa y Estados Unidos han incrementado sus inversiones en la instalación de más parques eólicos, con turbinas de mayor potencia y la aplicación de nuevas tecnologías, ganando consecuentemente un mayor espacio en la matriz energética mundial.

La figura 1 ilustra el incremento de la potencia instalada en los últimos diez años (WWEA, 2009), es posible a través del gráfico, observar el crecimiento exponencial de la inserción de energía eólica en el mundo.

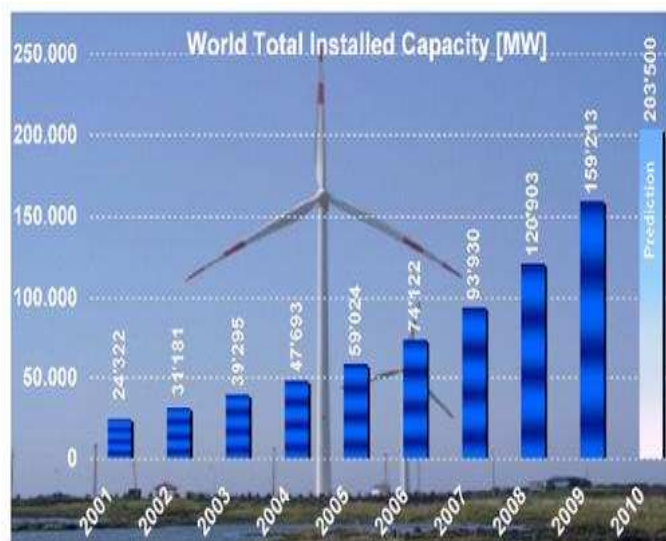


Figura 1- Capacidad total de energía eólica instalada en el mundo.

A pesar de la crisis financiera mundial ocurrida a finales del año 2008 y durante todo el año 2009, este crecimiento no se vio afectado. Esto, se debe a varios factores como son: La necesidad de renovar la matriz energética mundial que es dependiente de los combustibles fósiles, la presión internacional que busca reducir la emisión de gases de efecto invernadero; pero principalmente a la reducción de costos e innovaciones tecnológicas que la tornan competitiva con otras fuentes de generación de energía.

Otro factor importante que acelera el crecimiento de la potencia instalada en el mundo es la consolidación de la industria especializada en generación eólica, es decir, por el comportamiento diferente de este recurso, tienen que realizarse investigaciones (planeamiento, previsión y control) y adecuaciones de las tecnologías existentes (eléctricas y mecánicas) para tratar su aleatoriedad y obtener un mejor aprovechamiento de este.

En la figura 2, se presentan los diez países líderes en capacidad instalada de potencia eólica (WWEA,2009). Se puede observar que Estados Unidos alcanzó el primer lugar en el mundo con 35,16 GW, ya que, en el año 2009 incrementó 10 GW de potencia en turbinas eólicas. Este primer lugar pertenecía anteriormente a Alemania que actualmente se encuentra en tercer lugar.

Por otro lado, China en el 2009 instaló 14 GW sobrepasando a Alemania y España, que hasta el 2008 se encontraban ubicados en el segundo y tercero lugar respectivamente. Por tanto, China se encuentra actualmente en el segundo lugar con un total de 26.01 GW de capacidad y lidera así al continente Asiático.

Finalmente, el mercado pionero de Dinamarca cayó para el puesto diez en comparación con cinco años anteriores, donde ostentó el cuarto puesto por varios años.



Figura 2- Países líderes en capacidad instalada de energía eólica.

3 METODOLOGIA PROPUESTA PARA EL ESTUDIO DE LA COMPLEMENTARIEDAD

3.1 Procedimiento conceptual y factores de correlación

Para analizar la complementariedad de dos recursos diferentes, es necesario determinar indicadores, que en este estudio son conocidos como factores de correlación y que permiten trabajar la media de la energía generada y su desvío padrón reduciendo el riesgo a niveles menores. Para desarrollar un análisis óptimo de la correlación existente en un sistema hídrico-eólico, será necesario realizar diferentes combinaciones entre los recursos, considerando periodos de tiempo iguales, de forma que se tenga un mejor aprovechamiento de la energía generada en los lugares evaluados.

