



# **AZ & NM Wind Integration Study.**

**Introduction, project background and data analysis**

**Prepared by:  
Ignacio Losada Carreño**

**Northern Arizona University  
Department of Mechanical Engineering  
Spring 2016**



# Estudio de integración de energía eólica en NM y AZ

## Introducción, contexto y análisis de datos

**Primavera 2016**

**Escrito por: Ignacio Losada Carreño**

**En colaboración con: Dominique Bain**

**Tutor del proyecto: Dr Thomas Acker**

**Northern Arizona University**

**Departamento de Ingeniería Mecánica**

## Agradecimientos

Este proyecto ha sido hecho en colaboración con Dominique Bain, estudiante de doctorado en Northern Arizona University, con motivo de su tesis. Este proyecto ha sido originariamente financiado por el National Renewable Energy Laboratory. El objetivo de este proyecto es analizar los impactos operacionales que supone integrar energía renovable en la red eléctrica. El proyecto cubre la primera parte de este, desde su introducción, pasando por el contexto y el análisis de datos previo al procesado de los datos.

**Tutor del proyecto:** Dr Thomas Acker

**Equipo de estudio:** Dominique Bain, PhD Candidate at Northern Arizona University  
Karin Wadsack, PhD Candidate at Northern Arizona University  
Roberto Puente Aranda, Universidad Carlos III de Madrid  
Ignacio Losada Carreño, Universidad de Oviedo

**National Renewable Energy Laboratory (NREL)**

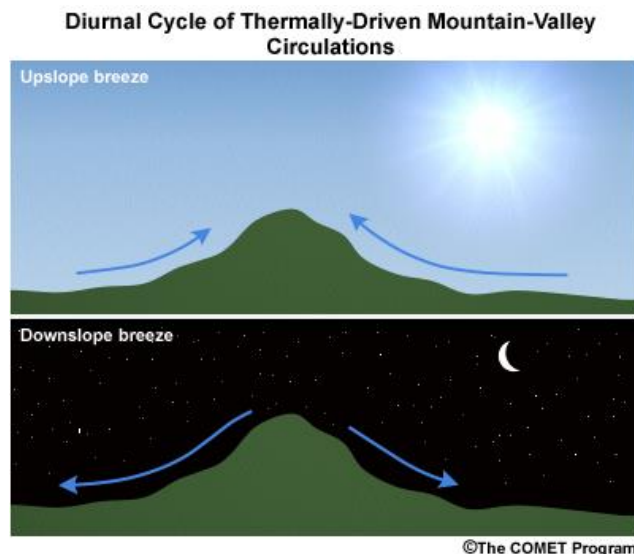
## Resumen

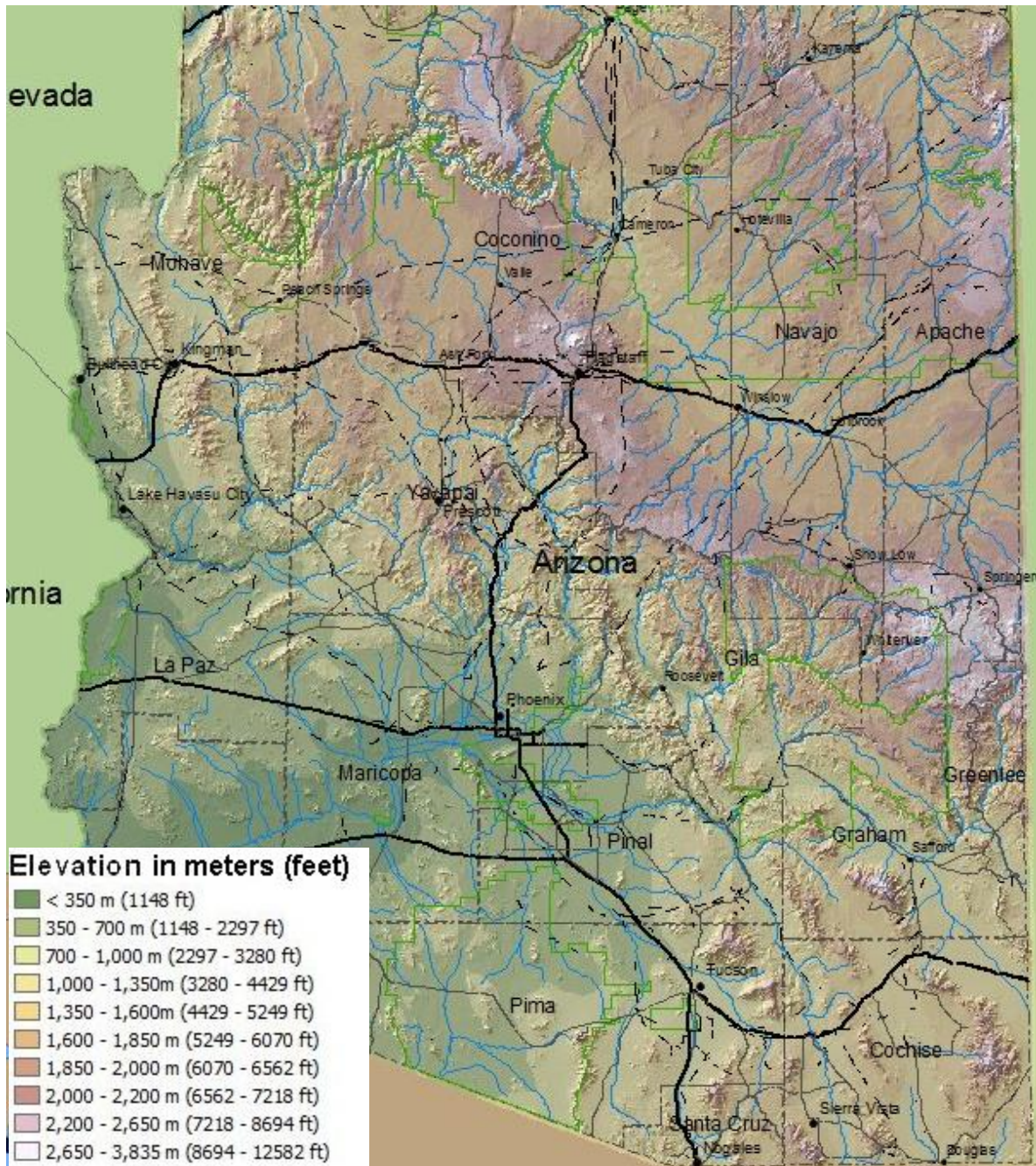
### Introducción

La circulación de los vientos es causada por diferencias de presión a lo largo de la superficie terrestre debido al calentamiento no uniforme causado por la radiación solar. Las variaciones de transferencia de calor crean gradientes de presión, causando un movimiento del aire entre zonas de diferente presión.

