

Modelo de simulación para el potencial eólico en el Perú y su aprovechamiento energético futuro

Julio Jesús Quijano Vargas
jjqv09@gmail.com

Lima, Perú

2014

Contenido

Resumen	3
1. Introducción	4
2. Planteamiento del problema	5
3. Objetivo general.....	5
4. Objetivos específicos.	5
5. Hipótesis	5
6. Marco teórico.....	5
6.1. Sistema de vientos	5
6.2. Dinámica atmosférica.....	6
6.3. Potencial Eólico.....	6
6.4. Modelo numérico atmosférico regional “MM5”	6
6.5. Modelo numérico de sistemas reales “Vensim”	7
7. Metodología	7
7.1. Estaciones meteorológicas in situ	7
7.2. Simulación numérica del viento con modelos globales	8
7.3. Calculo del potencial eólico	8
7.4. Evolución de la energía eólica con el modelo VENSIM	9
7.5. Comparación con otras fuentes de energía.	9
7.6. Condiciones de borde del modelo de evolución del potencial eólico.....	11
7.7. Escenarios futuros propuestos.....	12
8. Resultados	13
8.1. Velocidad del viento in situ	13
8.2. Climatología del viento obtenido de modelos numéricos globales	14
8.3. Escenarios futuros de potencial eólico (2010-2100).....	17
8.3.1. Escenario 1	17
8.3.2. Escenario 2	19
8.3.3. Escenario 3	20
.....	21
8.4. Comparación de energía eólica	22
Conclusiones.....	22
Bibliografía	23

Resumen

Se utilizó información de datos in situ (estaciones costeras SUTRON) y de modelos numéricos atmosféricos (MM5, ERA-Interim, NCEP Reanalysis) para simular la distribución espacial del viento a lo largo de la costa, que es donde se encuentran las mayores velocidades en el Perú.

Con la información obtenida de los modelos numéricos atmosféricos, se generó escenarios ambientales de la evolución del potencial eólico en el Perú, particularmente en la costa de Ica, que es donde se encuentran las mayores velocidades. Para generar los escenarios se utilizó el software VENSIM, el cual utiliza una técnica de resolución de ecuaciones diferenciales llamada Runge Kutta 4 (RK4).

Los resultados fueron comparados con información estadística obtenida de Ministerios de Energía y Minas (MEM), los cuales señalan que la energía eólica obtenida es comparable con la demanda de energía hidráulica para Lima, específicamente para uso propio.

1. Introducción

En la actualidad, el calentamiento global nos tiene en alerta climática debido a las consecuencias que conlleva, entre las cuales se encuentra la desglaciación. La desglaciación también conlleva a otros problemas como es el de la disminución de caudales, y esto afecta a los principales ríos de donde actualmente se extrae agua potable y energía hidroeléctrica, por lo tanto existe un problema hídrico en el Perú que será inevitable e irreversible; tal es así que, escenarios ambientales para el 2036 pronostican a la ciudad de Lima (Capital de Perú) con Estrés Hídrico. Aun no se conoce los potenciales escenarios de energía eléctrica para el Perú en el futuro pero, intuitivamente con lo anterior, se podría esperar un cambio negativo. Aproximadamente el 40% de la energía en el Perú es de origen hidroeléctrico y abastece al 75% de las industrias en el país (IPCC, 2007), y como en todos los países con alerta de estrés hídrico, deberíamos buscar alternativas de generación energética sostenibles en el tiempo y de gran magnitud, pero esto aún no se ha evaluado. Una gran alternativa que está tomando fuerza en todos los países del mundo en los últimos años, es la energía eólica.

El Perú, caracterizado por un clima complejo debido a sus tres regiones geográficas (costa, sierra y selva), pertenece a una zona de vientos superficiales de intensa magnitud de América del Sur. Particularmente, la costa peruana posee unas zonas llamadas Jet Costero (Quijano, 2011), en donde la velocidad del viento promedio oscila entre 10 a 12 m/s y se encuentra muy ceñido a la línea de costa influenciado principalmente por vientos provenientes del océano pacífico, como por ejemplo los Vientos Paracas que pueden llegar hasta 21 m/s (Quijano, 2013). Por otro lado, en la selva y la sierra peruana también encontramos vientos intensos del orden de 6 a 10 m/s los cuales tienen influencia de un Jet o vientos de bajo nivel (Low Level Jet, por su nombre en inglés) provenientes del océano atlántico y la selva amazónica (Marengo et al. 2004). Esta fuente de energía renovable podría ser la mejor alternativa de fuente energía y de adaptación al cambio climático. En la actualidad, Brasil y Chile son los principales países de Sudamérica que cuentan con esta tecnología, y China es el principal en todo el mundo (WWEA, 2014).

El presente proyecto pretende adaptar un modelo atmosférico regional con el que se pueda identificar las principales zonas de vientos aprovechables para la energía eólica y cuantificar su relevancia en función a la cantidad de energía que se obtendría de un parque eólico con turbinas estándar; todo esto asociado al mercado actual. Además se podrá identificar cuáles son las zonas más vulnerables al cambio climático con respecto a la energía eólica sugiriendo algunos potenciales escenarios ambientales como es el calentamiento del mar frente a Perú o el enfriamiento de la costa peruana.

Los resultados servirán a los tomadores de decisiones y a las empresas privadas como línea base para la inversión de proyectos energéticos de gran envergadura con miras al futuro del País y con una alternativa de energía sostenible con el que se pueda abastecer desde pueblos a ciudades enteras. Cabe destacar la importancia de que esta alternativa de energía es tan limpia y renovable como la hidroeléctrica pero más adecuada en cuanto al contexto de cambio climático en el Perú.

2. Planteamiento del problema

El cambio climático generará un impacto negativo e indirecto en la obtención de energía eléctrica en el Perú, por lo que es necesario proponer fuentes de energía alternativa, como la energía eólica, para mantener estable y cumplir con la demanda eléctrica actual y futura del país.

3. Objetivo general

- Cuantificar la energía eólica disponible en el Perú en la costa y estimar su evolución en el futuro.

4. Objetivos específicos.

- Utilizar la modelación numérica para estimar la velocidad del viento actual y futura.
- Evaluar la energía eólica en el futuro utilizando escenarios ambientales.

5. Hipótesis

La cantidad de energía eólica actual en el Perú es considerablemente comparable a otras fuentes de energía y sostenible.

6. Marco teórico

6.1. Sistema de vientos

El viento es un flujo compuesto de masas de un fluido denominado aire, que a su vez está compuesto de partículas y gases. Dicho de otra manera, el viento es el movimiento de masas de aire las cuales interactúan en uno de los cinco sistemas climáticos, la atmosfera. Los vientos predominantes frente a la costa peruana son los alisios de SE, que, en general, son más fuertes en el invierno y más débiles en el verano del Hemisferio Sur, con velocidades medias hasta 9m/s (~17 nudos). Al sur de los 14° S, especialmente frente a San Juan, los vientos son más intensos y son más persistentes de SE. Al norte de los 6° S, tal como frente a Talara, los vientos son más variables, con direcciones de S y

SW en las cuatro estaciones del año. Los vientos más débiles no se presentan en la misma época a lo largo de toda la costa; en Talara ocurren en Noviembre; en Chimbote en Agosto y Octubre, en Callao en Enero y Octubre y finalmente en San Juan en Marzo y Mayo (Zuta S. y Guillen O., 1970).