Así, para el análisis de complementariedad entre recursos se formará una matriz con los valores del análisis de correlación, llevando en cuenta periodos de tiempo (meses, trimestres, ..., años) de tal forma que, se pueda visualizar el nivel de correlación existente en un mismo local (recursos del propio local) y correlación entre locales (recursos de diferentes locales).

La figura 3 ilustra la base conceptual de esta propuesta. En este mapa se presentan M locales con datos eólicos y N locales con datos hídricos, algunos de estos poseen registros de ambos recursos, es decir información hídrica y eólica.

La metodología evalúa todos los locales y combina todas las alternativas existentes de forma secuencial. Analizando recursos propios – correlación de los recursos de un local – y relacionando estos con aquellos pertenecientes a otros locales, de forma que se obtendrá una matriz que relacione ambos recursos. A partir de este procedimiento varios resultados de combinación hídrica-eólica son obtenidos, cuanto más negativo sea el valor de correlación entonces se tendrá un mejor indicador de complementariedad entre recursos y viceversa.

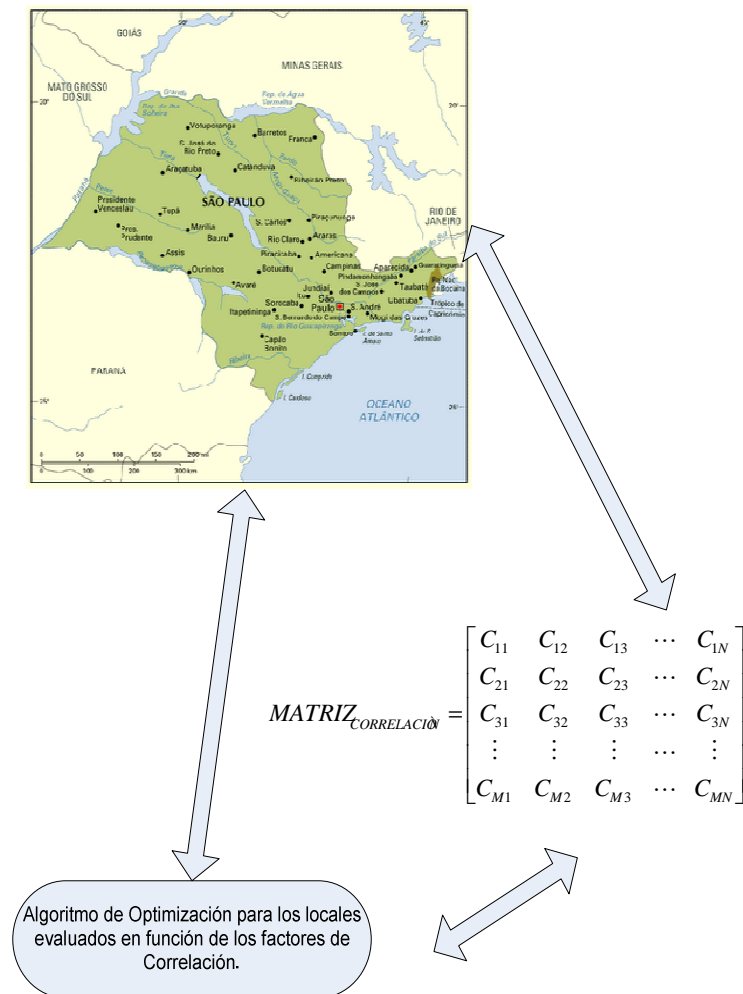


Figura 3- Procedimiento conceptual del estudio de complementariedad.

Después de obtener la matriz de correlación, un algoritmo de búsqueda es aplicado para obtener una lista de las correlaciones más óptimas ordenada de forma jerárquica para la selección de locales promisorios, donde se pueda instalar centrales eólicas, que complementen de mejor manera a las hidroeléctricas existentes.

3.2 Bases de datos e informaciones principales

La metodología propuesta utiliza como principales informaciones:

- Base de datos de viento.
- Modelos de Previsión de viento (considerando períodos de tiempo)
- Base de datos de caudales hídricos pertenecientes a hidroeléctricas existentes.
- Modelos de previsión de recursos hídricos (considerando períodos de tiempo)
- Base de datos de tecnologías eólicas
- Base de datos de tecnologías hídricas – para lugares de instalación de centrales hidroeléctricas a nivel de agua.

El diagrama de bloques de la figura 4 ilustra de forma sintetizada el algoritmo de análisis para complementariedad entre estos recursos.