Los gradientes de presión vertical pueden ser cancelados mediante la fuerza gravitacional. Por tanto, podría ser dicho que los vientos soplan principalmente en dirección horizontal. Además del gradiente de presión y de la gravedad, la inercia del aire, la rotación de la tierra y la fricción provocada entre el aire y la superficie terrestre afectan a los patrones atmosféricos. Esto es una simplificación de los patrones atmosféricos ya que no estamos teniendo en consideración los efectos que causan las grandes masas terrestres sobre los vientos.

Para un estado como Arizona, la proximidad del conocido como Valle del Sol y de las Montañas Rocosas debe tenerse en consideración para estudiar los patrones atmosféricos. Durante el día, el aire caliente sube hacia la montaña reemplazando el aire frío encima de él. Por la noche, la dirección se invierte, y el aire frío baja hacia el valle. Este efecto es una de las razones por las cuales integrar energía eólica en el norte de Arizona podría ser conveniente.





## Contexto del proyecto

En 2010, el National Renewable Energy Laboratory (de ahora en adelante, NREL) uso una base de datos para estudiar los impactos operacionales que tendría integrar energía renovable en la red eléctrica del oeste de los Estados Unidos. 3TIER creo para ese proyecto lo que se conoce como Base de datos del Oeste americano. El procedimiento que se llevó a cabo consistió en recrear el tiempo meteorológico histórico para el oeste de los Estados Unidos durante los años 2004, 2005 y 2006. La serie temporal modelada estaba espaciada en 10 minutos temporalmente y en 2 kilómetros geográficamente. Se usaron diferentes

criterios para filtrar los datos que luego se irían a utilizar (áreas recreacionales, tierra protegida, zonas forestales, zonas con pendientes mayor al 10%...etc) En total se seleccionaron más de 32000 lugares en los cuales se podría instalar energías renovables.

Se estimó que en cada punto se instalarían diez turbinas de viento Vestas V90 3-MW sumando un total de más de 960 GW de energía eólica (equivalente a la capacidad instalada en EEUU en 2006). 3TIER ha modelado la potencia de salida de diez turbinas a una altura de 100 metros sobre el nivel del mar. Aspliden et al. (1986) defiende que un año de datos meteorológicos son suficientes para predecir las velocidades del viento a largo plazo con una precisión del 10% y un nivel de confianza del 90%. El estudio de Hoogwijk et al (2004) concluye que, con la tecnología presente en 2004, sería posible instalar seis o siete veces la potencia eléctrica mundial consumida en 2001.

## Objetivos de este proyecto.

El objetivo principal de este proyecto es formatear la base de datos de NREL para usarla como información de entrada para el software de modelado de costes de producción, PLEXOS. La intención de este proyecto es analizar los impactos operacionales que supondría instalar energía renovable e integrarla al operador de la red de Arizona. Una vez que los datos se simularan con PLEXOS, algunos de sus resultados serían procesados con un paquete de datos de R creado por Eduardo Ibáñez para NREL. Este proyecto fue inicialmente pensado para estudiar los impactos que supondría integrar energía solar y eólica pero más tarde sería dividido en dos análisis diferentes debido a la gran cantidad de datos. Sin embargo, este proyecto solamente cubre la parte eólica.

En relación con los objetivos primarios de este proyecto, el lector será capaz de entender y explicar los patrones que sigue el viento tanto en el norte de Arizona como en Nuevo México y como estos se relacionan entre sí. Además, el lector será capaz de entender los problemas asociados a la energía eólica y como la fluctuación de esta puede afectar al precio marginal local de la red, así como la dificultad que los operadores de la red encuentran para satisfacer las condiciones de variabilidad del sistema.

Es igualmente importante señalar los beneficios que tienen la energía renovable sobre el precio de la energía y como las emisiones de hidrocarburos pueden ser reducidas por este tipo de energías. En este proyecto se han tenido en cuenta varios tipos de energía además de las renovables aquí presentados.

## Formateo de los datos

Hemos basado nuestro proyecto en la base de datos eólica de NREL para el año 2005. De ahora en adelante, todo lo que se incluye en este papel está referido a energía eólica. Ya que solo nos interesa la superficie de AZ (y más tarde NM, pero esta energía se incluirá en el operador de la red de Arizona), seleccionamos todos los puntos para el estado sumando un total de 1435 puntos. Estos puntos suman un total de 63 GW y los hemos formateado usando MATLAB. Existen tres archivos por punto que se corresponden con los años 2004, 2005 y 2006.

En 2010, NREL, en colaboración con 3TIER, simularon la energía de salida de diferentes zonas para intervalos de diez minutos. Debido a los problemas asociados con estos intervalos tan pequeños y debido a los largos tiempos de procesado en PLEXOS, tuvimos que reformatear toda la base de datos,

transformándola en intervalos horarios. La solución se encontró promediando los 6 valores incluidos en cada hora.

Otro problema surgió con la base de datos proporcionada por 3TIER ya que sus datos simulados se correspondían con la hora londinense y ya que nos interesaba obtener resultado en hora de Arizona, tuvimos que usar datos de 2004 para cubrir el agujero con el que nos encontrábamos. El siguiente paso consistió en deshacernos de las últimas horas de la base de datos de 2005 y al final, fuimos capaces de obtener las soluciones necesarias para introducirlas en el software de modelado de producción de costes, PLEXOS.