6.2. Dinámica atmosférica

Son las fuerzas causan que las parcelas de aire se aceleren o desaceleren, es decir crean o alteran el viento. La relación entre las fuerzas y el viento se llama dinámica atmosférica. Las leyes de Newton describen muy bien esta dinámica. La presión, la fricción y la advección son algunas de las fuerzas atmosféricas que actúan en el plano horizontal, existe otras fuerzas como la ocasionada por la rotación de la tierra o por el giro del viento alrededor de una curva, estas son llamadas fuerzas aparentes. La fuerza horizontal más importante para la formación del viento es el gradiente de presión.

6.3. Potencial Eólico

Es la capacidad del viento para producir teóricamente energía por un aerogenerador estándar (eficiencia 30%-40%, radio del rotor 30-40m). El potencial teórico aprovechable por el viento es:

$$P_{e\acute{o}lica} = \frac{1}{2} \rho A M^3 E \quad (4.42)$$

Donde: ρ es la densidad (m^3/s), E eficiencia de turbina, R es el radio del rotor, M es la magnitud del viento.

En el Perú existen lugares donde el clima favorece la presencia de vientos permanentes, y pueden ser aprovechados para aplicaciones de la energía eólica especialmente en territorios de la costa y sierra; sin embargo existe la probabilidad de encontrar en otros sitios estos recursos.

6.4. Modelo numérico atmosférico regional “MM5”

El modelo numérico de la atmosfera The PSU/NCAR mesoscale model, más conocido como MM5, es un modelo regional que contiene ecuaciones complejas relacionadas a los principales componentes atmosféricos que interactúan con la energía eólica, tales como la dinámica del viento, balance radioactivo, turbulencia superficial, entre otros. Este modelo tiene la capacidad

de simular a una alta resolución espacial (hasta 1 km) y una alta resolución temporal (1 segundo). Las condiciones de frontera de este modelo generalmente se obtienen de modelos globales (NCEP Reanalysis, ERA iterim, GFS model, etc).

6.5. Modelo numérico de sistemas reales “Vensim”

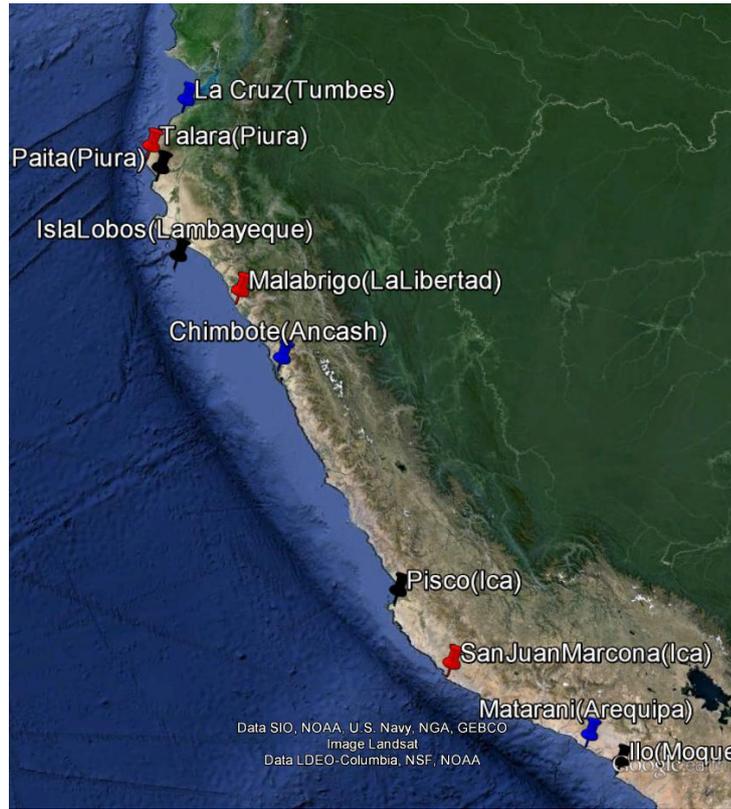
El modelo numérico Vensim, tiene la capacidad de modelar sistemas reales dependiendo de la calidad de datos que se posea como condiciones de borde. La plataforma amigable que posee hace posible que la optimización de los modelos generados en este software sea intuitivo y de rápida comprensión. Posee una interfaz gráfica acoplada y se basa en los diagramas de flujo para la generación de modelos. Este modelo tiene la capacidad de simular a una alta resolución temporal (hasta 0.001 segundo) ya que posee un método de interpolación temporal complejo llamado método de Runge Kutta 4. Las condiciones de frontera por lo general son valores puntuales obtenidos de información de campo, aunque también tiene la capacidad de generar funciones que varían en el tiempo con el cual incrementa la exactitud del modelo a evaluar.

7. Metodología

7.1. Estaciones meteorológicas in situ

En la Figura 1, se muestra la red de estaciones costeras automáticas de la marca SUTRON (SUTON DCPs) administradas por el SENAMHI y el IGP, las cuales se encuentran distribuidas a lo largo de la costa peruana. Esta información fue procesada con ayuda del Instituto Geofísico del Perú (IGP, 2014).

Para establecer el estado actual de la velocidad del viento en la costa peruana se analizó el periodo comprendido entre el 2000 y 2014.



Grafica 1: Ubicación de la red de estaciones SUTRON

7.2. Simulación numérica del viento con modelos globales

Se generó la climatología espacial de la velocidad del viento usando los resultados de modelos numéricos globales para el periodo 1988 al 2010. Los modelos globales utilizados fueron:

- CCMP, con una resolución espacial de $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ (1° equivale a ~ 111 km.);
- NCEP 1, con una resolución espacial de $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$;
- NCEP 2, con una resolución espacial de $1.9^{\circ} \times 1.9^{\circ}$;
- ERA-Interim, con una resolución espacial de $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$.

7.3. Calculo del potencial eólico

Para el cálculo de potencial eólico se utilizó la siguiente formula:

$$P_{eólico} = \frac{1}{2} \rho v^3$$

(4.42)

Dónde:

ρ : Densidad (kg/m³);

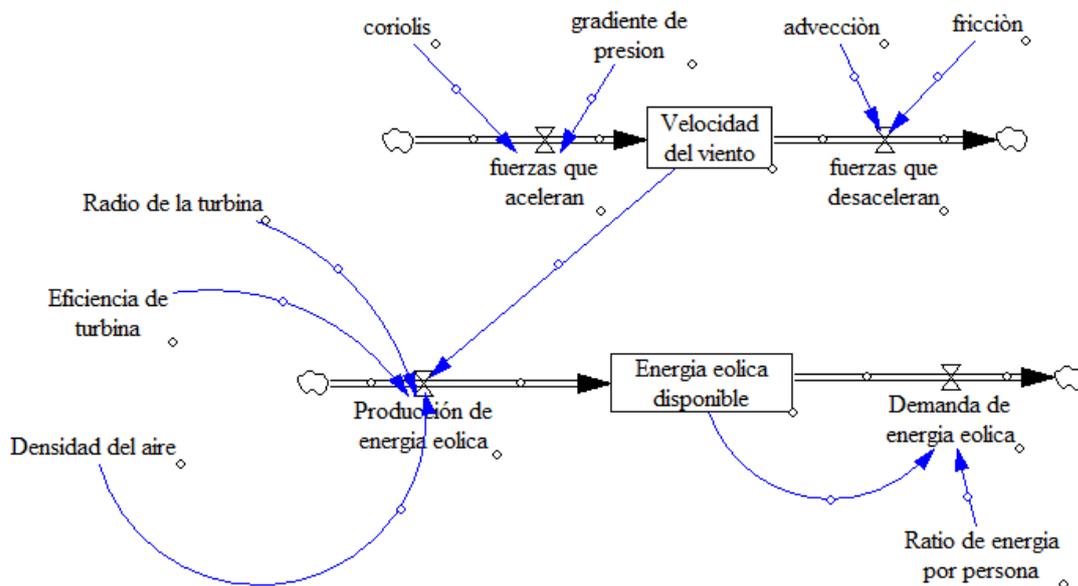
E : Eficiencia de turbina (%);

R : Radio del rotor (m);

M : Velocidad promedio del viento.

