



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL ROSARIO

Cátedra: Algoritmos Genéticos

Trabajo Práctico Integrador

Tema: Parque Eólico

Integrantes del grupo:

Nombre	Legajo	Correo
Bassi, Danilo	43725	danilo-bassi@hotmail.com
Bella, Sebastián	43784	sebastian.o.bella.it@gmail.com
Garello, Iván	43804	ivangarello@gmail.com
Vacchino, Lucas Nehuén	43870	lnvacchino@gmail.com
Zilli, Joel Matías	44107	joelz97@outlook.com

Ciclo lectivo: 2020

Profesores:
Daniela Diaz y Victor Lombardo

Índice

1. Situación Problemática	1
2. Problema	1
3. Objetivos de la investigación	1
3.1. Objetivo general	1
3.2. Objetivo específico	1
4. Marco Teórico	1
4.1. Aerogeneradores	1
4.2. Aprovechamiento de la energía eólica	2
4.3. Efecto Estela	3
4.3.1. Modelo del efecto de estela simple	3
4.4. Condiciones de la superficie terrestre influyentes en la velocidad del viento	3
4.4.1. Rugosidad, cizallamiento y escarpas	4
4.4.2. Obstáculos: abrigo y turbulencia	5
4.4.3. Efectos túnel y colina	5
4.4.4. Características geográficas del Sur de Santa Fe	6
4.5. Costos y Ley 27.191	7
5. Bibliografía	8

Proyecto de investigación - Documento guía para la investigación

Universidad Tecnológica Nacional de Rosario

Danilo Bassi, Sebastian Bella, Iván Garello, Lucas Vacchino, Joel Zilli

Resumen

El presente documento tiene como objetivo dejar claramente establecido qué es aquello que se puede realizar como una futura investigación relacionada a la asignatura Algoritmos Genéticos.

También, la finalidad es servir de guía para el desarrollo del proyecto de investigación, el cual será un ejecutable que siga la temática: "Parque Eólico".

1. Situación Problemática

Al momento de la modelización de un parque eólico se deben tener en cuenta varios factores importantes que pueden afectar a la cantidad de energía generada. Uno de los principales aspectos en este sentido es la cantidad de aerogeneradores a ubicar. Pero no sólo es importante saber cuántos van a colocarse, sino dónde y de qué tipo; dado que cada modelo de turbina eólica es capaz de generar para una misma velocidad de viento diferentes potencias (en KW). Esto depende exclusivamente al tamaño del rotor de las turbinas, el diseño, la eficiencia, etc. La curva que modela la relación de la potencia generada en función del viento se llama Curva de Potencia, y será definida mas adelante en este documento.

Como se mencionaba anteriormente, la ubicación es un factor muy importante, no sólo por el hecho de que cada aerogenerador perturba el viento que incide en él, afectando al próximo, provocando el denominado *Efecto Estela*, sino que también entran en juego otras cuestiones asociadas al terreno en sí. Las diferentes formas de terreno pueden causar efectos tanto positivos como negativos al viento que pasa sobre el mismo.

Otra cuestión a tener en cuenta son los datos históricos del viento donde se colocan los aerogeneradores. Es importante saber tanto las velocidades medias de los vientos para saber el tipo de turbina eólica a colocar y las direcciones de donde proviene el viento, dado que eso será un factor clave para decidir cómo colocar las turbinas de forma que se eviten efectos no deseados, como el Efecto Estela, Efecto Colina, turbulencias por obstáculos, etc.

2. Problema

El problema a abordar en el actual proyecto de investigación consiste en: ¿De qué forma optimizar la generación de energía de un parque eólico a ubicarse en la Provincia de Santa Fe de manera tal de obtener la mayor potencia generada posible teniendo en cuenta las distintas situaciones problemáticas?

3. Objetivos de la investigación

3.1. Objetivo general

La meta principal del proyecto es la creación de una solución de Software que permita obtener la mayor potencia posible en un parque eólico ubicado en la Provincia de Santa Fe. Lo que consiste en la distribución de una cierta cantidad de generadores eólicos en un espacio determinado.

3.2. Objetivo específico

- Generar la mayor potencia posible.
- Evitar o disminuir el efecto estela entre generadores.
- Determinar ubicaciones favorables para las turbinas eólicas de manera tal que se pueda generar mayor potencia con menor cantidad de aerogeneradores.

4. Marco Teórico

A continuación serán detallados los aspectos fundamentales que deben tenerse en cuenta a la hora de la colocación de generadores en parque eólicos, así como también características de los mismos e información adicional que será útil para una futura construcción de un modelo.

4.1. Aerogeneradores

En términos generales, un aerogenerador es un generador eléctrico, cuyo funcionamiento se basa en transformar la energía cinética del viento (también llamada energía eólica) en energía mecánica, para luego convertirla en energía eléctrica.

El viento, proporciona energía mecánica a un rotor hélice que, a través de un sistema de transmisión mecánico, hace girar un generador que convierte la energía mecánica rotacional en energía eléctrica.