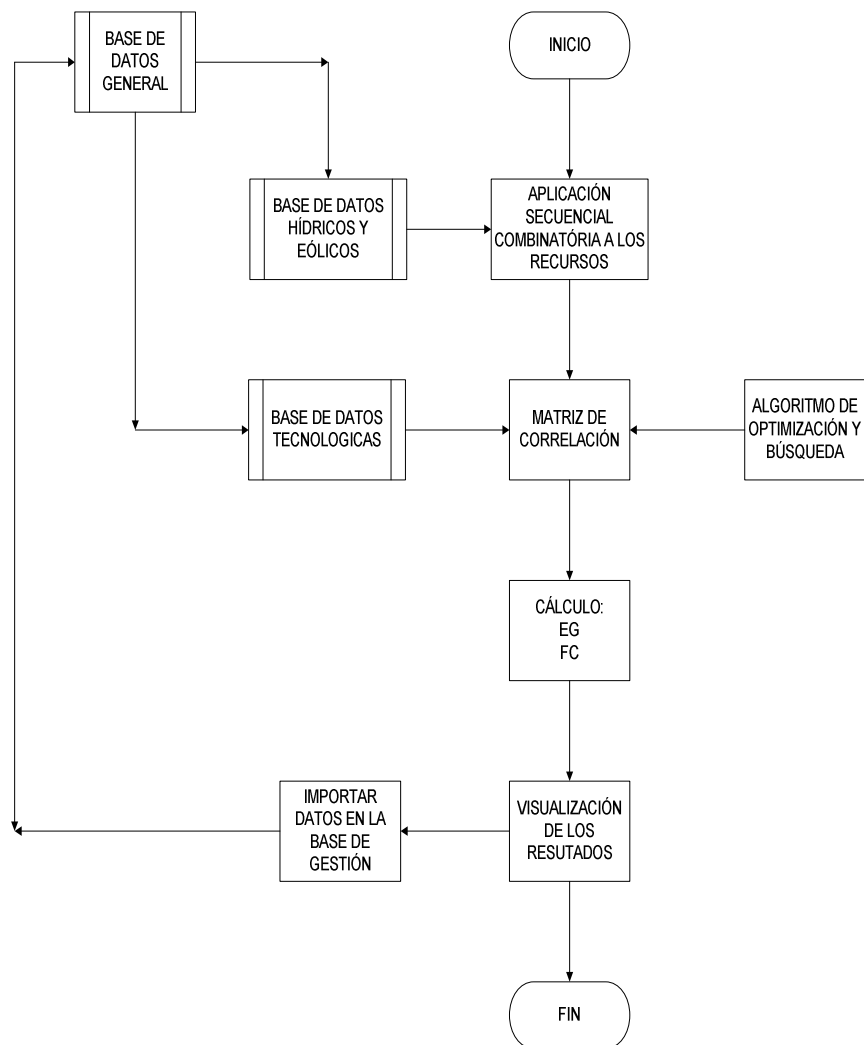


Figura 4- Diagrama de bloques de la metodología de complementariedad

El análisis y la evaluación de los valores de correlación debe llevar en cuenta valores promedios a través de diferentes bases temporales, es decir, horas, días, semanas, meses y años. La matriz de correlación tendrá la siguiente forma:

$$\text{MATRIZ}_{\text{CORRELACION}} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & \cdots & C_{1N} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & \cdots & C_{2N} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & \cdots & C_{3N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ C_{M1} & C_{M2} & C_{M3} & \cdots & C_{MN} \end{bmatrix} \quad (1)$$

En esta matriz las columnas representan a uno de los recursos, mientras las líneas representan al otro, de forma que, los valores de correlación existentes en las intersecciones de líneas y columnas están indicadas a través de los subíndices correspondientes, la diagonal principal entrega valores de la correlación de recursos propios del lugar, y consecuentemente pueden ser utilizados para proyectos de tipo híbrido.

Los resultados, obtenidos con esta metodología, pueden ser visualizados de forma gráfica en el Sistema de Información Geo-referenciado y facilitan la toma de decisiones sobre la selección de áreas para proyectos eólicos (Ortíz et al, 2008).

4 RESULTADOS Y COMENTARIOS

4.1 Caso de estudio

Para evaluar la metodología propuesta fueron seleccionados tres locales con registros de las medias mensuales de recursos hídricos y eólicos, un resumen de estos valores son presentados a seguir.