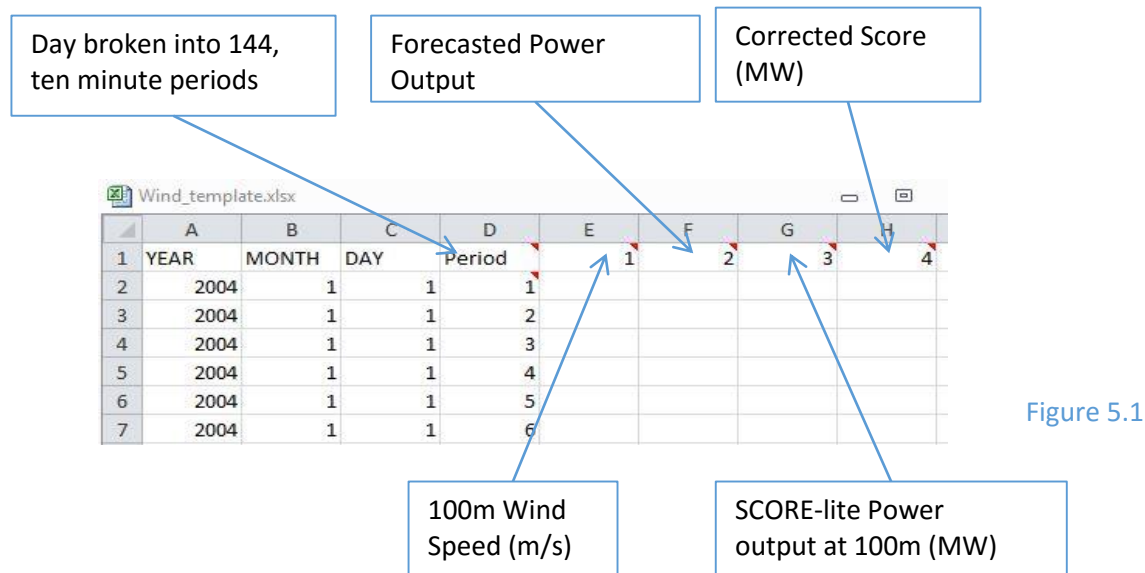


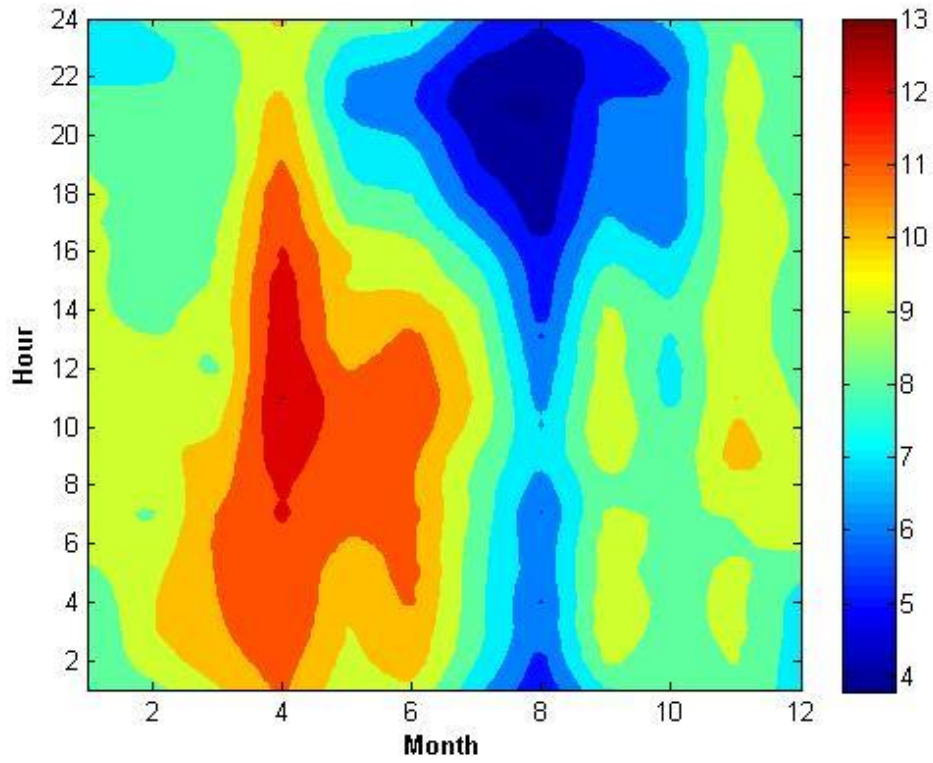
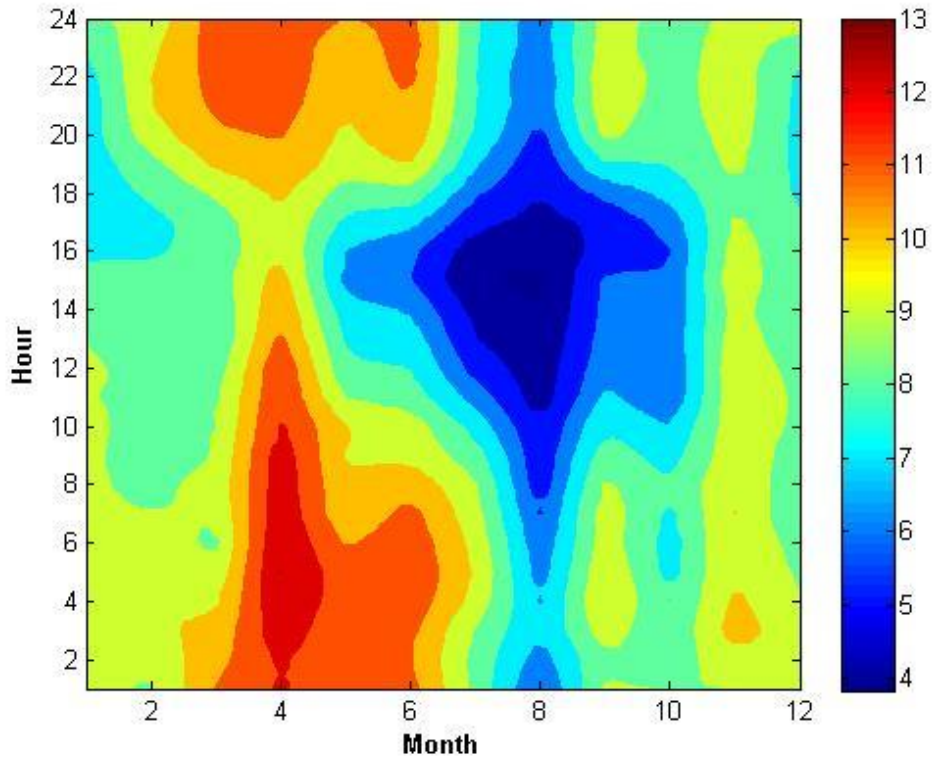
Figure 5.1

Más tarde, otras columnas serían intercaladas con las anteriores mencionadas, cada columna representando la desviación estándar de los valores usados para promediar las potencias producidas en cada planta.