Existen dos tipos de turbinas eólicas en el mercado: de eje vertical y de eje horizontal. En este caso, nos centraremos en el segundo tipo, dado que todos los aerogeneradores comerciales conectados a la red se construyen actualmente con un rotor tipo hélice de eje horizontal.

Estos generadores son aquellos en los que el eje de rotación del equipo se encuentra paralelo al suelo. Esta es la tecnología que se ha impuesto, por su eficiencia, confiabilidad y la capacidad de adaptarse a diferentes potencias.

Sus partes mas importantes de este tipo de turbinas eólicas son:

- **Rotor:** las palas del motor, construidas principalmente con materiales compuestos, se diseñan para transformar la energía cinética del viento en un momento torsor en el eje del equipo. Los rotores modernos pueden llegar a tener diámetros superiores a 80 metros y producir potencias equivalentes de varios MW.
- **Buje:** Es la pieza de unión entre las palas y el eje principal, y por lo tanto el transmisor de la fuerza del viento al interior de la góndola.
- **Góndola o nacelle:** en su interior contiene los diferentes dispositivos que van a transformar la energía mecánica del rotor en energía eléctrica, además en su exterior cuenta con el anemómetro y una veleta que facilitan información continua a todo el sistema para su control. Se encuentra a la altura del buje (ver fig. 1).
- **Generador:** Es el componente de la turbina que transforma la energía mecánica en energía eléctrica, tal y como hace una dinamo de una bicicleta, aunque generando normalmente corriente alterna. Existen diferentes tipos dependiendo del diseño del aerogenerador.
- **La torre:** sitúa el generador a una mayor altura, donde los vientos son de mayor intensidad, así como para permitir el giro de las palas, y transmite las cargas del equipo al suelo.
- **Sistema de control:** se hace cargo del funcionamiento seguro y eficiente del equipo, controla la orientación de la góndola, la posición de las palas y la potencia total entregada por el equipo.

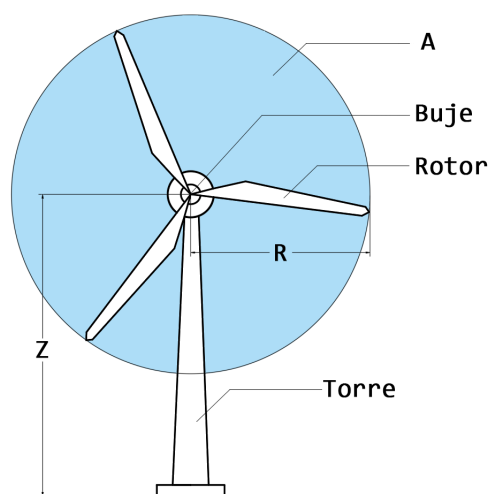


Figura 1: Esquema simple de un aerogenerador de eje horizontal.

'A' es el área abarcada por el rotor y 'Z' es la altura del buje con respecto al suelo.

4.2. Aprovechamiento de la energía eólica

Un aerogenerador no puede aprovechar el 100 % de la energía cinética del viento que lo atraviesa. Si esto fuese cierto, no habría viento detrás del rotor de la turbina.

Según la ley de Betz, existe una eficiencia máxima que puede alcanzar un aerogenerador. Esta, se suele expresar mediante el coeficiente de potencia C_p , que es la relación entre la potencia generada y la potencia con la que incide el aire:

$$C_p = \frac{P_{\text{GENERADA}}}{P_{\text{INCIDENTE}}} = 4a(1 - a)^2$$

siendo a el coeficiente de inducción axial definido como:

$$a = \frac{v_0 - v_1}{v_0}$$

en donde v_0 es la velocidad incidente del viento en el rotor y v_1 la velocidad con la que sale el viento del aerogenerador.

De esta manera, realizando la derivada de C_p con respecto al coeficiente de inducción axial e igualando a 0, podemos obtener que el punto del valor de a que maximiza la función $C_p(a)$. Dicho valor es $a = 1/3$, Obteniendo un límite de eficiencia de $C_{p_{\text{max}}} = 16/27 \approx 0.5927$. Debido a esto, los fabricantes de turbinas eólicas, realizan sus diseños para obtener un a lo mas cercano posible a este valor.

De igual manera, cada turbina, según su diseño, es capaz de generar diferentes cantidades de potencia según el viento incidente. Para facilitar los cálculos, los fabricantes suelen incluir una curva de potencia, en donde se indica la potencia que es capaz de generar el aerogenerador a diferentes velocidades del viento. Por ejemplo, en la figura 2 puede observarse la curva de potencia para el aerogenerador Gamesa G47:

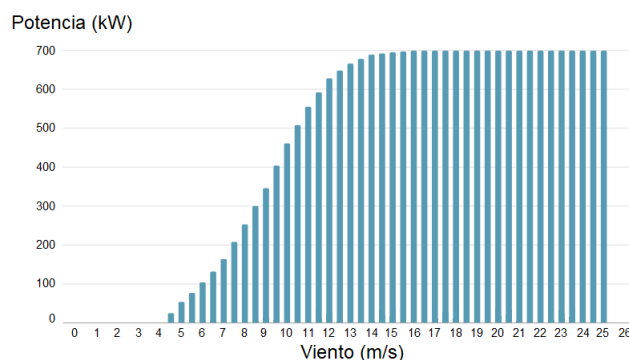


Figura 2: Curva de potencia del aerogenerador Gamesa G47

Puede observarse, además, que los generadores eólicos detienen su funcionamiento cuando hay vientos fuertes. Esto se realiza por cuestiones de seguridad, evitando que se quemen componentes eléctricos del generador, así como también evitar excitaciones en la frecuencia de resonancia de la estructura, lo que podría causar un colapso total.