7.4. Evolución de la energía eólica con el modelo VENSIM

El modelo de evolución de energía eólica se alimentará de los resultados obtenidos en los modelos globales y regionales los cuales a su vez han sido validados con los resultados de datos in situ. El periodo de simulación es entre el 2010 y el 2100, con una resolución mensual. El esquema del modelo de la evolución de la energía eólica es el siguiente:



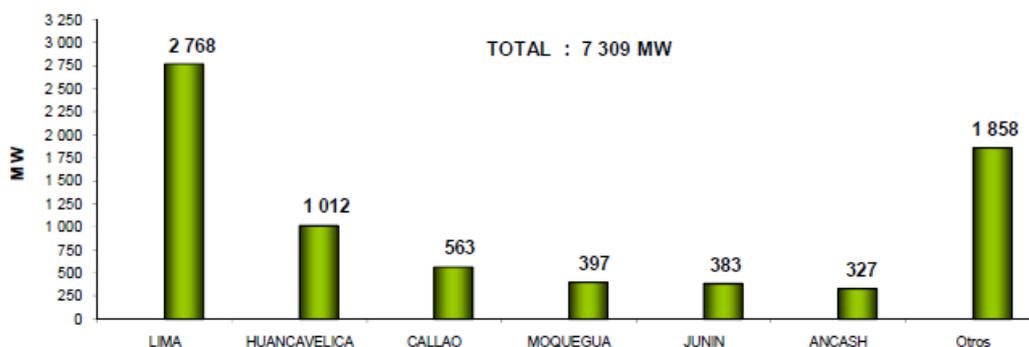
Grafica 2: Esquema del modelo para escenarios ambientales de energía eólica

7.5. Comparación con otras fuentes de energía.

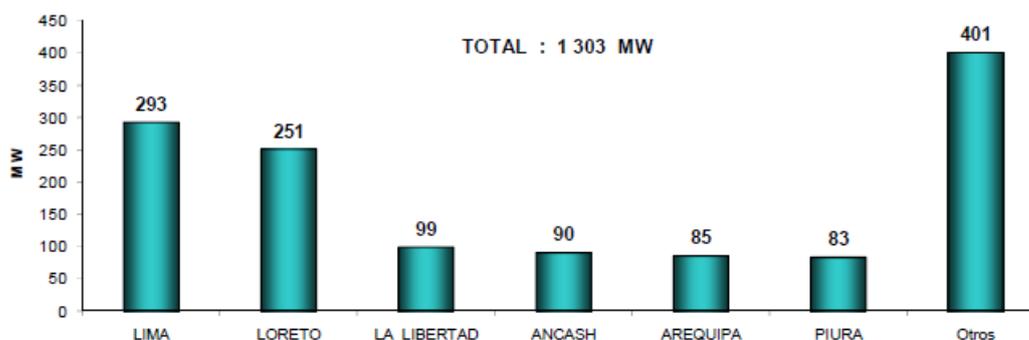
Se obtendrá información del Ministerio de Energía y Minas (MEM), clasificada por regiones y por tipo de fuente generado, en donde la energía eólica no es considerada por ser hasta ahora de magnitud despreciable. Se utilizará

información como la capacidad eléctrica instalada, expresada en Megawatts (MW) para las principales regiones del Perú. Esta servirá para comparación con lo obtenido en el modelo de evolución de la energía eólica en el Perú. Esta información se basa en información colectada para el año 2010. A continuación se muestra las gráficas de potencia instalada para el mercado eléctrico, uso propio y por fuente generadora de energía.

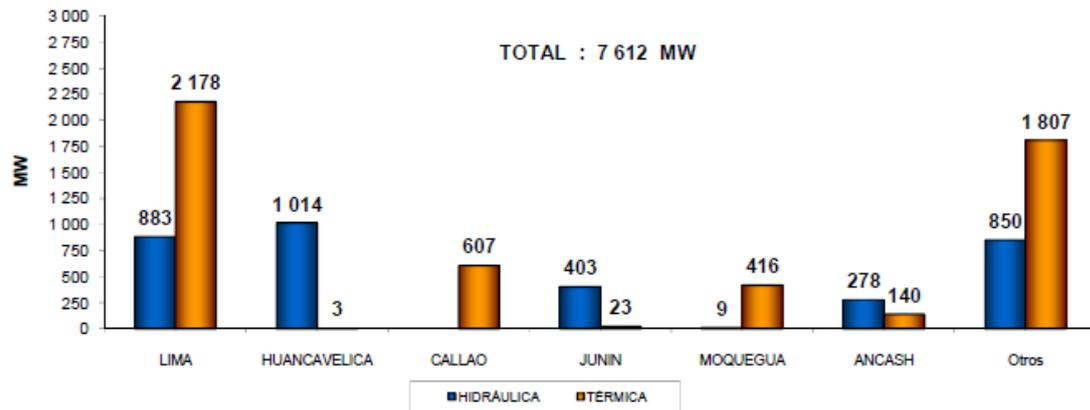
POTENCIA INSTALADA 2010 - MERCADO ELÉCTRICO



POTENCIA INSTALADA 2010 - USO PROPIO



Gráfica 3: Energía eléctrica para el mercado y uso propio, expresada en potencia instalada (MW) para el 2010 (Fuente: MEM, 2010)



Grafica 4: Energía eléctrica por fuente generadora, expresada en potencia instalada (MW) para el 2010 (Fuente: MEM, 2010)

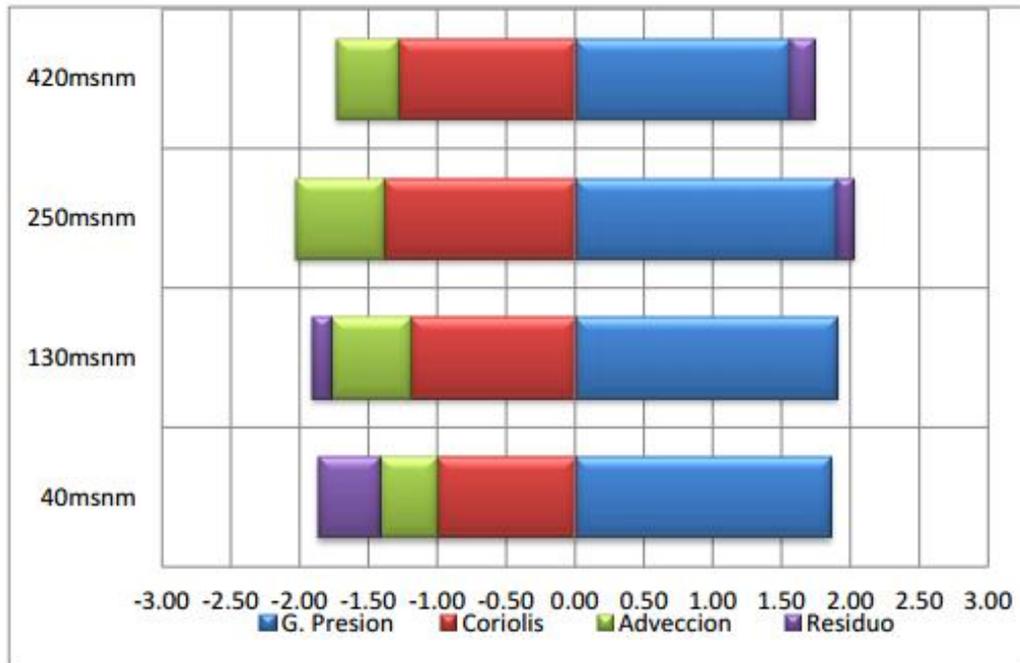
7.6. Condiciones de borde del modelo de evolución del potencial eólico