La tabla 3 presenta los datos de la media mensual de energía generada a partir de recursos hídricos y eólicos, siendo que, se encuentran expresados en valores pu, esto, fue realizado para obtener escalas semejantes de comparación. Estos datos pertenecen al primer local y se representan gráficamente a partir de la figura 5.

Tabla 3. Datos hídricos – eólicos mensuales del local I

LOCAL I		
Mes	Hídrico	Eólico
Enero	1,27	1,24
Febrero	0,74	1,46
Marzo	0,36	1,50
Abril	0,33	1,54
Mayo	0,35	1,45
Junio	0,48	1,00
Julio	0,60	0,90
Agosto	1,00	0,52
Septiembre	1,50	0,48
Octubre	1,76	0,50
Noviembre	1,78	0,53
Diciembre	1,75	0,80

La figura 5 ilustra el comportamiento de las variaciones de la media mensual del primer local durante un año. Observando el gráfico se hace evidente el comportamiento complementario de ambos recursos.

En el periodo comprendido entre Enero y fines de Mayo, los recursos eólicos presentan mayor capacidad para generación de energía eléctrica en comparación con la energía generada por los recursos hídricos en el mismo intervalo de tiempo.

A partir del mes de Junio se observa un cambio de comportamiento en ambos recursos, así, se inicia la caída en la energía generada por el viento y el crecimiento de esta a partir del agua, que alcanza su mayor valor entre los meses de Octubre a Diciembre. Sucede lo contrario con el viento, que en ese mismo período alcanza su valor más bajo.

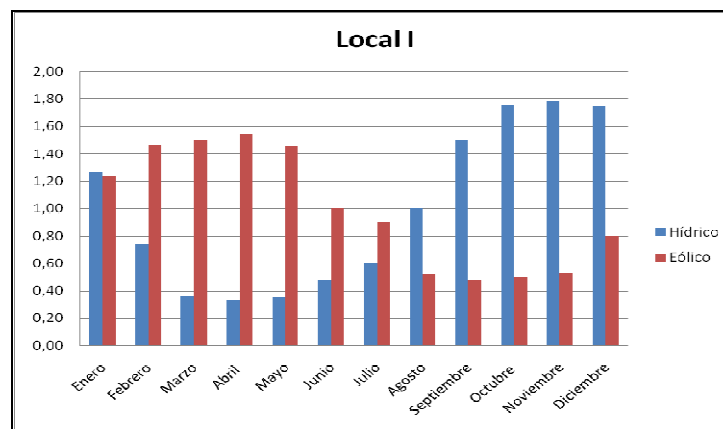


Figura 5- Energía generada en valores pu del local I.

La tabla 4 presenta los valores correspondientes al segundo local, estos datos se encuentran también expresados en valores por unidad de energía generada.

Tabla 4. Datos hídricos y eólicos mensuales del local II

LOCAL II		
Mes	Hídrico	Eólico
Enero	1,06	1,12
Febrero	1,24	1,30
Marzo	1,33	1,28
Abril	1,20	1,54
Mayo	1,33	1,36
Junio	1,73	1,52
Julio	1,60	1,05
Agosto	1,60	1,00
Septiembre	0,87	1,04
Octubre	0,80	0,96
Noviembre	0,96	1,12
Diciembre	0,93	1,05

La figura 6 ilustra el comportamiento de los recursos pertenecientes al segundo local. Puede observarse un comportamiento análogo en ambos recursos, es decir, cuando la generación por recursos hídricos experimenta un crecimiento, se presenta la misma situación con la generación por recursos eólicos, por tanto, se concluye la inexistencia de complementariedad entre ambos recursos en este local.

Así, en periodos donde se carece de agua también se carece de viento, por tanto, puede afirmarse que existe una correlación directa.