4.3. Efecto Estela

Se denomina estela al rastro en el fluido, o sea en el agua o en el aire, que deja tras de sí un cuerpo en movimiento.

Como se menciono anteriormente, un aerogenerador produce energía a partir de la energía cinética del viento, por lo tanto el viento que abandona la turbina debe tener un contenido energético menor que el que llega a la turbina. Esto se deduce directamente del hecho de que la energía ni se crea ni se destruye (principio de conservación de la energía, también conocida como primera ley de la termodinámica).

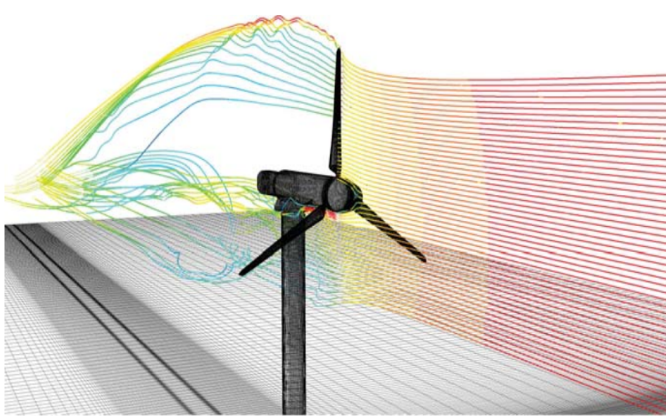


Figura 3: Perturbación del viento por parte de una turbina eólica. (Efecto Estela)

Es por esto que habrá una estela tras la turbina, es decir, una larga cola de viento bastante turbulenta y ralentizada, si se compara con el viento que llega a la turbina. De hecho, la estela de una turbina eólica puede hacerse visible si se añade humo al aire que pasa a través de la turbina. (ver fig 4)

En los parques eólicos, para evitar una turbulencia excesiva corriente abajo alrededor de las turbinas, cada una de ellas suele estar separada del resto una distancia mínima equivalente a tres diámetros del rotor. En las direcciones de viento dominante esta separación es incluso mayor.



Figura 4: Estela visible en turbinas eólicas al añadir humo al viento entrante

4.3.1. Modelo del efecto de estela simple

El presente modelo es una simplificación del modelo de decaimiento de la estela propuesto por N.O Jensen, realizado por Mosetti et. al. Este se basa en la hipótesis de conservación del momento dentro de la estela.

Al salir de la primera turbina eólica, la estela tiene un radio $r_1 = R$ (radio de la turbina). Conforme se va incrementando la distancia corriente abajo, el radio se irá incrementando según la ecuación $r_1 = R + \alpha x$. (ver fig. 5).

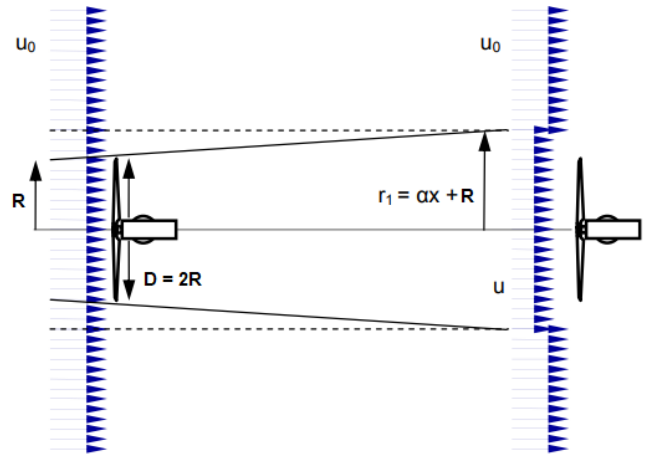


Figura 5: Esquema del efecto estela

Tras realizar el balance del momento dentro de la estela, admitiendo el crecimiento lineal propuesto y utilizando la teoría clásica de Betz para estimar la velocidad del viento detrás de un rotor, N.O Jensen llegó a la siguiente formula para describir el viento incidente a la segunda turbina eólica:

$$u = u_0 \left(1 - \frac{2/3}{(1 + \alpha(x/r_1))^2} \right)$$

Donde α se denomina constante de arrastre y se obtiene de forma empírica como:

$$\alpha = \frac{1}{2 \ln(Z/Z_0)}$$

Donde Z es la altura del buje (ver fig. 1) y Z_0 es el coeficiente de rugosidad superficial del terreno.