En la actualidad, la energía eólica está cobrando fuerza como medio de obtención de energía, y un ejemplo es la aprobación de la construcción del parque eólico Proyecto Marcona, justamente ubicado en Marcona, departamento de Ica (Diario El Comercio, 2014). Se pretende instalar una capacidad de 32 MW.

Para el modelo de evolución del potencial eólico las condiciones iniciales fueron:

- Potencial eólico inicial: 32 MW (obtenido de información periodística)
- Velocidad del viento inicial: 10 m/s (obtenido de la información in situ y modelos globales)
- Radio de la turbina: 5m
- Eficiencia de la turbina: 0.70
- Densidad del aire constante: 1.2 kg/m^3

Las aceleraciones de las fuerzas del viento se obtuvieron en función a un análisis de la dinámica del viento a 10 metros sobre el nivel del mar (msnm) frente a Ica (Quijano, 2011).



Grafica 5: Aceleración de la fuerzas que generan el viento frente a Marcona, Ica. Fuente: Quijano, 2011.

7.7. Escenarios futuros propuestos

Se utilizó el software VENDIM con la utiliza una técnica de resolución de ecuaciones diferenciales llamada Runge Kutta 4 (RK4). Los escenarios futuros se describen a continuación:

Escenario 1: La dinámica del viento se mantiene estable como al inicio. La aceleración del gradiente de presión es 1.9 m/s^2 por parcela de aire transportada.

Escenario 2: La dinámica del viento sufre cambios en la gradiente de presión producto del incremento de temperatura atmosférico. La aceleración del gradiente de presión es 1.95 m/s^2 por parcela de aire transportada.

Escenario 3: La dinámica del viento sufre cambios en la gradiente de presión producto del incremento de temperatura atmosférico. La aceleración del gradiente de presión es 2.0 m/s^2 por parcela de aire transportada.

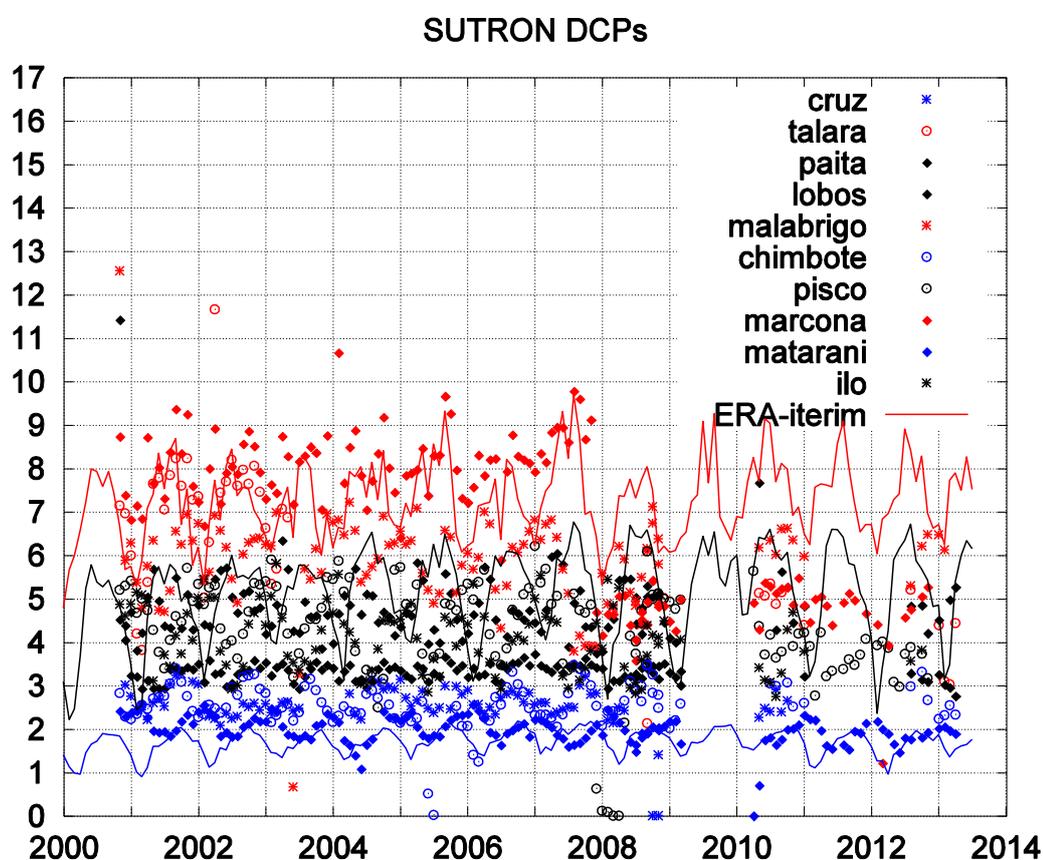
8. Resultados

8.1. Velocidad del viento in situ

Según la gráfica 3, la velocidad del viento a lo largo costa alcanza en promedio oscila entre 1.5 m/s a 10 m/s, por lo que se puede clasificar las intensidades de la siguiente manera:

- Intensos (6 - 10 m/s): Talara, Malabrigo y Marcona
- Moderados (3 - 6m/s): Paita, Isla Lobos, Pisco e Ilo.
- Leves (1.5 - 3m/s): Caleta La Cruz, Chimbote y Matarani.

Además podemos observar que en la gráfica 3 se compara estos resultados con lo obtenido en el modelo de reanals ERA-Iterim, el cual muestra intensidades y patrones temporales muy similares para los mismos puntos geográficos en que se midió la velocidad del viento con datos in situ.



