



# Modelización de la energía y la flexibilidad

## Hands-on 16: Enlazando FlexTool y OSeMOSYS

Utilice la siguiente cita para este ejercicio:

Pooya Hoseinpoori, Alex Kell y Adam Hawkes. (2021, marzo). Hands-on 16: Energy and Flexibility Modelling (Version 1.4) <https://doi.org/10.5281/zenodo.4616943>

Descargue los archivos necesarios desde este enlace: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4616943>

## Resultados del aprendizaje

---

Al final de este ejercicio, serás capaz de:

- 1) Evaluar la flexibilidad del sistema desarrollado en OSeMOSYS
- 2) Añadir datos de OSeMOSYS en FlexTool
- 3) Reconstruir el sistema desarrollado en OSeMOSYS en FlexTool
- 4) Realizar un análisis de sensibilidad e investigar diferentes opciones de inversión

## Contexto más amplio

---

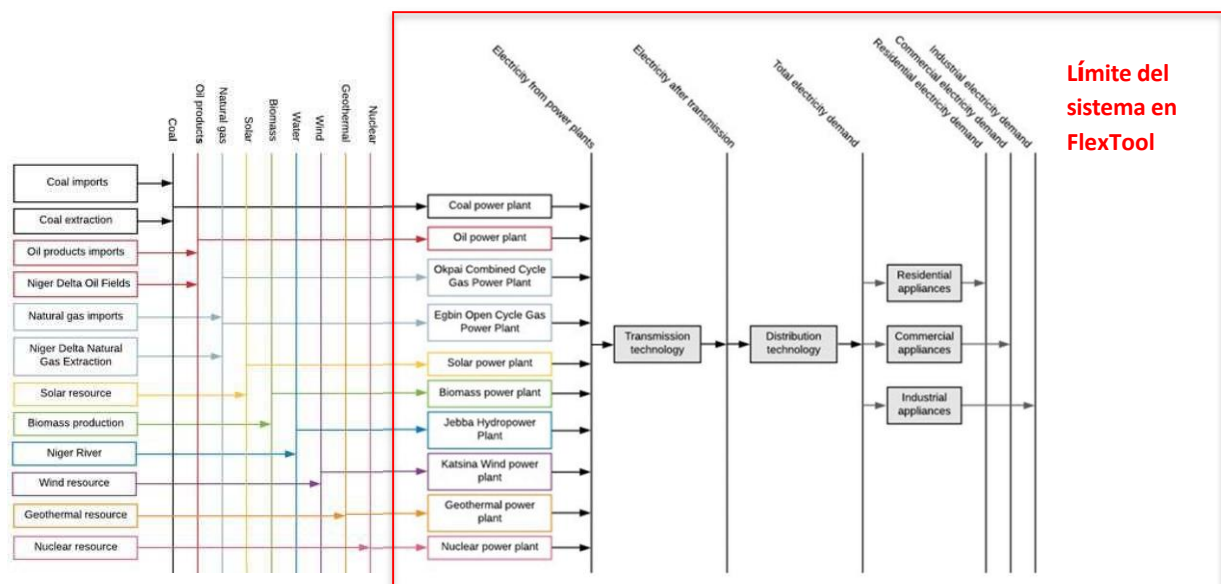
En la primera parte de este curso, se le presentó OSeMOSYS y cómo utilizarlo para desarrollar un modelo de sistema completo para una región. En la segunda parte del curso, usted se familiarizó con el concepto de flexibilidad del sistema. Luego se le presentó FlexTool y lo utilizó para evaluar la flexibilidad de un sistema. Ambas herramientas tienen puntos fuertes en diferentes características. En este ejercicio, queremos mostrarte cómo vincular estas dos herramientas para abordar diferentes aspectos de la transición del sistema energético en una región.

Para ello, en este ejercicio práctico realizaremos una evaluación de la flexibilidad del sistema de energía que usted desarrolló en OSeMOSYS en la primera parte del curso.



Para ello, primero debe reconstruir el sistema que fue desarrollado en OSeMOSYS, en FlexTool. Es importante notar que los límites de los sistemas desarrollados en OSeMOSYS son diferentes del sistema en FlexTool. OSeMOSYS cubre todo el sistema desde la producción de combustible, la conversión de energía, el transporte y la demanda de energía, mientras que FlexTool hace la evaluación de la flexibilidad en el nivel de la red y la generación de energía y no cubre el nivel superior.

unidades y redes de producción y procesamiento de combustible (Caja Roja).