Mosetti et. al. utiliza una expresión ligeramente modificada para calcular la velocidad del viento, introduciendo a la ecuación el mencionado coeficiente de inducción axial:

$$u = u_0 \left(1 - \frac{2a}{(1 + \alpha(x/r_1))^2} \right)$$

Por lo tanto, para una turbina ideal, ambas expresiones son equivalentes, dado que $a = 1/3$. Pero según el diseño de el rotor, el coeficiente de inducción axial variará, haciendo que el viento incidente en el segundo aerogenerador esté mas o menos perturbado.

4.4. Condiciones de la superficie terrestre influyentes en la velocidad del viento

El viento en su circulación por la superficie terrestre es afectado por muchos parámetros que producen un efecto, normalmente negativo, en la velocidad y dirección del mismo. Esta variedad de efectos serán detallados a continuación.

Es relevante destacar que la mayoría de los factores se derivan de la presencia de obstáculos y de la orografía del terreno.

4.4.1. Rugosidad, cizallamiento y escarpas

Estos efectos cuantifican la ralentización del viento debido a las condiciones de la superficie terrestre. La rugosidad mide la disminución de velocidad del viento a causa de la fricción con la superficie y todos los elementos que se dispongan sobre ella. El efecto de la fricción será más notorio cuanto más cerca se encuentre el punto de medida de la superficie e irá disminuyendo progresivamente conforme se aleje.



Figura 6: Ejemplo de suelo que frena el aire

En zonas donde existan grandes masas de árboles o matorrales, se dispongan de edificios o similares la rugosidad será mucho mayor. La figura 6 se puede ver una superficie que muestra oposición al paso del viento y lo frena.

Una baja rugosidad, que conlleva a velocidades de viento superiores y por lo tanto a la obtención de mayor energía en un parque eólico, se dará en lugares con superficies lisas y sin obstáculos. Como ejemplo terrestre se tiene a las grandes pistas de los aeropuertos, pero aún más beneficiosas desde el punto de la generación de potencia mediante energía eólica, debido a su bajísima rugosidad, son las superficies acuáticas. En los mares y océanos la ralentización de los vientos es prácticamente despreciable.

Las diferentes mediciones de la rugosidad se escalan a partir de la clase de rugosidad, y su definición matemática se lleva a cabo a partir de la longitud de rugosidad, Z_0 . La longitud de la rugosidad es la altura sobre el nivel del suelo donde la velocidad es teóricamente cero, y se mide en metros.

Tabla 1: Valores aproximados de longitud de rugosidad Z_0 para diferentes tipos de terreno.

Z_0 (m)	Tipo de Terreno
0.0002	Superficie de agua. Terreno abiertos y llanos.
0.0024	Pistas de hormigón, campos abiertos con césped.
0.03	Colinas suavemente redondeadas.
0.055	Campos con casas y cultivos bajos.
0.1	Campos con casas y arbolados hasta 8 metros.
0.2	Campos con cultivos altos y arboles medianos.
0.4	Pueblos, bosques, terreno accidentado y desigual.
0.8	Ciudades con edificios altos.
1.6	Grandes ciudades con edificios altos y rascacielos.

Una representación conveniente para caracterizar las condiciones de una zona de estudio es la rosa de la rugosidad. Este elemento ofrece una visión complementaria a la rosa de los vientos. Se podrían identificar direcciones o sectores donde la rugosidad sea mínima y en consecuencia el efecto del cizallamiento sería menor. (ver fig. 7(a) y 7(b))

El cizallamiento del viento es la consecuencia directa de la rugosidad sobre la velocidad del viento. Se explica mediante el hecho de que la velocidad tome valores menores cerca del nivel del suelo y que este valor vaya aumentando su magnitud conforme se aleja del suelo.

Es importante conocer el perfil vertical de viento para caracterizar la producción de energía, pero sobre todo para el estudio mecánico de los aerogeneradores. Dentro de la superficie de la circunferencia que define el área de barrido de las palas de la turbina, la velocidad cambia de unos puntos a otros. Se produce un mayor empuje en la zona superior, donde la velocidad es más alta, que en la zona inferior.

Otro hecho significativo es que normalmente cuando se realizan las mediciones de viento no se suelen realizar a la altura del buje de la turbina y por tanto las medidas de velocidad a una altura dada tendrán que ser escaladas a la altura que en un futuro se obtendrá la energía.