Más abajo, puede apreciarse las diferencias entre las diferentes zonas horarias. En la derecha, he creado un gráfico de contornos (que será presentado más adelante) con la potencia generada en hora local de Arizona versus, en la derecha, el mismo gráfico en hora londinense

Se puede apreciar la diferencia horaria de 7 horas que será de vital importancia a la hora de estudiar los patrones atmosféricos en Arizona.



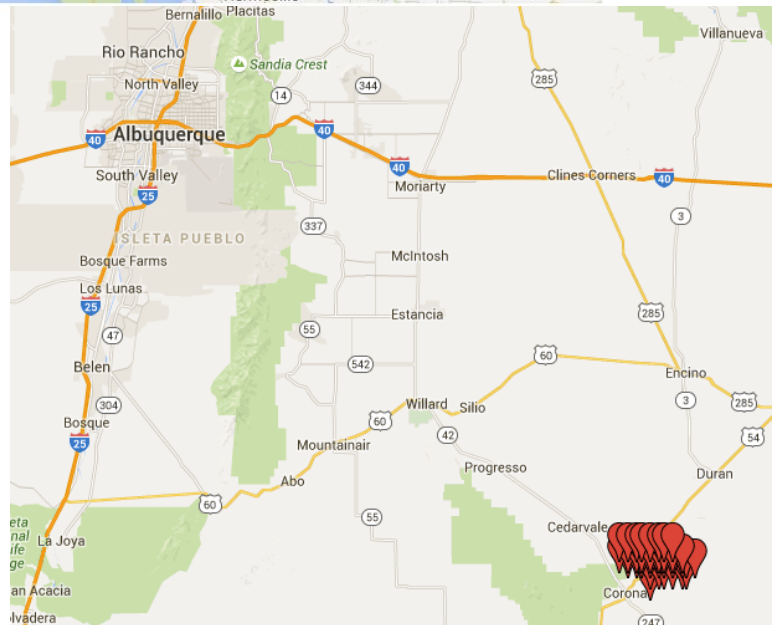
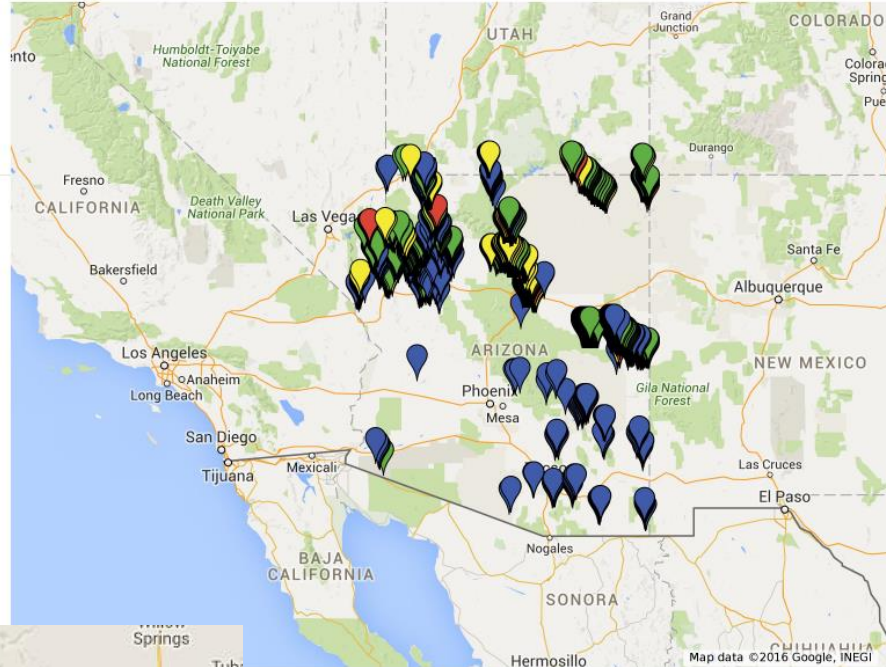


También, mediante la herramienta MyMaps de Google, he creado un mapa para mejorar la visualización de las diferentes localizaciones para las plantas eólicas que más adelante sería usado para encontrar los puntos que mejor se adaptaran para integrarlos a la trasmisión (en función de su factor de planta y de la proximidad a la trasmisión para evitar elevados costes, aprovechando lo ya construido)