Reconstruiremos el sistema de energía desarrollado en el OSeMOSYS en FlexTool paso a paso en la actividad 1 y luego realizaremos una evaluación de la flexibilidad en la actividad 2. Por favor, descargue el archivo de entrada de la plantilla proporcionada y llénelo de acuerdo con las figuras de la Actividad 1. Puede utilizar diferentes nombres. Sin embargo, es importante mantener la consistencia en el nombramiento de las unidades y los nodos, etc.; de lo contrario, recibirá un error al ejecutar el modelo.

## Actividad 1

En esta actividad, reconstruiremos el sistema de energía desarrollado en OSeMOSYS en FlexTool. Para hacerlo, agregaremos los datos del sistema que fueron obtenidos por OSeMOSYS (como se discutió en el ejercicio práctico 11) al archivo de entrada de FlexTool en tres pasos:

master	gridNode	nodeGroup	unit_type	fuel	unitGroup	units	nodeNode	ts_cf	ts_inflow	ts_import	ts_energy	ts_reserve_node	ts_reserve_nodeGroup	ts_unit	ts_time
--------	----------	-----------	-----------	------	-----------	-------	----------	-------	-----------	-----------	-----------	-----------------	----------------------	---------	---------



**Paso 1:** Añadir todos los datos del sistema, definir las tecnologías, las cuadrículas y los nodos y definir las agrupaciones (rellenar las hojas moradas).

**Paso 2:** Añadir las series temporales (rellenar las hojas verdes).

**Paso 3:** Construir la estructura del sistema vinculando rejillas, nodos y tecnologías (rellenar las hojas amarillas).

## Paso 1: Rellenar las hojas moradas

1.1 La hoja "maestra" incluye datos sobre parámetros y ajustes que afectan a todo el modelo. Aquí puedes:

Activar o desactivar las restricciones del sistema, como el margen de capacidad necesario, los requisitos de límite de inercia, etc.

Especifique el coste de la penalización, como el coste de las emisiones de CO<sub>2</sub>, la penalización por pérdida de carga, la penalización por falta de inercia, etc. Tenga en cuenta que estos datos son específicos de la región y deben establecerse de acuerdo con los datos de la región estudiada. Como nuestro sistema no representa ninguna región específica, utilizaremos aquí los valores por defecto.

parameter	value
co2_cost	20
loss_of_load_penalty	100000
loss_of_reserves_penalty	20000
lack_of_inertia_penalty	30000
curtailment_penalty	50
lack_of_capacity_penalty	5000
time_in_years	1.000
time_period_duration	60
reserve_duration	0.50
use_capacity_margin	1
use_online	1
use_ramps	1
use_non_synchronous	1
use_inertia_limit	1
mode_invest	0
mode_dispatch	1
print_duration	0
print_durationRamp	0
print_unit_results	0

1.2 La hoja "nodeGroup" se utiliza para asignar restricciones del sistema, como requisitos de margen de capacidad o límites de inercia, a un conjunto de nodos. Estas restricciones se aplicarán a todos los nodos miembros de cada grupo. Aquí hemos definido dos grupos: El primero se denomina **sync** para especificar el límite de inercia, el margen de capacidad y el límite de participación no síncrona. El segundo, **reserve1** se utiliza para especificar si se aplican los requisitos de reserva dinámica especificados en la hoja "te\_reserve\_nodegroup". Por ejemplo: la suma de la inercia en todos los nodos del grupo de **nodos sincrónicos** debe ser superior a 10000 MW.

nodeGroup	capacity margin (MW)	non synchronous share	inertia limit (MWs)	use ts_reserve	use dynamic reserve	color in results
sync	343	0.80	10000	0	0	
reserve1				1	1	

1.3 La hoja "gridNode" se utiliza para definir diferentes rejillas y los nodos de cada rejilla. Como se explicó en la clase 16, se pueden definir diferentes rejillas como la de gas, la de movilidad eléctrica, etc., cada una de ellas constituida por diferentes nodos en