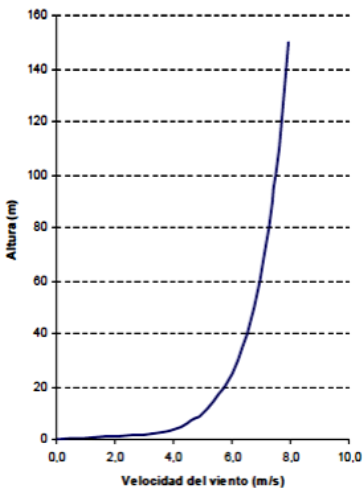


Figura 8: Cizallamiento del viento

La curva se obtiene a partir de la fórmula siguiente, que es función de la rugosidad Z_0 y de una velocidad de referencia V_{ref} , conocida a una altura determinada Z_{ref}

$$V = V_{ref} \frac{\ln \frac{Z}{Z_0}}{\ln \frac{Z_{ref}}{Z_0}}$$

La ecuación es de aplicación siempre que se consideren condiciones de estabilidad atmosférica neutra, es decir, que la temperatura del suelo sea aproximadamente la misma que la temperatura del aire.

Por último, el efecto de las escarpas. Esto se suele producir en parques que están situados en zonas costeras, cercanos a

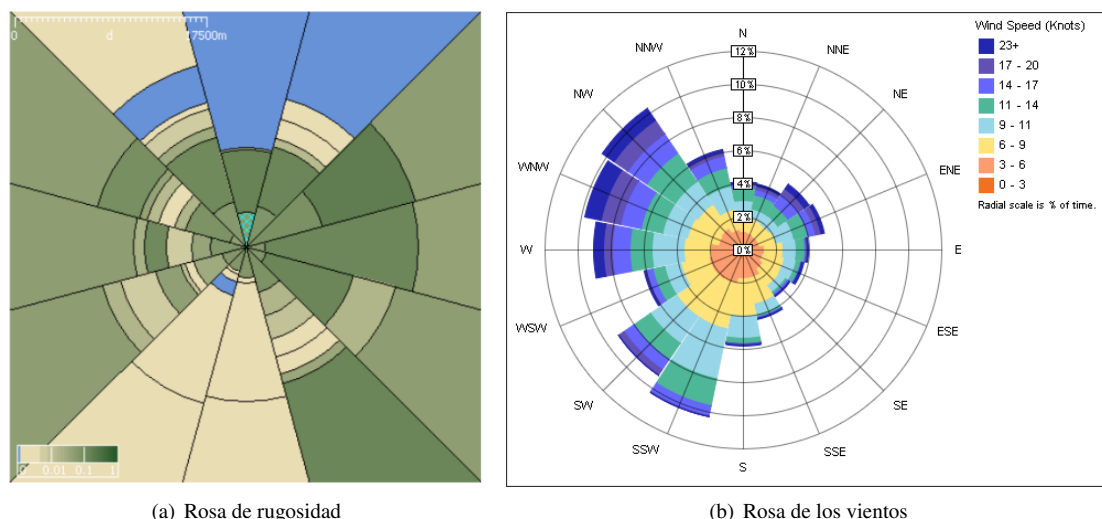


Figura 7: Ejemplo de rosa de los vientos y rosa de rugosidad

los acantilados. Estas formaciones naturales hacen que el viento se frene bruscamente al llegar a ellas y en consecuencia se produce una reorientación del aire provocando turbulencias no deseadas. A priori, se podría haber pensado en la obtención de una mayor energía por las grandes corrientes de viento, pero nada más allá de la realidad, se obtienen menores velocidades y corrientes muy turbulentas que dañan considerablemente a las turbinas.

4.4.2. Obstáculos: abrigo y turbulencia

Los lugares terrestres en los que se suelen situar los parques eólicos son zonas aisladas de las grandes ciudades, pero aún así se suelen encontrar en sus inmediaciones obstáculos que dificultan la circulación libre de las corrientes y que modifican los perfiles de velocidad. Los obstáculos más frecuentes son árboles, edificios, bosques o elevaciones rocosas todos con diferentes formas y porosidades siendo muy difíciles de cuantificar y modelar para estudiar el previsible efecto que van a tener sobre el parque.

La consecuencia inmediata por la presencia de estos obstáculos es que frenan el viento, disminuyendo su velocidad, y creando turbulencias. (ver fig 9)

El **abrigo** se define como el efecto que se produce a sotavento de un obstáculo de cara al viento, produciéndose una reducción drástica de la velocidad. Corriente abajo el aire parado se mezcla con el aire de alrededor hasta que a una distancia suficiente las condiciones se hayan estabilizado. La distancia tras el obstáculo a la cual se ha estabilizado el aire es necesaria conocerla para situar los aerogeneradores de forma que no se vean afectados por estas circunstancias. Para conocer esta distancia es necesario caracterizar los obstáculos mediante su altura, ancho, distancia desde el suelo, forma, rugosidad y porosidad. Por otro lado es necesario saber la dirección predominante por la cual la formación va a ser atacada. Con todo esto se puede predecir la distancia a la cual se va a estabilizar la corriente.

La **turbulencia** se refiere al flujo de aire irregular que se caracteriza por tener fluctuaciones de velocidad y dirección de

viento en periodos cortos. Dentro de estas corrientes es típica la presencia de remolinos y vórtices. Las turbulencias pueden ser debidas al choque del viento con elementos circundantes, tales como obstáculos, rugosidades o escarpas, o debido a causas atmosféricas que modifican las características del aire.