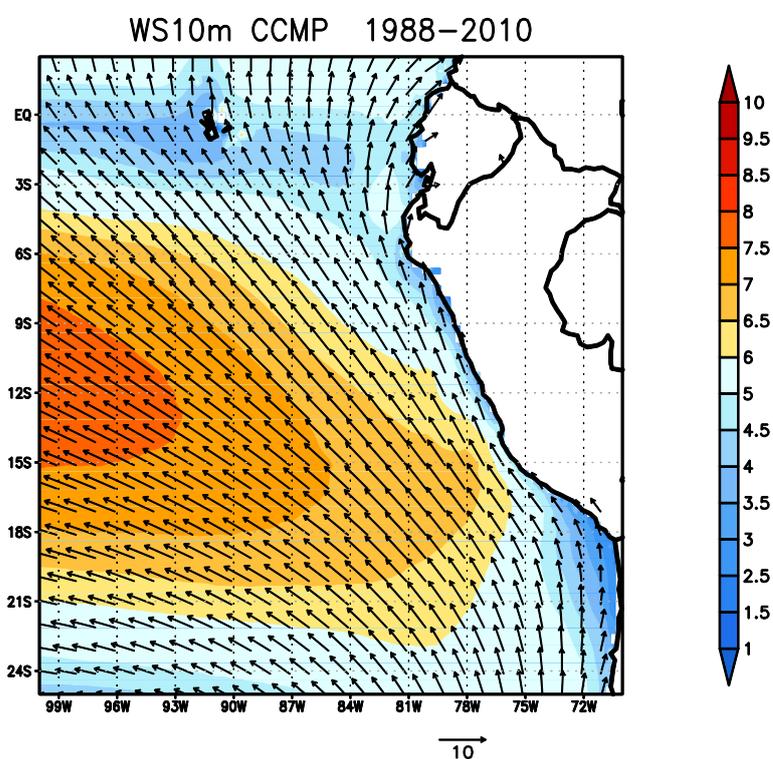
Grafica 6: Velocidad del viento (m/s) a lo largo de la costa según los datos de las estaciones costeras automáticas SUTRON DCPs. Los contornos muestran la misma información pero obtenido de los datos de reanálisis ERA-Interim (2.5°x2.5°) para las mismas posiciones correspondientes a Caleta La Cruz (contorno azul), Isla Lobos (contorno negro) y San Juan de Marcona (contorno rojo).

8.2. Climatología del viento obtenido de modelos numéricos globales

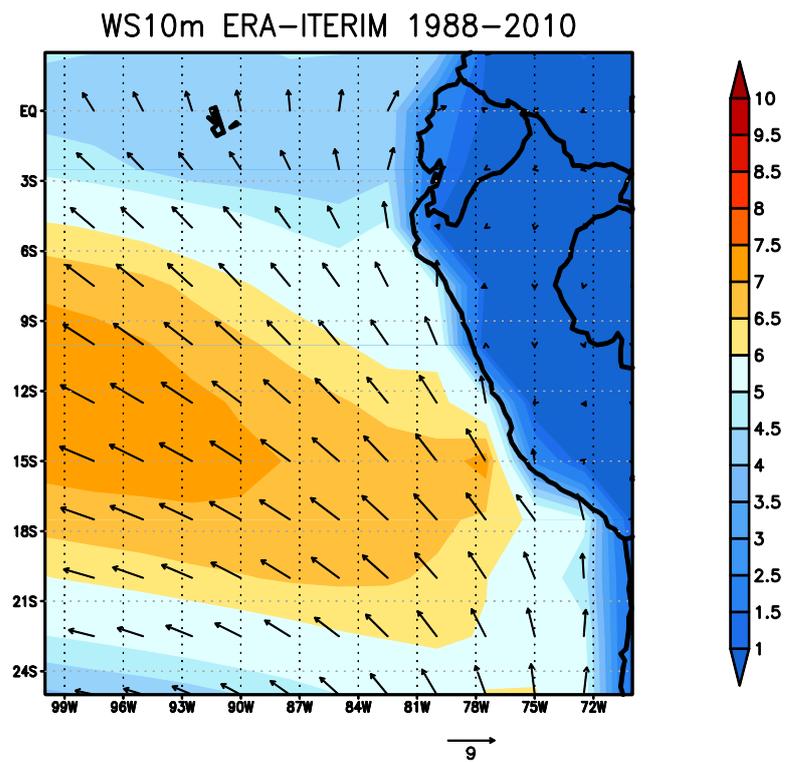
Los modelos climáticos de velocidad del viento muestran unas distribuciones espaciales similares, siendo el modelo de ERA-Interim el que más se aproxima a la realidad, según lo obtenido en el punto anterior.

Según los resultados de todos los modelos evaluados (Gráficas 4 a 7), la distribución espacial del viento a lo largo de la costa nos muestra que la región de Ica es la que posee las mayores intensidades, debido a que frente a la costa de Ica existe un núcleo de alta intensidad de viento (8.5 m/s) denominado Jet Costero (Quijano, 2011).

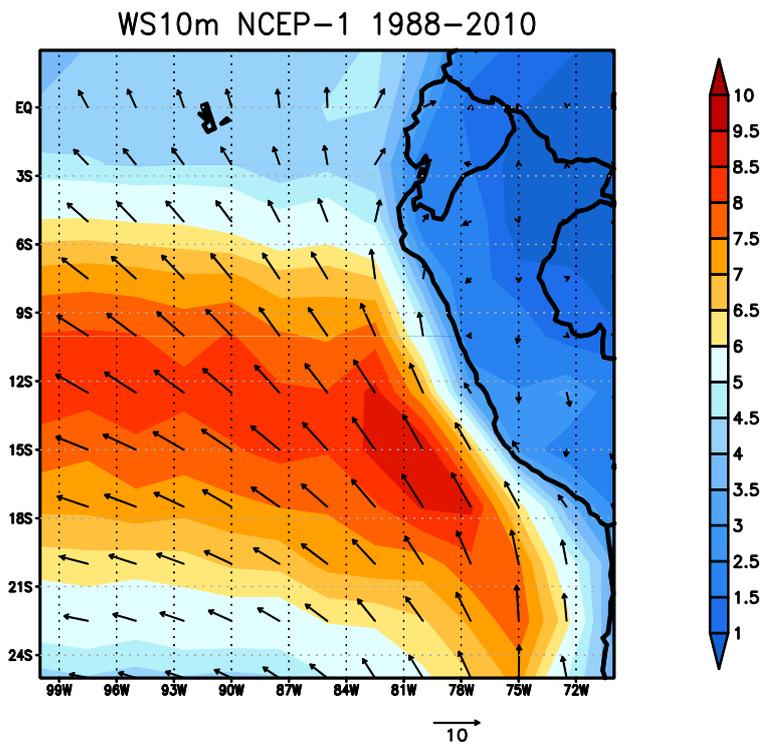
Por lo tanto, según la información in situ y los resultados de modelos climáticos, la velocidad del viento en la costa en promedio es de clasificación intensa (6-10 m/s). Por lo que para el modelo de evolución del potencial eólico tomaremos como condición actual un valor conservador de 10 m/s como velocidad inicial del viento al 2010, correspondiente a la zona de Ica.