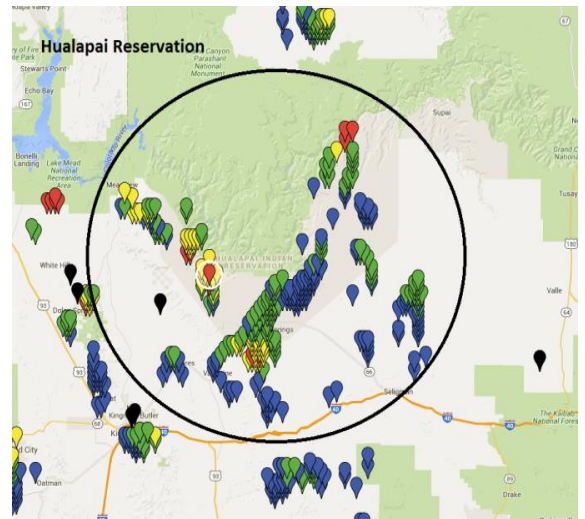
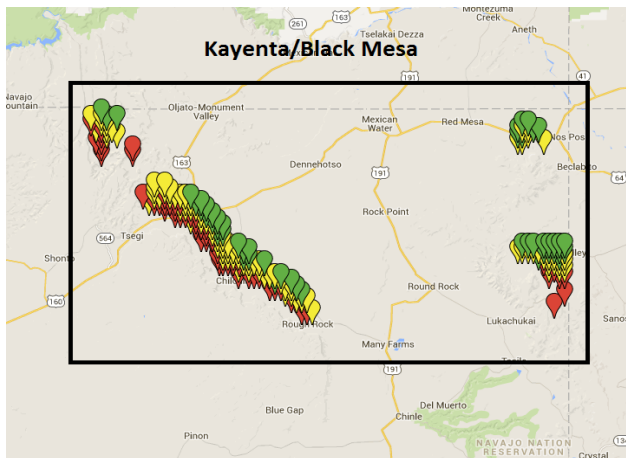
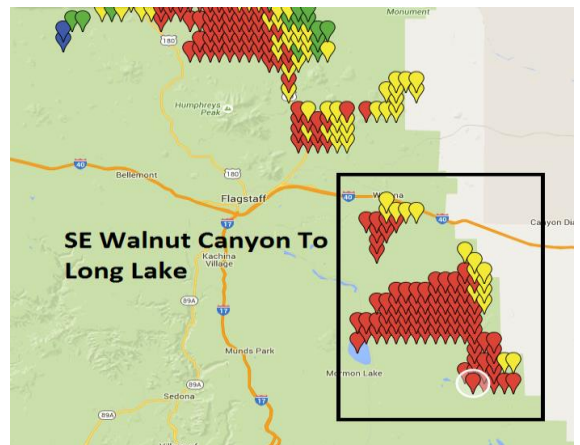
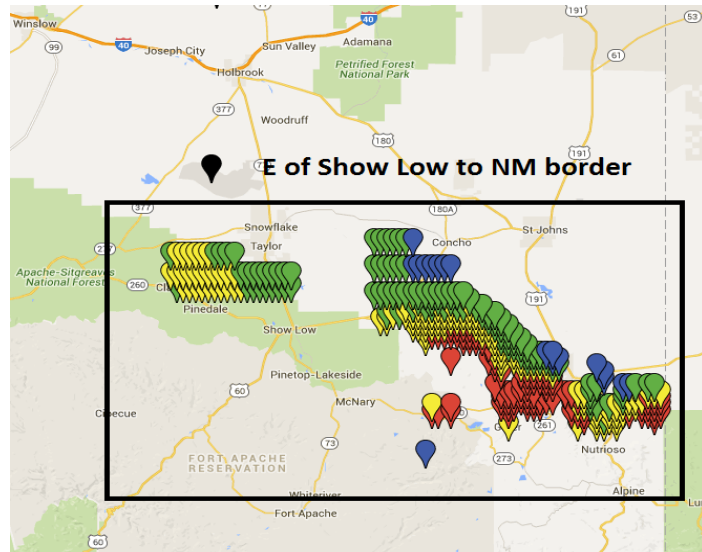
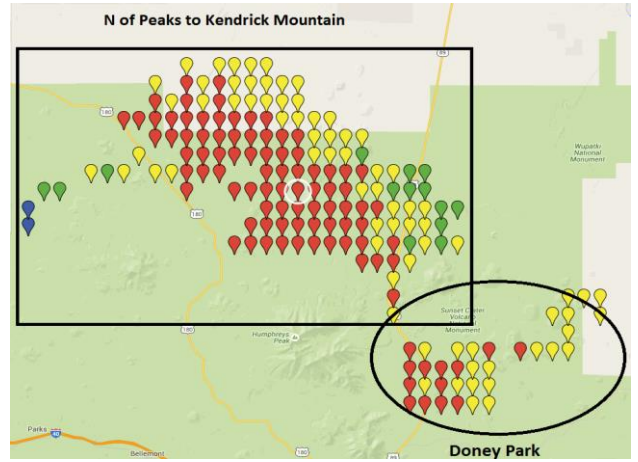
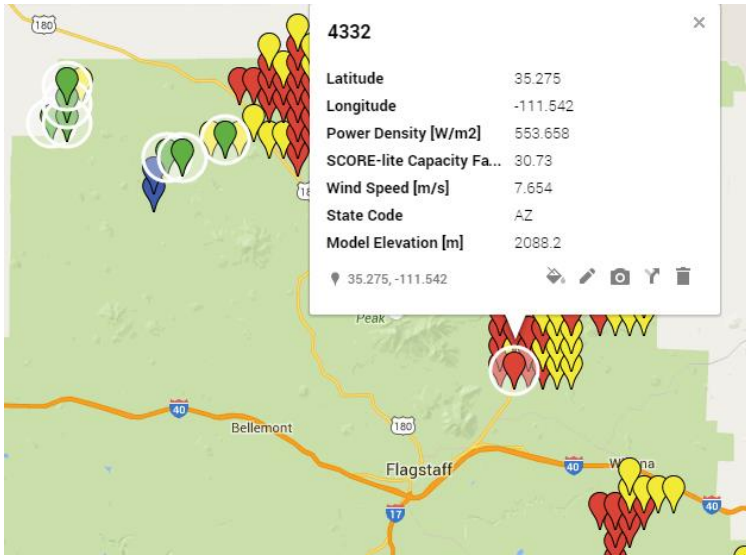
## Arizona Wind Integration study Map

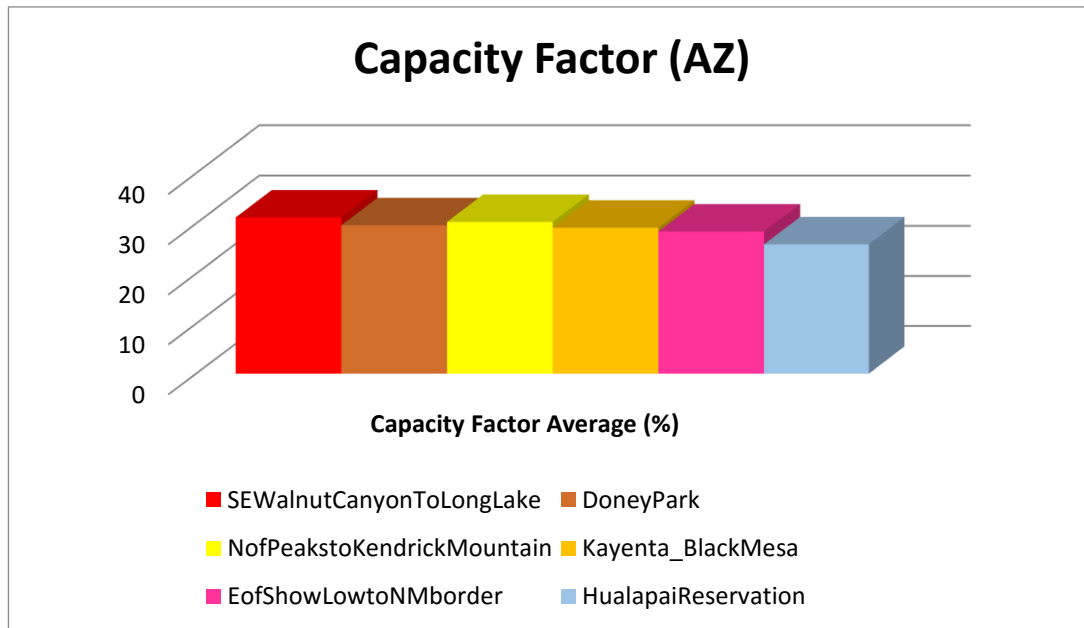
Wind Integration Study. SiteID

- 📍 14.537–24.033
- 📍 24.036–27.249
- 📍 27.265–29.873
- 📍 29.888–36.59



De todos estos puntos, he seleccionado 6 zonas en las cuales el factor de planta es más alto. Una vez hecho esto, he promediado los valores para estimar el recurso eólico en Arizona