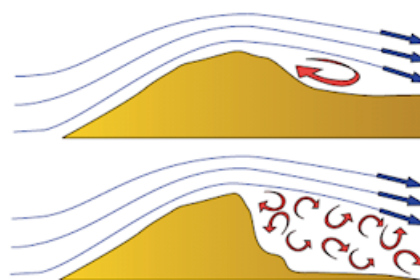


Figura 9: Turbulencia del viento

Las primeras pueden ser estudiadas con antelación, debido a que son causas fijas, e incluso se puede modelar su efecto para realizar predicciones en la producción de energía. Las causas atmosféricas son totalmente impredecibles, las variaciones en la densidad, la temperatura, la presión o la humedad del aire interfieren en el movimiento de éste haciendo en ocasiones que no avance de forma paralela a la superficie terrestre y provocando turbulencias. Se podría caracterizar estas turbulencias con modelos experimentales de laboratorio o incluso mediante las estadísticas de la zona, pero es conveniente asumir que este tipo de turbulencia puede llegar de forma caótica e impredecible al parque de aerogeneradores.

4.4.3. Efectos túnel y colina

Dentro de la orografía del terreno existen otros accidentes geográficos que crean alteraciones en el viento que incide sobre ellos. Estos elementos son los que producen efectos aceleradores y obligan a los flujos de aire a superar o rodear obstáculos o, en otros casos, lo canaliza para aumentar su velocidad o pro-

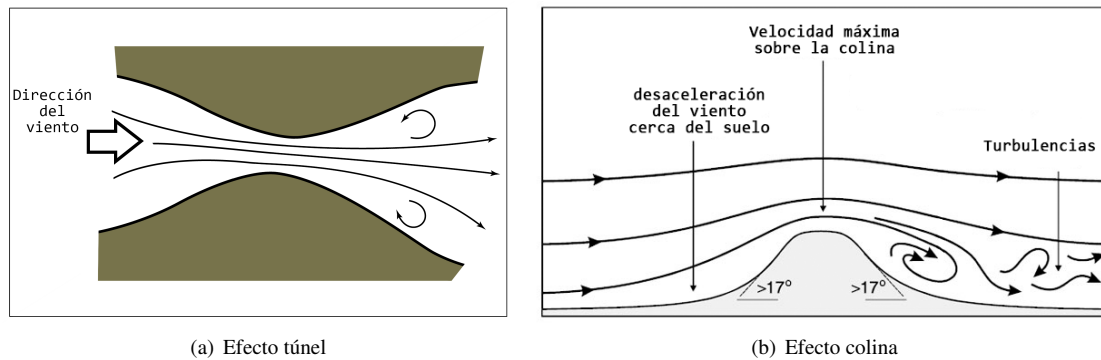


Figura 10: Representación esquemática del efecto túnel y efecto colina

ducir bloqueos. Los factores iniciales que determinan el comportamiento que va a tener el viento al someterse a este tipo de interferencias viene determinado por sus características iniciales, tales como su velocidad y estabilidad, y por supuesto por la topografía del terreno. Los dos efectos más importantes de este tipo son los efectos túnel y colina que se van a describir detalladamente a continuación.

- **Efecto túnel:** es el resultado de la circulación del viento por un paso estrecho creado entre montañas o entre dos edificios altos. En este paso se acelera considerablemente la velocidad del viento. Este efecto se crea por el choque del viento con la montaña donde el viento se frena bruscamente y tiende a buscar una salida entre el espacio libre entre obstáculos. Teniendo en cuenta el principio de conservación de las masas, el paso del viento por el estrechamiento se realiza a mayor velocidad que la que traía inicialmente. Estos aumentos pueden estar en torno al cuarenta por ciento. Para aprovechar esta aceleración de la velocidad, este tipo de enclaves son muy recomendables para la situación de aerogeneradores, pero hay que tener muy en cuenta que la orografía ofrezca un perfil suave. Si la colina, por ejemplo, fuese muy accidentada se producirán muchas turbulencias, el viento soplará en diferentes y cambiantes direcciones lo cual resulta del todo perjudicial a la hora de la obtención de energía eólica. Concluyendo, el efecto túnel ofrece una gran cantidad de viento localizado pero hay que tener muy presente las turbulencias, ya que en ocasiones si estas son muy elevadas la ventaja que supone una mayor velocidad de viento no estará compensada por la alta probabilidad de rotura de las turbinas debido al aire turbulento.
- **Efecto colina:** es la aceleración del viento en lugares donde existe una sobre elevación del terreno. En colinas relativamente aisladas que dominan el terreno aumenta la velocidad del viento debido a que en la cara lateral de la elevación se produce el choque del viento creando una sobrepresión en el aire. Esta variación de presiones hace que el flujo de viento ascendente se acelere y pase justo por la cima de la colina una gran corriente. Además, por la variación de presiones se vuelve más denso el ai-

re que pasa por el aerogenerador y al tener mayor masa se obtiene más energía cinética. Al igual que en el caso anterior hay que tener presente la presencia de irregularidades en el terreno que pueden producir una gran cantidad de turbulencias. Si el perfil de la colina es irregular y escarpado se pueden producir vórtices de viento que contrarrestarían la ventaja que supone el aumento en la velocidad del flujo de aire.