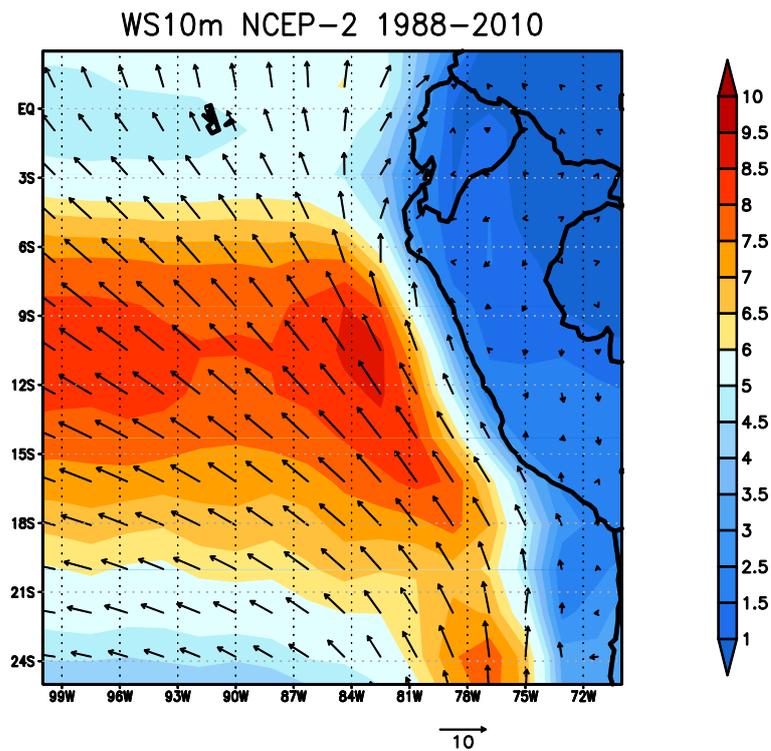
Grafica 7: Promedio mensual de la velocidad superficial del viento (m/s) entre 1988-2010. Datos: Cross-Calibrated Multi-Platform (0.25°x0.25°)



Grafica 8: Promedio mensual de la velocidad del viento (m/s) a 10 metros entre 1988-2010. Datos: ERA-Interim (2.5°x2.5°)



Grafica 9: Promedio mensual de la velocidad del viento (m/s) a 10 metros entre 1988-2010. Datos: NCEP/NCAR Reanalysis 1 (2.5°x2.5°)



Grafica 10: Promedio mensual de la velocidad del viento (m/s) a 10 metros entre 1988-2010. Datos: NOAA NCEP-DOE Reanalysis 2 (1.9°x1.9°)

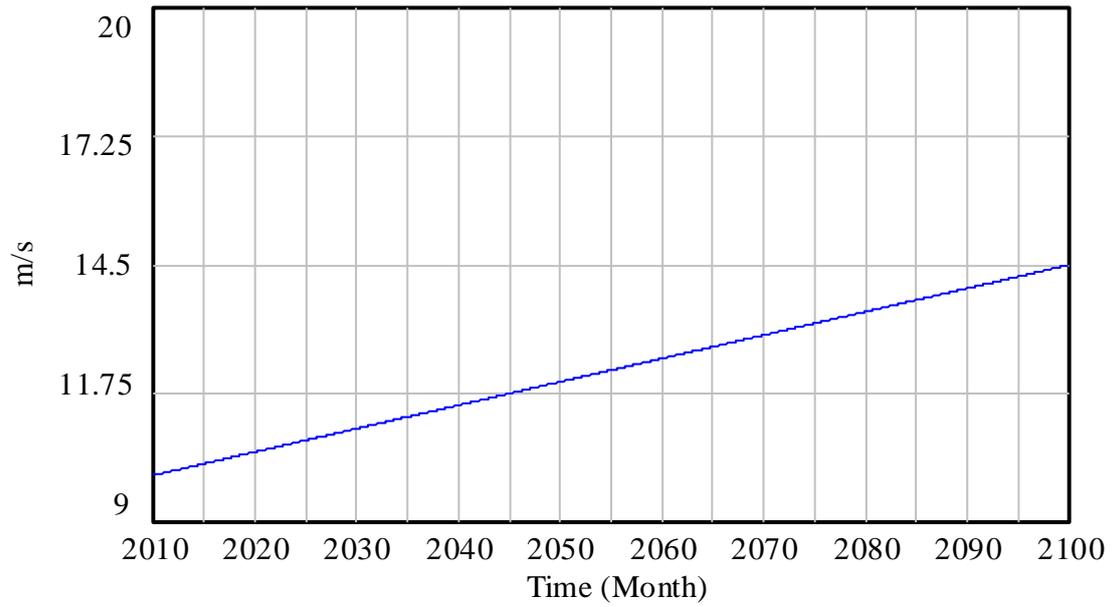
8.3. Escenarios futuros de potencial eólico (2010-2100)

A continuación se presentan los resultados que se obtuvieron en los diferentes escenarios futuros propuestos:

8.3.1. Escenario 1

La velocidad del viento se incrementaría de 10m/s a 14.5 m/s aproximadamente en el 2100, lo cual implica que el potencial eólico también se incrementaría de 32 MW a casi 43 MW hacia el 2100.