<b>SEWalnutCanyonToLongLake</b>	<b>Wind Resource Potential (MW)</b>	<b>Number of sites</b>
31.2	945	101
<b>DoneyPark</b>	<b>Wind Resource Potential (MW)</b>	<b>Number of sites</b>
29.6	302	34
<b>NofPeakstoKendrickMountain</b>	<b>Wind Resource Potential (MW)</b>	<b>Number of sites</b>
30.3	1346	148
<b>Kayenta_BlackMesa</b>	<b>Wind Resource Potential (MW)</b>	<b>Number of sites</b>
29.2	1138	130
<b>EofShowLowtoNMborder</b>	<b>Wind Resource Potential (MW)</b>	<b>Number of sites</b>
28.4	2292	269
<b>HualapaiReservation</b>	<b>Wind Resource Potential (MW)</b>	<b>Number of sites</b>
25.9	1179	152
<b>Total Number of sites (NREL dataset)</b>	1435	
<b>AZ wind Resource Potential</b>	11.6 GW	NREL Approx is 11.2GW

<b>Total Number of sites (# Sites considered)</b>	<b>834</b>	
<b>NAZ Resource Potential (# Sites considered)</b>	<b>7.2GW</b>	

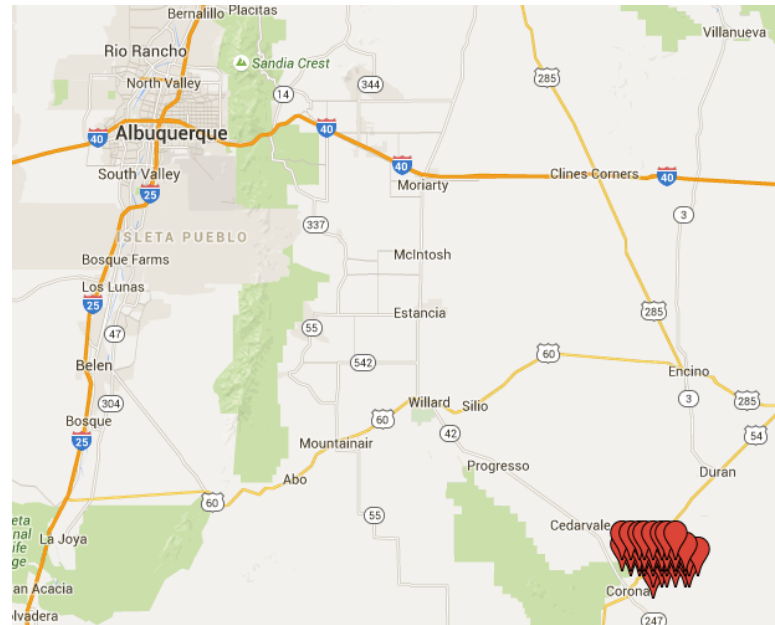
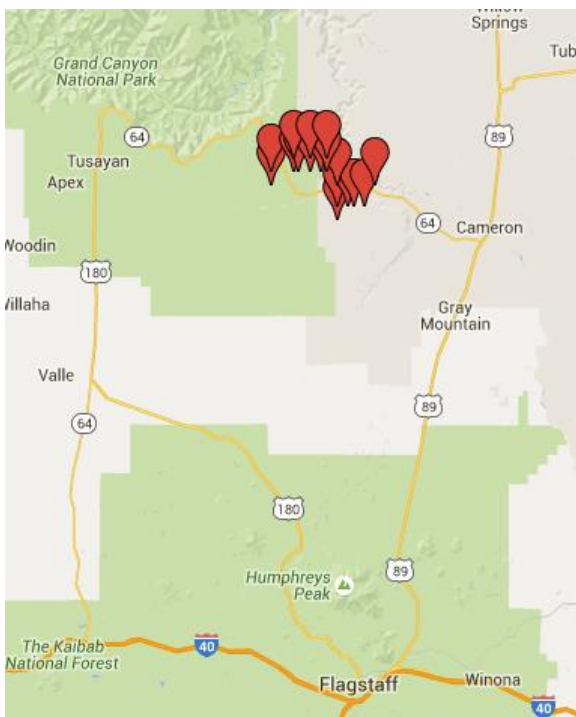
El recurso eólico estimado es de 11.6GW, valor muy aproximado al calculado por NREL en su estudio de integración de 2010. El norte de Arizona concentra la mayoría de esta energía con 7 GW, especialmente en el noreste. Todos los valores han sido calculados multiplicando el número de sitios por 30MW por el factor de planta.

### Escenario

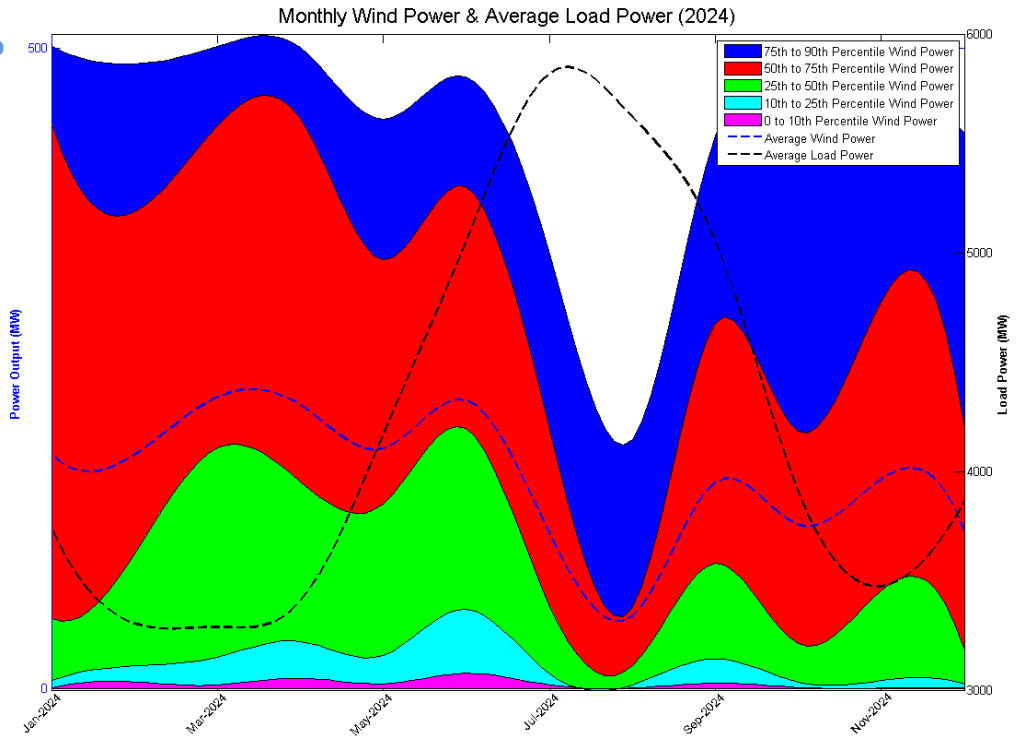
Para este proyecto, hemos seleccionado 17 sitios (510MW) en Cameron, Arizona y 34 (1020 MW) en Corona, Nuevo México. Más tarde, haríamos un análisis estadístico con Matlab para los puntos de eólica.