4.4.4. Características geográficas del Sur de Santa Fe

El Sur de la Provincia de Santa Fe pertenece al bioma denominado llanura pampeana. Esta zona se caracteriza principalmente por tener un terreno llano que no posee grandes cadenas montañosas, mesetas, cerros, selvas, grandes bosques, etc. También, presenta una altura sobre el nivel del mar baja. Además, hay que tener en cuenta que las tierras de esta región fueron modificadas por el hombre para la explotación agrícola-ganadera, lo que disminuye aún más la rugosidad del terreno. En conclusión, el sur de la provincia posee las condiciones más favorables para el posible desarrollo de un parque eólico debido a su coeficiente de rugosidad, vientos y ausencia de grandes ciudades.

De acuerdo a un informe realizado en el año 2018 por el Generfe (organismo dedicado al desarrollo de programas sustentables en la provincia), se desarrollaron estudios sobre las características para el desarrollo de energía eólica de distintas ubicaciones de Santa Fe. Allí, concluyen que el sur de la provincia es la zona más adecuada para este fin, en particular Rufino y Venado Tuerto.

El sur de la provincia posee una velocidad media de viento de casi de 7 m/s llegando a presentar máximos cercanos entre 26 y 30 metros por segundo con una orientación predominantemente proveniente desde el norte. Estas medidas han sido tomadas a 60 metros de altura respecto del suelo.

Si bien 7 m/s de viento de media podría parecer poco, se recomienda que para plantear un parque eólico la media de viento sea superior a 5 m/s, por lo que esto no sería un problema. Cabe destacar que existen aerogeneradores que a esa velocidad podrían producir más de 1000kW y que la mayoría de modelos llega a su máximo a unos 11 m/s de viento incidente.

Como referencia, en la figura 11(a) se pueden observar diferentes curvas de potencia para distintos modelos de aerogene-

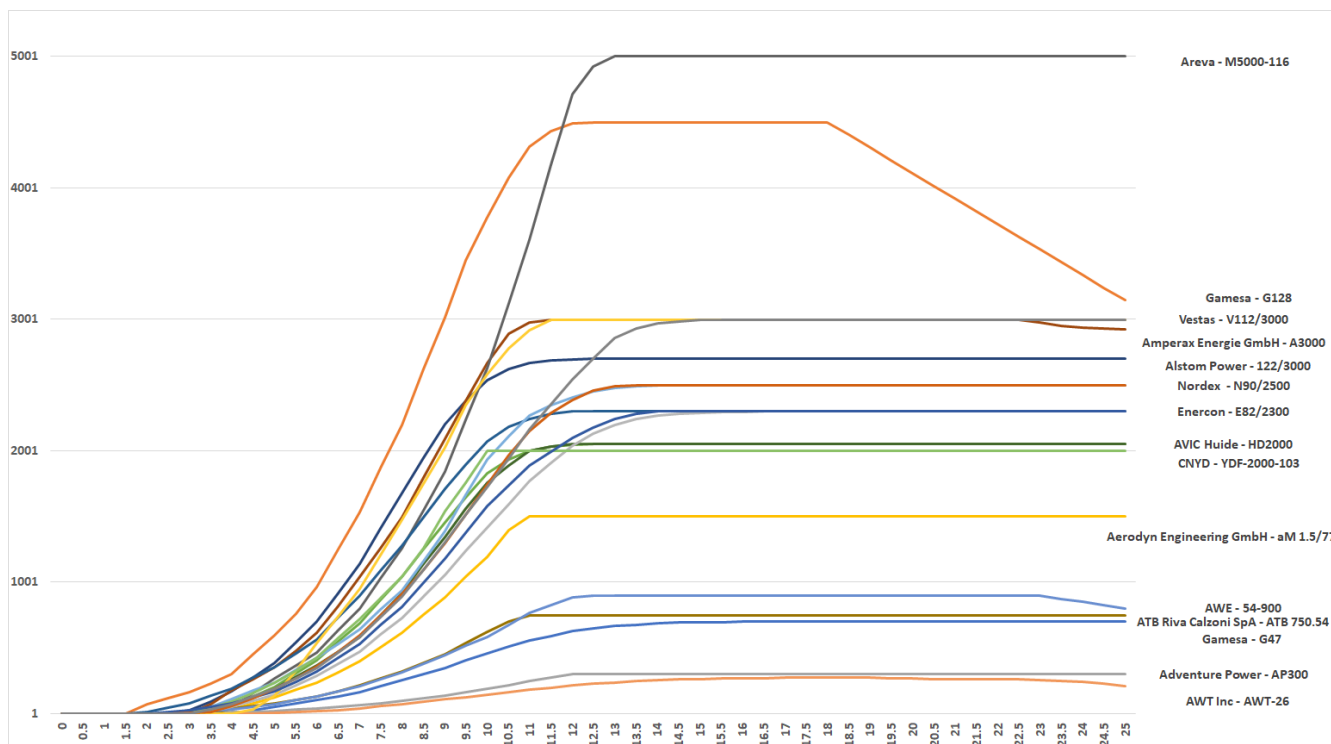


Figura 11: Curvas de potencia para distintos modelos de turbinas eólicas.

radores.