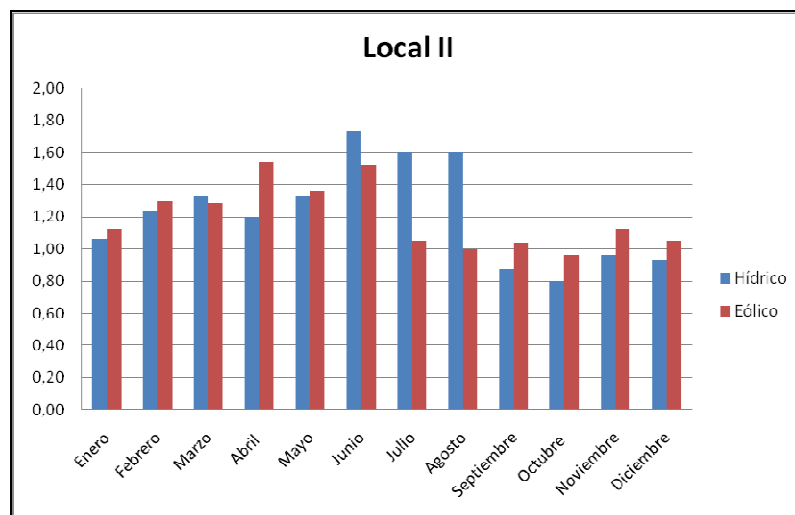


Figura 6- Energía generada en valores pu del local II.

La tabla 5 presenta los valores correspondientes al tercer local. Estos valores se encuentran, concordando con los casos anteriores, en valores pu de energía generada.

Tabla 5. Datos hídricos – eólicos mensuales del local III.

LOCAL III		
Mes	Hídrico	Eólico
Enero	1,03	1,12
Febrero	0,56	1,32
Marzo	0,49	1,28
Abril	0,45	1,52
Mayo	0,44	1,44
Junio	0,50	1,36
Julio	0,63	1,60
Agosto	0,78	1,10
Septiembre	1,05	1,07
Octubre	1,43	0,88
Noviembre	1,55	1,06
Diciembre	1,50	1,04

La figura 7 representa gráficamente el comportamiento de la energía generada a partir de recursos hídricos y eólicos de la tabla 5. Se observa gráficamente un comportamiento complementario entre ambos recursos.

Así, desde Enero hasta Septiembre el viento se muestra más productivo en generación, mientras que en ese mismo periodo el agua alcanza su nivel más bajo. Sucede lo contrario en los meses comprendidos entre Octubre y Diciembre.

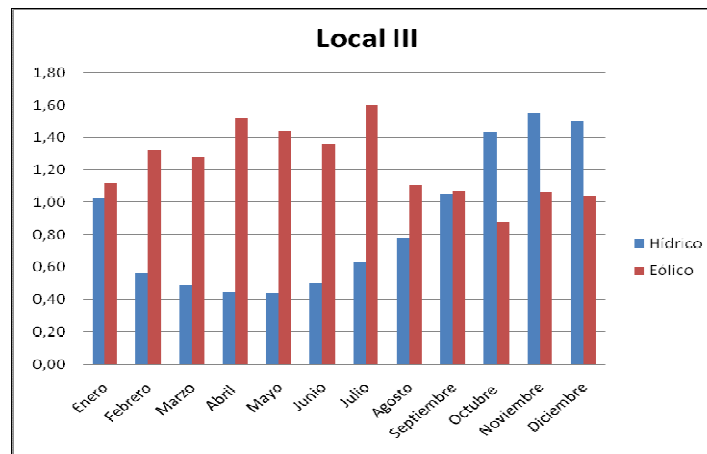


Figura 7- Energía generada en valores pu del local III.

Los recursos propios del local I y III poseen complementariedad, por tanto, puede instalarse un sistema híbrido en cualquiera de estos locales, sin embargo, surge una cuestión importante, conocer en cual de estos locales es más provechosa la instalación de un parque eólico.

Adicionalmente, la observación y el análisis individual de los recursos de un local, se torna inviable con el aumento de más locales y, consecuentemente de más recursos; lo que conlleva a la necesidad de implementar una herramienta que permita analizar todas las complementariedades combinatorias existentes y seleccionar las más óptimas, de forma que, se puede facilitar la toma de decisiones para la inserción de centrales eólicas tomando en cuenta la función de complementar a las hidroeléctricas.

La metodología propuesta en este trabajo es importante porque permite obtener, de forma jerárquica, una lista de los lugares más promisorios. Este objetivo es alcanzado mediante el cruzamiento de información de forma secuencial y a

través de un algoritmo de búsqueda que permita obtener los mejores resultados y beneficios de los indicadores de correlación.

La figura 8 presenta la matriz de correlación correspondiente al caso en análisis.