Los criterios para la elección de los sitios han sido:

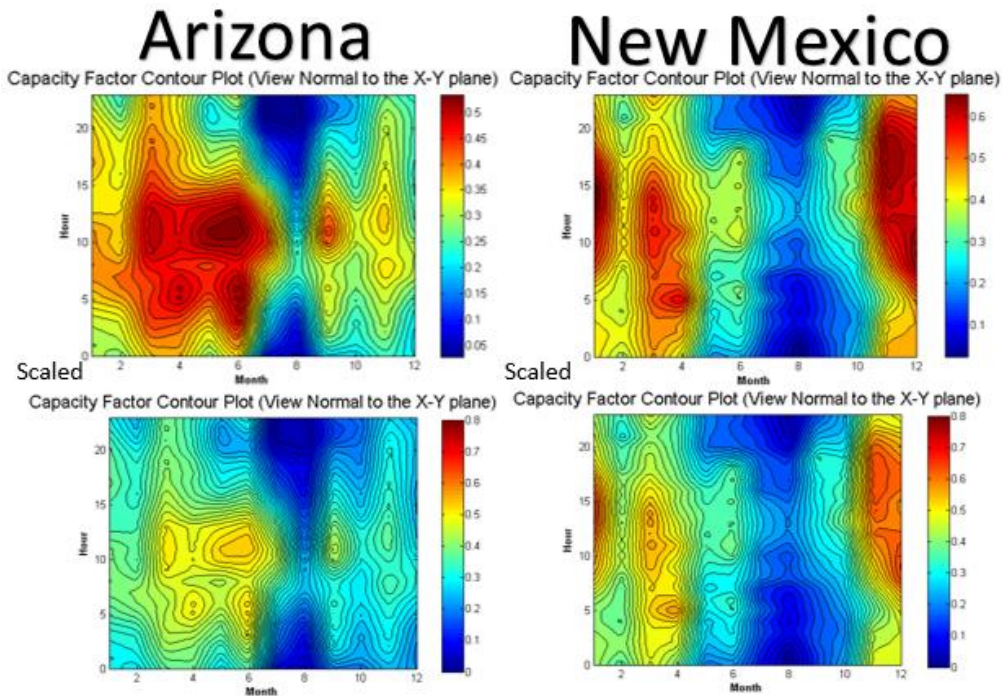
- Proximidad a la línea de transmisión
- Factor de planta.

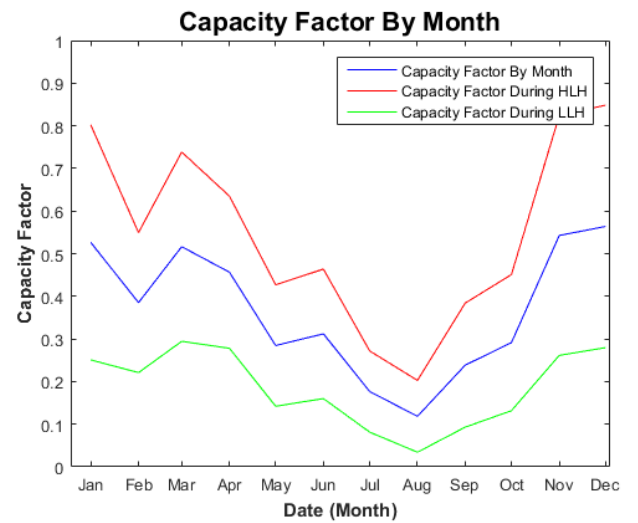
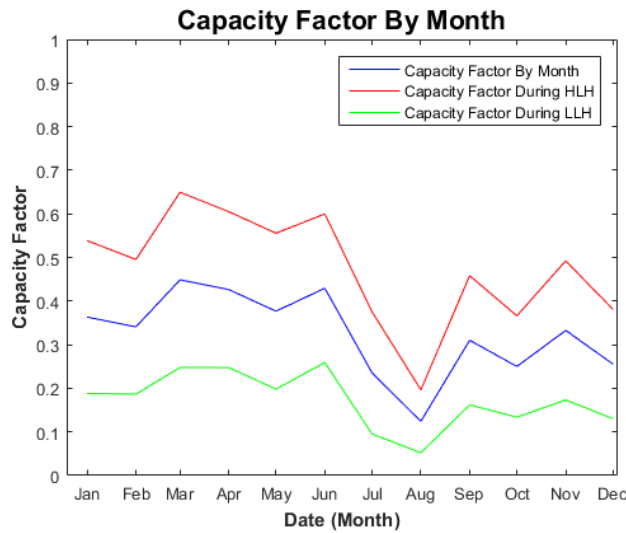
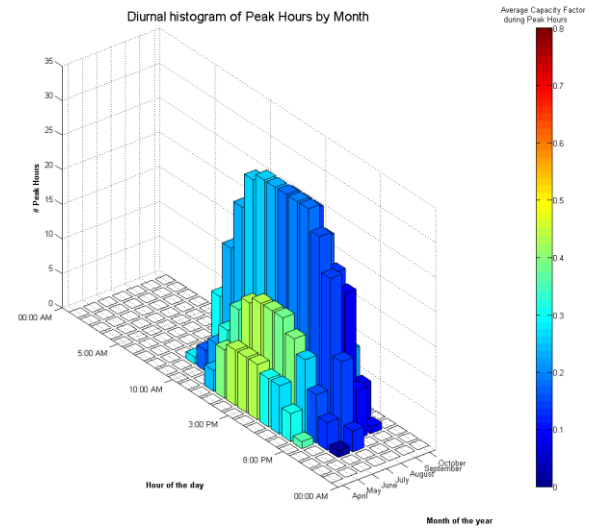
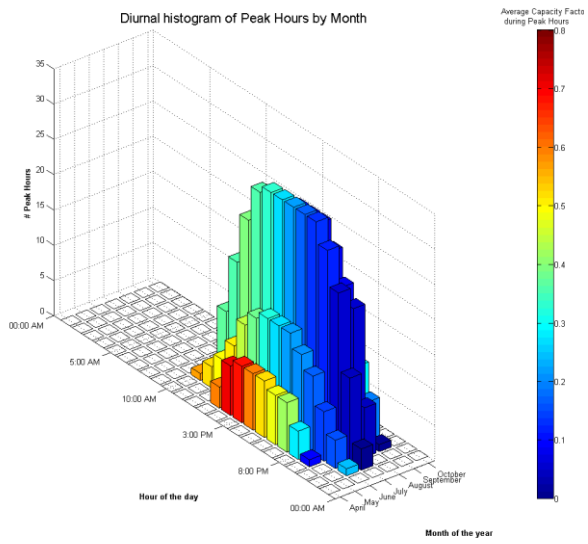