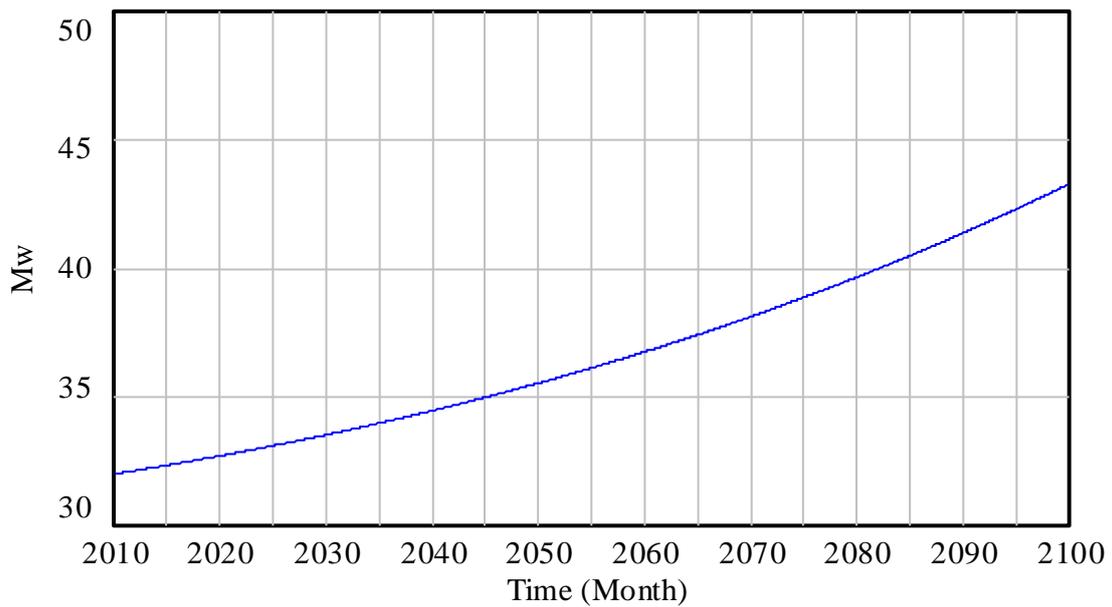
Velocidad del viento



Velocidad del viento : Current

Grafica 11: Velocidad del viento (m/s) del escenario 1

Energía eólica disponible

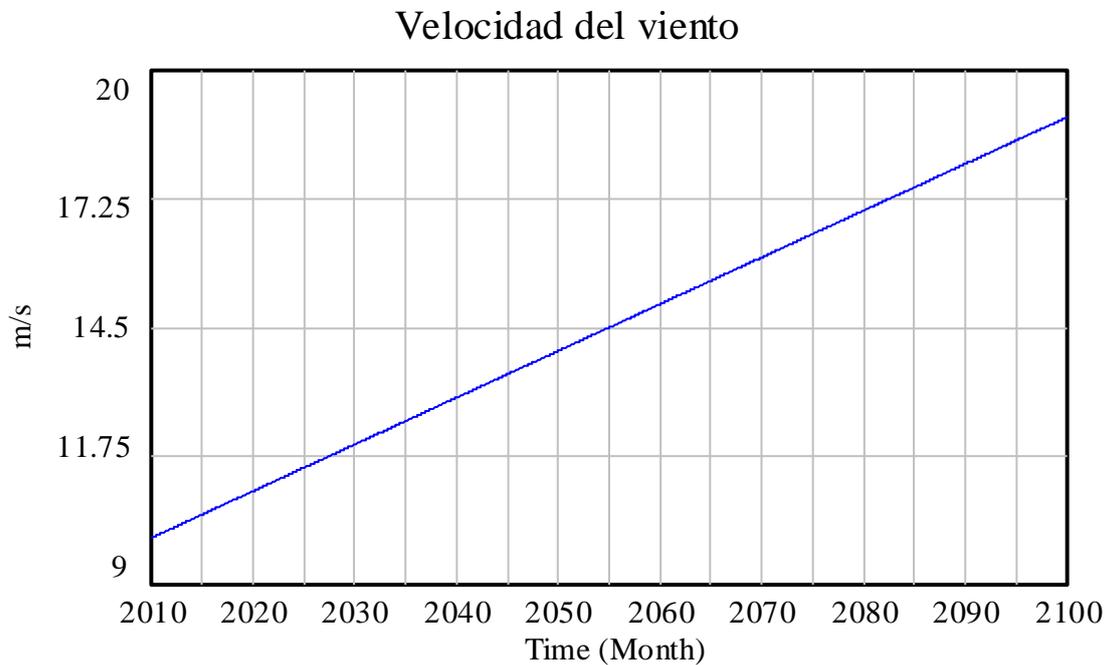


Energía eólica disponible : Current

Grafica 12: Energía eólica futura del 2010 al 2100 en el escenario 1.

8.3.2. Escenario 2

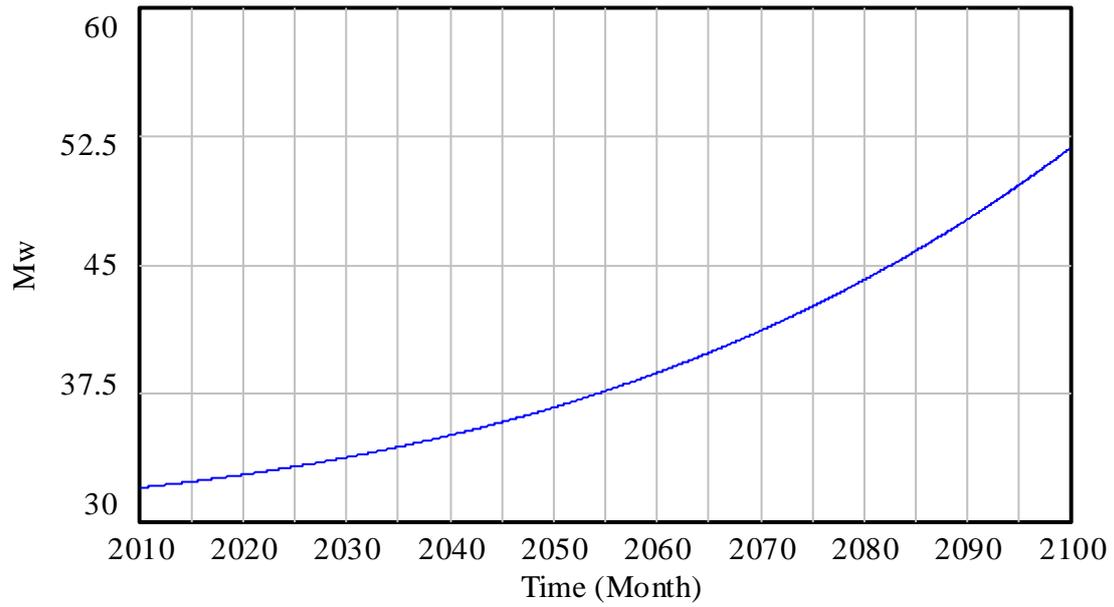
La velocidad del viento se incrementaría de 10m/s a 18 m/s aproximadamente en el 2100, lo cual implica que el potencial eólico también se incrementaría de 32 MW a casi 51 MW hacia el 2100.



Velocidad del viento : Current

Grafica 13: Velocidad del viento (m/s) del escenario 2

Energía eólica disponible



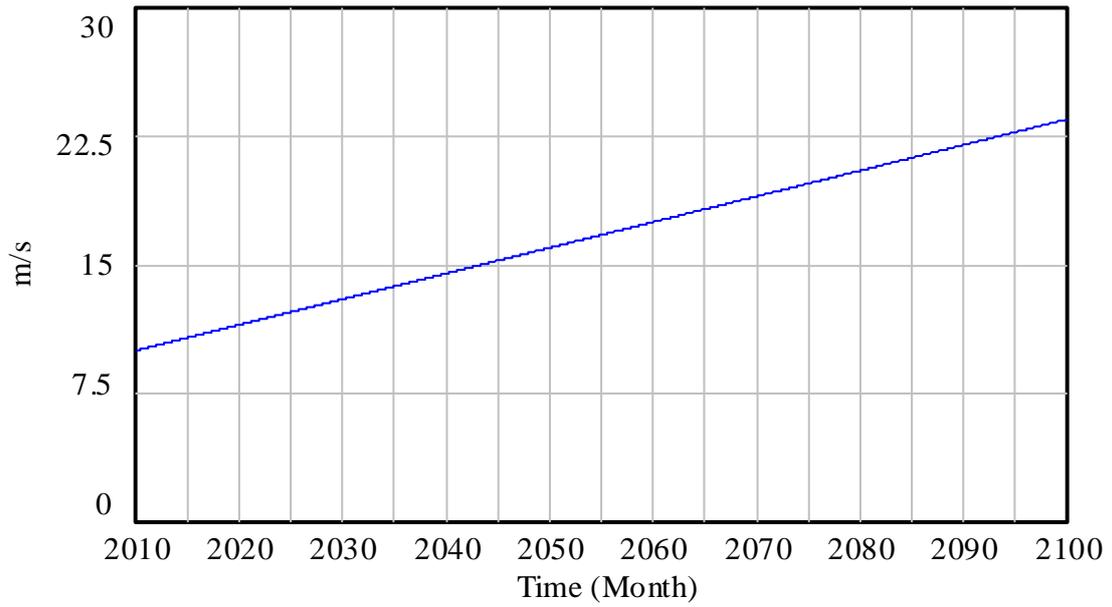
Energía eólica disponible : Current

Grafica 14: Energía eólica futura del 2010 al 2100 en el escenario 2.

8.3.3. Escenario 3

La velocidad del viento se incrementaría de 10m/s a 22.5 m/s aproximadamente en el 2100, lo cual implica que el potencial eólico también se incrementaría de 32 MW a casi 64 MW hacia el 2100.