FlexTool. En este caso definimos sólo una red de electricidad



(**elec**) y representamos toda la región con un solo nodo (**nodoA**) para ser consistentes con el sistema eléctrico desarrollado en OSeMOSYS. Asignamos el **nodoA** a los grupos sync y reserve1 lo que significa que sus restricciones se aplicarán al **nodoA**. La demanda total, la importación y el margen de capacidad también deben ser especificados para cada nodo. Se supone que el margen de capacidad es el 15% de la demanda total. Por lo tanto, se calcula como  $0,15 * \text{demanda} / 8760$ .

grid	node	nodeGroup	nodeGroup2	nodeGroup3	demand (MWh)	import (MWh)	capacity margin (MW)	non synchronous share	use ts_reserve	use dynamic reserve	print results	color in results
elec	nodeA	sync	reserve1		20027794	0	343		1	1	1	

1.4 La hoja "unit\_type" se utiliza para definir todas las tecnologías del sistema. Como sólo tenemos la red eléctrica, todas las tecnologías son unidades de generación o almacenamiento de electricidad.

unit type	efficiency	min load	eff at min load	ramp up (p.u. per min)	ramp down (p.u. per min)	O&M cost/MWh	availability	max reserve	inertia constant (MW-s/MW)	fixed cost/kW/year	inv.cost/kW	inv.cost/kWh	fixed kW/kWh ratio	conversion eff	startup cost	min uptime (h)	min downtime (h)	eff charge	self discharge loss	lifetime	interest	annuity	non synchronous
PWRCOA	0.39	0.40	0.34	0.02	0.02	36.0	1.00	1.00	6.00	78	2500				2.00					35	0.10	0.104	0
PWROHC	0.35	0.50	0.30	0.05	0.05	108.0	1.00	1.00	6.00	35	1200				1.00		5.00			25	0.10	0.110	0
PWRNGS001	0.59	0.20	0.54	0.20	0.20	53.0	1.00	1.00	6.00	35	1200				0.50	4.00				30	0.10	0.106	0
PWRNGS002	0.39	0.20	0.34	0.20	0.20	63.0	1.00	1.00	6.00	20	700				0.50	4.00				25	0.10	0.110	0
PWRBIO	0.35	0.40	0.30	0.02	0.02	16.0	1.00	1.00	6.00	75	2500				2.00					30	0.10	0.106	0
PWRHYD	1	0.10	1.00	0.20	0.20	1.00	1.00	1.00	6.00	90	3000									50	0.10	0.101	0
PWRGEO	0.35	0.30	0.30	0.02	0.02	12.0	1.00	1.00	6.00	120	4000				1.00					25	0.10	0.110	0
PWRNUC	0.33	0.75	0.28	0.00	0.00	12.0	1.00	1.00	7.00	184	6137				6.00					50	0.10	0.101	0
PWRSOL	1			1.00	1.00	1.00	0.90			12	886									24	0.10	0.111	1
PWRWND	1			1.00	1.00	1.00	0.90			44	1087									25	0.10	0.110	1

Nótese que como FlexTool realiza una evaluación detallada de la flexibilidad de la red eléctrica, se requieren datos más detallados sobre el funcionamiento de las diferentes tecnologías, como su tasa de rampa, la constante de inercia y los costes de puesta en marcha, etc., para definir las unidades en FlexTool. Por lo tanto, no todos los datos necesarios para definir las unidades pueden obtenerse de OSeMOSYS, y algunos parámetros deben recogerse de otras fuentes. Aquí, las columnas resaltadas en rojo son los datos obtenidos de OSeMOSYS, y el resto se recogen de otras fuentes.

Además, en OSeMOSYS los costes de combustible se consideran para los recursos primarios; por lo tanto, no hay costes de O&M disponibles por separado para las tecnologías de conversión. Dado que el coste de O&M es necesario en FlexTool, lo



hemos calculado basándonos en los precios del combustible (que es el principal componente del coste de O&M).



Nota: Dado que los límites del modelo son diferentes, se considera que la eficiencia de la geotermia es de 0,35 en lugar de 0,8 que se considera en OSeMOSYS.