MATRIZ =
CORREL

		EÓLICO			
		I	II	III	
HÍDRICO	I	-0,7669	-0,7483	-0,8730	
	II	0,2849	0,4201	0,6700	
	III	-0,7208	-0,6995	-0,8262	

Figura 8- Matriz de Correlación.

En estos resultados para cada línea de matriz i – recurso hídrico – corresponde una columna j – recurso eólico – se observa que los locales que presentan menores valores de correlación son la intersección de las líneas I y III con la columna III, que corresponden al recurso eólico del tercer local y que, por poseer valores negativos presentan una mejor complementariedad con los recursos hídricos I y III.

Estos resultados indican que en el Local I, los recursos hídricos - eólicos se complementan mutuamente, siendo que su factor de correlación propio esta expresado por el valor -0.7669 y, consecuentemente muestra que es viable la instalación de un parque eólico en este local. Sin embargo, el factor de correlación I – III presenta un valor menor de -0.8730 que implica que es mejor instalar un parque eólico en el local III para complementar los recursos hídricos del local I.

Se hace evidente que existe un complemento aún mayor entre los recursos propios del local III con un factor de correlación de -0.8262, esto, refuerza la viabilidad de instalación de un parque eólico en el local III.

En este sentido es necesario recordar que los valores de la correlación indican variaciones semejantes entre los elementos evaluados. Así, cuanto más negativo es el factor de correlación se tiene una mejor complementariedad (Markowitz, 1952). El valor de estos factores se encuentra entre -1 y 1, de forma que:

- Si el valor es 1, existe una correlación perfecta y ninguna complementariedad.
- Si el valor es -1, existe una correlación inversa y complementariedad perfecta.

De esta forma los resultados del caso en estudio son presentados en la tabla 6, donde se establece el orden jerárquico de las áreas para proyectos eólicos que presentan mejor complementariedad con las hidroeléctricas.

Tabla 6. Resultados de complementariedad en orden jerárquico.

ORDEN JERÁRQUICO	FACTOR DE CORRELACIÓN
III	-0.8730
I	-0.7669
II	-0.7483

Por otro lado, si se trata de evaluar áreas para proyectos híbridos, la misma matriz de correlación entrega indicadores de complementariedad, los cuales se encuentran en la diagonal principal.

La tabla 7 presenta los resultados, en orden jerárquico para proyectos híbridos.

Tabla 7. Resultados en orden jerárquico para proyectos híbridos.

ORDEN JERÁRQUICO	FACTOR DE CORRELACIÓN
III	-0.8262
I	-0.7669
II	0.4201

Ciertamente el último valor de la tabla 7, que pertenece al local II, indica que en este local la energía generada por ambos recursos no se complementa. Sin embargo, ambas incrementan la producción de energía eléctrica en el mismo periodo de tiempo.

La metodología presentada en este trabajo corresponde a un módulo implementado en los Sistemas Informáticos Geo-referenciados, siendo que los resultados son procesados y almacenados en registros de la propia base de datos del programa. Estos registros están vinculados a entidades gráficas que permiten la visualización de los locales más promisorios para instalación de parques eólicos que complementen a las centrales hidroeléctricas analizadas y, consecuentemente, auxiliará en la toma de decisiones referente a nuevos proyectos eólicos.

5 CONCLUSIONES

Este artículo presentó una nueva metodología que propone la introducción de energía eólica como complemento de las centrales hidroeléctricas, llevando en cuenta los periodos temporales de estos recursos y realizando cálculos estadísticos que permitan obtener los mejores valores de complementariedad en función de factores de correlación.

Las nuevas normas del mercado energético, introducidas por el gobierno Brasileño, y las características del potencial eólico de este país, permiten la instalación de parques eólicos que puedan ir sustituyendo las termoeléctricas, de forma que se puedan disminuir las emisiones de CO₂ y reducir el consumo de combustibles fósiles. Esto, sumado con los avances tecnológicos y el crecimiento de la industria eólica viabiliza la inserción del viento como una alternativa de generación sustentable.

Actualmente, se ha constatado una preocupación globalizada por el impacto ambiental, como consecuencia de la generación de energía eléctrica. En las alternativas de introducción de energía eólica es necesario considerar la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, que a su vez, sería una posibilidad de negociación en el mercado de créditos de carbono.