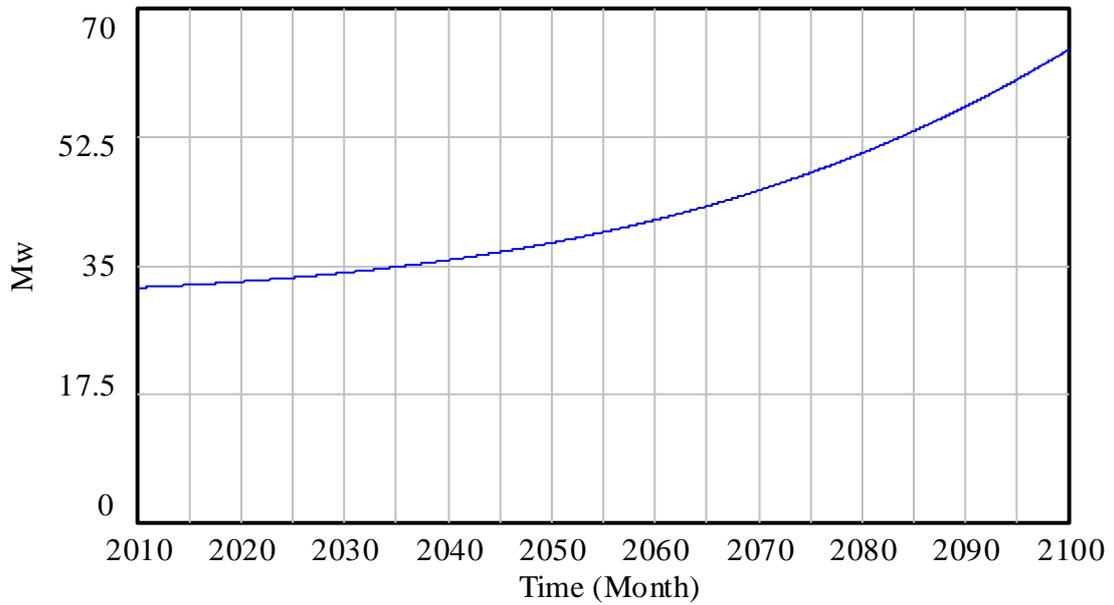
Velocidad del viento



Velocidad del viento : Current

Grafica 15: Velocidad del viento (m/s) del escenario 3

Energía eólica disponible



Energía eólica disponible : Current

Grafica 16: Energía eólica futura del 2010 al 2100 en el escenario 3.

8.4. Comparación de energía eólica

Los escenarios descritos anteriormente muestran los resultados que se podría obtener utilizando una sola turbina eólica, sin embargo para un parque eólica se requieren por lo menos 10 turbinas eólicas como mínimo, entonces los resultados anteriores se multiplican por 10 para luego realizar la comparación.

Según las tablas 1, la energía eólica obtenida al 2100 sobrepasa la demanda actual de energía de uso propio (293 MW) con un valor de 640 MW, sin embargo para uso comercial no llega a alcanzar dicha demanda (2768 MW).

Según las tablas 2, la energía eólica obtenida al 2100 es comparable a la energía hidráulica (883 MW) con un valor de 640 MW, sin embargo para no se compara a la fuente térmica (2178 MW).

Tabla 1: Comparación de energía por tipo de uso

Descripción / Escenario	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Uso Propio	Uso comercial
Capacidad instalada al 2100	430 MW	510 MW	640 MW	293 MW	2768 MW

Tabla 2: Comparación de energía por tipo de fuente

Descripción / Escenario	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3	Fuente hidráulica	Fuente térmico
Capacidad instalada al 2100	430 MW	510 MW	640 MW	883 MW	2178 MW

Conclusiones

Se utilizó la información de estaciones costeras y de modelos numéricos atmosféricos para obtener información de la velocidad del viento, la cual fue utilizada para generar los escenarios ambientales de potencial eólico usando el software VENSIM. Las conclusiones más resaltantes son:

- Variaciones leves del gradiente de presión, generan incrementos considerables en la velocidad del viento, y estos a su vez diferencias exponenciales en el potencial eólico de manera que el máximo potencial eólico obtenido en los escenarios fue 640 MW.
- La evaluación de la energía eólica futura demuestra que la hipótesis es correcta, la energía eólica es comparable a otras fuentes de energía como la hidráulica, donde esta última representa el 75 % de la energía en el Perú.

- En un potencial escenario futuro al 2100 la energía eólica de uso propio puede ser abastecida ampliamente por energía eólica, mientras que la energía de uso comercial requerirá de mayor cantidad de parques eólicos (de diez turbinas) o de mayor eficiencia de las mismas.

Bibliografía

ADILNELSA (1993). Mapa Eólico del Perú (Preliminar). J. Velásquez ADILNELSA .

ADILNELSA (2004), JOVS-Evaluación Técnica Centrales Eólicas de Malabrigo y Marcona. Anexo 2 Informe Técnico Central Piloto San Juan de Marcona. Gerencia de Comercialización y Sistemas. Documento técnico.

Ahrens D., 2000. Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment, Sixth edition. 511 Forest Lodge Road Pacific Grove, CA 93950 USA: Thompson Learning BROOKS/COLE. P.210-270. ISBN 0-534-37201-5.

Bakun (1987). Monthly variability in the oceanic habitat off Perú as deduced from maritime observations, 1953-1984. The Peruvian Anchoveta and Its Upwelling Ecosystem: Three Decades of Change, ICALRM Studies and Reviews Volumen 15. Pauly and Tsukayama. p46-74.

Bakun, A., 1990. Global climate change and intensification of coastal ocean upwelling. Published by American Association for the Advancement of Science. Science Magazine, Washington DC, USA.

Bedford and Fowler., 1996. Mecánica para Ingeniería Estática y Dinámica. Addison Wesley Iberoamericana, Wilmington. Pp.100-224.

Bertrand Sophie, 2010. Clases de Maestría en Estadística aplicada a la oceanografía. Universidad Peruana Cayetano Heredia, UPCH. Cap. 11: Regresión lineal. Cap.8: La correlación.

Burk and Thompson, 1995. The Summertime Loe-Level Jet and Marine Boundary Layer Structure along the California Coast. *Monthly Weather Review*, Vol. 124. p.668-685

Dudhia, J., Guo, D. G. Y., Manning, K., Michalakes, J., y Wang, W.: 2001, PSU/NCAR Mesoscale Modeling System. Tutorial Class Notes and User's Guide. MM5 Modeling System Version 3. Boulder, Colorado USA. Mesoscale and Microscale Meteorology division. National Center for Atmospheric Research.

Edwards and Rogerson, 2001. Adjustment of the Marine Boundary Layer to a Coastal Cape. *Journal of the Atmospheric Sciences*. Vol. 58. p.1511-1528.

Haagenson and Dudhia, 1994. The Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5) Source Code Documentation. Boulder Colorado USA: National Center for Atmospheric Research, NCAR Technical Note, ncar/tn-392+str.p.1-63.

Halpern D., 2002. Offshore Ekman transport and Ekman pumping off Peru during the

1997–1998 El Niño. *Geophysical Research Letters*, Vol. 29.

Hsu S.,1988. *Coastal Meteorology*.1250 Sixth Avenue, San Diego, California 92101: Academic Press Inc. p.1-257. ISBN 0-12-357955-4

Dinámica de Sistemas

<http://www.dinamica-de-sistemas.com/>



Vensim

<http://www.atc-innova.com/>

Libros

Cursos Online



[Ejercicios](#)



[Curso Básico Intensivo en Dinámica de Sistemas](#)



[Avanzado](#)



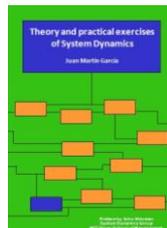
[Curso Superior en creación de modelos de simulación](#)



[Conceptos](#)



[Modelos de simulación en ecología y medioambiente](#)



[English](#)



[Planificación de empresas con modelos de simulación](#)



[Português](#)



[System Thinking aplicado al Project Management](#)