4.5. Costos y Ley 27.191

A continuación se desarrolla brevemente el costo de la energía eólica en MWh y el beneficio de la Ley de Energías Renovables sancionada en el año 2015.

El desarrollo eólico y las políticas orientadas a su fomento son relativamente nuevas. Esto puede notarse si recordamos que el costo del MWh ha ido disminuyendo considerablemente desde el año 2011.

Si bien Argentina es uno de los países con territorios mas aptos para la producción de energía eólica, en el año 2011 (y aun en la actualidad) presenta un gran des-balance con una gran dependencia de las fuentes tradicionales. Al momento de hablar de la viabilidad de proyectos de energías renovables en general es de suma importancia destacar que los costos de producción de la misma se ven duramente afectados por las condiciones macroeconómicas del país (devaluación de la moneda, régimen tributario para importaciones, tasas aduaneras) así como también por la ley tributaria y la presión fiscal.

Desde el año 2011, donde las energías renovables presentaban menos del uno por ciento de la matriz energética del país, han habido cambios importantes, dado que en la actualidad el porcentaje oscila entre 10 y 18 por ciento.

En cuanto a la energía eólica en particular, los costos del mercado argentino se han ido adaptando a los del resto del mundo. En el 2011 el costo promedio final por MWh era de 140 USD en el mundo, por lo que en Argentina las propuestas relacionadas al tema sugerían lograr un costo final de 130 USD por MWh. Hasta el año 2015 no hubo grandes avances

en el desarrollo eólico (las energías renovables generaban solo el 1 por ciento de la energía demandada en el país). Los cambios ocurren precisamente luego de que se sancionara la ley 27191 modificando la anterior ley 26190 en la cual se disponen metas y beneficios impositivos. Los mencionados cambios generaron un gran incentivo en el sector.

Para el año 2019 se presentaban datos sumamente alentadores en cuanto al porcentaje respecto a la matriz energética, alcanzando el 8-9 por ciento. Respecto a los costos, la realidad es que no han variado de forma significativa y han oscilado entre 150 y 120 USD hasta el día de hoy. De hecho, comparativamente con Brasil y Uruguay, Argentina es bastante mas costoso, ubicándose en 120 USD por MWh mientras que Brasil y Uruguay se ubican en 80 USD y 70 USD por MWh respectivamente. Eso genera que en el país, a priori, no sea tan atractiva la inversión. Sin embargo, el objetivo es disminuir los costos para poder generar una mayor competitividad en el sector y a la vez diversificar las fuentes de generación de energía eléctrica para así disminuir las complicaciones en la producción energética que presenta nuestro país.

5. Bibliografía

- [1] Martín Pérez Warmendamm, Aerodinámica de aerogenerador de eje horizontal de 500 kW. Universidad de la Rioja, España.
- [2] The Wind Power - Wind Energy Market Intelligence (2020), Bases de datos Curvas de potencia, Obtenido de: www.thewindpower.net/store_manufacturer_turbine_es.php?id_type=7
- [3] Asociación danesa de la industria eólica (2003), Efecto de la Estela, Obtenido de: www.drønmstørre.dk
- [4] Ropero Tagua, A. M. (2011), Estudio de la Influencia del Microemplazamiento Sobre el Rendimiento de las Plantas Eólicas, España: Universidad de Sevilla. Disponible en: http://catedraendesa.us.es/documentos/proyecto_fincarrera_a_naropero.pdf
- [5] Giralte, C. (2013), Energía eólica en Argentina: un análisis económico del derecho, Letras Verdes. Revista Latinoamericana De Estudios Socioambientales, n.º 9 (octubre), Pág. 65-88. Disponible en: <https://doi.org/10.17141/letrasverdes.9.2011.904>
- [6] Gubinelli, G. (2015), Parque eólico de Santa Fe: superó estudios ambientales y negocia precio a 120 dólares el MWh, Recuperado de: <https://www.energiaestrategica.com/parque-eolico-de-santa-fe-supera-estudios-ambientales-y-negociara-por-encima-de-los-108-dolares-el-mwh>
- [7] Diamante, S. (2019), Argentina tiene uno de los mejores vientos del mundo, Recuperado de: <https://www.lanacion.com.ar/economia/energia-eolica-la-argentina-tiene-uno-mejores-nid2255413>
- [8] Honorable Congreso de la Nación Argentina (2015), Ley 26190. Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica. Disponible en: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/250000-254999/253626/norma.htm>
- [9] GENERFE (2018), Informe de vientos en la Provincia de Santa Fe. Disponible en: <https://www.santafe.gob.ar/ms/generfe/wp-content/uploads/sites/23/2018/11/Informe-de-medición-de-vientos.pdf>