**Análisis estadístico**



El viento es mayor durante el invierno y particularmente en primavera. En verano, cuando la carga es alta, se puede apreciar un valle en la potencia generada que hace el proceso de integración aún más complejo. Con respecto al patrón diario, el viento alcanza su punto máximo al mediodía mientras que la carga lo hace entre las 3 y las 8 de la tarde.





Cuando la carga alcanza su mayor valor, la producción de energía es la más baja. Las fluctuaciones del viento a lo largo del año son mayores para Nuevo México. En Arizona, durante las horas de mayor carga, la producción de energía renovable es alta para el mes de Mayo.

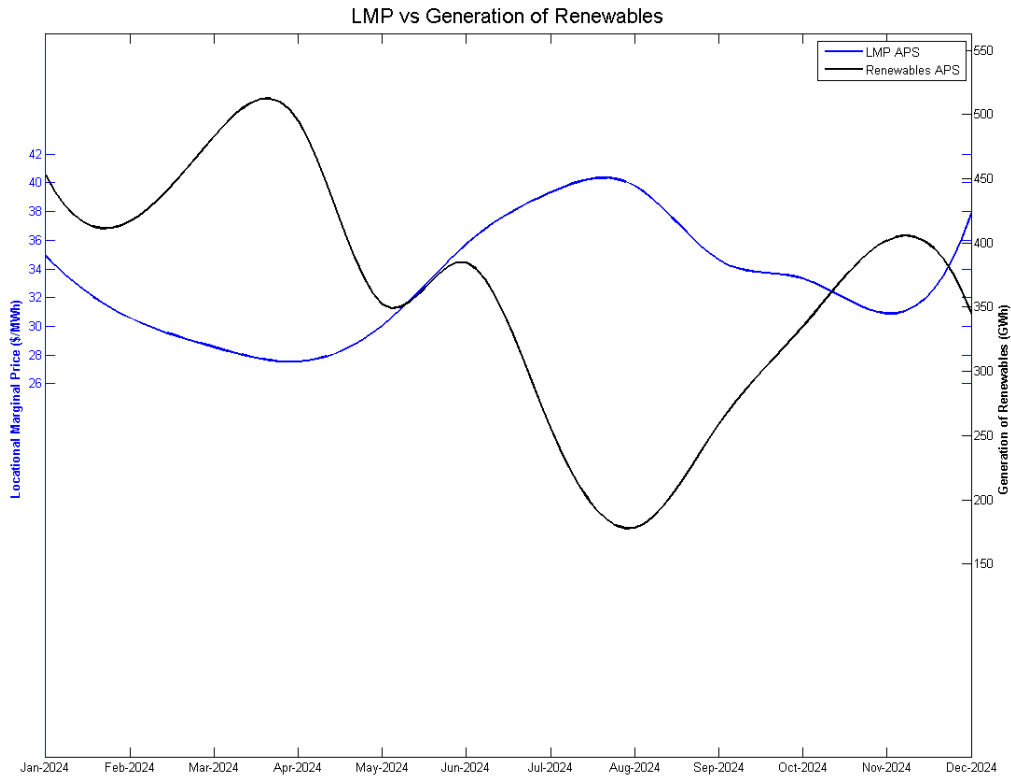


Figure 1.10

Como se esperaba, cuando la producción de renovables es alta, el precio marginal local es bajo y viceversa, por tanto el operador tratara de mantener la generación alta para así evitar altos precios de la energía.



## Conclusion

- La generación de energía es mayor durante invierno y particularmente alta en primavera
- En verano, cuando la carga es alta, hay una depresión en el valor de la energía lo que hace la integración de renovables complicada.
- El viento alcanza su mayor velocidad al mediodía mientras que la carga lo hace entre las 3 y las 8 de la tarde
- En Arizona, el punto más alto de generación de energía se encuentra en el mediodía, y será alto también durante los meses de Mayo y Junio. Concretamente, será alta todo el año a excepción de los meses de Julio y Agosto
- La mayoría de las horas de mayor carga ocurren en verano, especialmente en Julio cuando el tiempo es verdaderamente caluroso.
- Durante Mayo la integración de renovables podría ser gestionada con mayor facilidad debido a que el factor de planta es todavía alto para esas fechas.
- En Julio y Agosto el factor de planta sera cero o casi cero, por tanto, el viento no sopla casi durante esos meses.
- La energía producida durante las horas de mayor carga es mayor que en las horas de menor carga.
- El factor de planta es mayor en Nuevo México
- En Arizona la mayor productividad se alcanza al mediodía mientras que en Nuevo México se alcanza en la tarde.
- NM tiene buenos recursos eólicos pero también grandes fluctuaciones en la producción de energía. Particularmente, para las horas de mayor carga, el factor de planta es menor para Nuevo México.
- A menor generación de renovables, el precio de la energía sube.