Referente a atender el crecimiento de la demanda y el riesgo que esto implica, es conocido por la teoría económica, que el riesgo se puede mitigar a través de la diversificación de los recursos. Por tanto, en este trabajo se propone utilizar ese principio a través de los factores de correlación con su aplicación en el análisis de recursos renovables, para determinar comportamientos complementarios.

El análisis de correlación es realizado de forma combinatoria, ya sea entre recursos del propio local y entre recursos de diferentes locales, de esta forma, el crecimiento es exponencial en la medida que son considerados más locales y evaluados los factores de correlación. Como fue observado en la matriz de correlación, principal aporte de este trabajo, existen muchas combinaciones óptimas para la instalación de parques eólicos. Sin embargo, es necesario considerar un algoritmo de búsqueda para obtener los valores más óptimos y un mejor análisis jerárquico de los resultados.

La metodología propuesta no se limita a un número menor de locales, por el contrario permite un análisis secuencial de todos los locales a través de una barredura sistemática que es la principal limitación de trabajos anteriores sobre complementariedad. Por tanto, esta metodología presenta una alternativa de solución para la evaluación de un gran número de locales y, consecuentemente con varios recursos energéticos alternativos.

Sin embargo, para tener un aprovechamiento eficiente de la energía eólica es imprescindible implementar metodologías de análisis y evaluación sobre mapas de datos confiables y detallados con el potencial eólico del Brasil.

REFERENCIAS

- Amarante, O.C., Brower, M., Zack, J. 'Atlas do Potencial Eólico Brasileiro. Brasília', MME, Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2001. Disponible en: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/atlas_eolico_brasil/atlas-web.htm
- Bittencourt, M.R., Do Amarante, C.O.A., Schultz, D.J. Rocha A.N., 'Sistemas Complementares de Energia Eólica e Hidráulica no Brasil', Congreso Internacional de Energías Renovables – CIER, Nov 2000, disponible en: <http://www.espacoenergia.com.br/edicoes/3/003-02.pdf>
- Burton T., Sharpe D., Jenkins N., Bossanyi E., 'Wind Energy Handbook', John Wiley & Sons, Ltd, pp. 643. 2006.
- Da Silva, E.F., Ramos, D.S., 'Principais Condicionantes das Alterações no Modelo de Comercialização de Energia Elétrica: Retrospectiva e Análise Crítica', Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, pp.240. 2008.
- Enciclopedia Libre Wikipédia, disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Centrales_t%C3%A9rmicas.
- Manwell J.F., McGowan J.G., Rogers A.L., 'Wind Energy Explained Theory, Design and Application', John Wiley & Sons, Ltd, pp.569. 2006.
- Markowitz, H. Portfólio Selection, The Journal of Finance, - "Selección de Portafolios, El periódico de Finanzas"– Vol 7, No 1, Marzo 1952 pp. 77-91, disponible en: <http://www.gacetafinanciera.com/TEORIARIESGO/MPS.pdf>
- Ortiz, E. R., Fadigas, E.A., Serna, S.M., 'Aplicación de Tecnologías SIG para Evaluación y Selección de Áreas Prioritarias para Desarrollo de Proyectos de Energía Eólica' Congreso Internacional de Energías Renovables, Cuba 2008.

Polizel L.H., '*Metodologia de Prospecção e Avaliação de pre-viabilidade expedita de geração distribuída GD*', São Paulo pp.160. 2009.

Tolmasquim, M.T., '*Alternativas Energéticas Sustentáveis no Brasil, Rio de Janeiro*', Relume Dumará : COPPE : CENERGIA, pp. 487. 2004.

World Wind Energy Association, '*Asociación de Energía Eólica en el Mundo*': Informe 2009, disponible en: <http://www.wwindea.org/home/index.php>

Abstract. This paper presents a methodology to hierarchically locate the best areas for installation of wind farms through the analysis of coordination between water and wind sources.

This methodology uses as principal indicators the correlation factors to evaluate both resources in the same time interval. Additionally, it is incorporates a routine combinatorial and sequential sweep that relates the energy generated by both resources from one location to different locations.

The main objective of this work is to select, through a correlation matrix, areas for wind projects that present a better performance supplementation from the hydroelectric power plants, which are the main source of generation of the Brazilian Power matrix and which are currently supplemented by Thermoelectric Power plants, based in Fossil Combustible, main broadcast greenhouse gases.

Keywords: Wind Power, Hydro Power, Coordination.