1.5 La hoja "combustible" se utiliza para definir el coste y la intensidad de carbono de los diferentes combustibles. Los datos resaltados en rojo se obtienen de OSeMOSYS. En flexTool también se define un coste para el geo calor, que hemos añadido. Sin embargo, esto es opcional.

fuel	fuel (price/MWh)	CO2 content (t/MWh)
COA	17.38	0.34
OIL	49.03	0.26
NGS	43.26	0.20
BIO	5.76	0.36
GEO_heat	5.00	0

1.6 La hoja "unitGroup" se utiliza para definir grupos de unidades y asignarles restricciones. Puede agrupar diferentes tecnologías y especificar distintos límites para ellas, como la inversión mínima o máxima. En este caso, aunque hemos definido diferentes grupos de tecnologías, no hemos definido ninguna restricción específica para ellos.

unitGroup	max invest MW	min invest MW	max invest MWh	min invest MWh	print results	color in results
Fossil					1	
Hydro					1	
Wind					1	
PV					1	
Bio					1	
Geo					1	
NUC					2	



## Paso 2: Rellenar las hojas verdes

2.1 El "ts\_cf" se utiliza para sumar los factores de capacidad de las diferentes tecnologías. El factor de capacidad es la producción de cada tecnología para un MW de la capacidad instalada. Suele utilizarse para las tecnologías cuya producción varía con el tiempo en función de las condiciones meteorológicas y otros factores externos.

Time	cf_profile	wind_A	PV_A	Hydro_A
t0000		0.202	0	0.334
t0001		0.228	0	0.334
t0002		0.242	0	0.334
t0003		0.245	0.008	0.334
t0004		0.184	0.14	0.334
t0005		0.267	0.317	0.334
t0006		0.342	0.465	0.334
t0007		0.342	0.566	0.334

Nótese que para la energía hidroeléctrica, definimos el factor de capacidad en lugar de los datos de afluencia que usualmente se utilizan en FlexTool para mostrar el cambio en la producción de energía hidroeléctrica con variaciones en el agua de afluencia. Esto se debe a que en OSeMOSYS, la producción hidroeléctrica se define con el factor de capacidad y los datos de afluencia no estaban disponibles. Al hacer esto dejamos la hoja "ts\_inflow" vacía.

time	inflow	Hydro_A
t0000		
t0001		
t0002		
t0003		
t0004		
t0005		
t0006		
t0007		





2.2 La hoja "ts\_energy" se utiliza para añadir los perfiles de demanda de uso final. Aquí, como estamos estudiando la red eléctrica, sólo tenemos el perfil de demanda de electricidad. Sin embargo, como se ha comentado anteriormente, también se puede añadir la demanda de otros servicios de uso final, como la calefacción y la movilidad.

	grid	elec
	node	nodeA
time		
t0000		
t0001		
t0002		
t0003		
t0004		
t0005		
t0006		
t0007		
t0008		

	grid	elec
	node	nodeA
time		
t0000		1474.647
t0001		1567.848
t0002		1930.296
t0003		2149.836
t0004		2207.828
t0005		2369.376
t0006		2390.087
t0007		2340.38
t0008		2495.715
t0009		2512.284

2.3 La hoja "ts\_import" se utiliza para añadir un perfil de importación de energía. En este caso suponemos que no hay importación, por lo que dejamos esta hoja vacía.

2.4 El "ts\_reserve\_node" se utiliza para sumar las necesidades de reserva en cada nodo en cada paso de tiempo. Aquí utilizamos un valor fijo de 230 MW. El "ts\_reserve\_nodeGroup" se utiliza para definir las necesidades de reserva de un grupo de nodos y debe ser mayor que la suma de la reserva necesaria para todos los miembros del nodo. En este caso, dado que el grupo reserva1 sólo tiene un nodo miembro, la reserva requerida es igual a la reserva del **nodoA**.

	node	nodeA
Time		
t0000		343
t0001		343
t0002		343
t0003		343
t0004		343
t0005		343
t0006		343
t0007		343
t0008		343
t0009		343

	nodeGroup	reserve1
Time		
t0000		343
t0001		343
t0002		343
t0003		343
t0004		343
t0005		343
t0006		343
t0007		343
t0008		343
t0009		343



2.5 La hoja "ts\_unit" se utiliza para añadir series temporales de las características de la unidad que varían con el tiempo, por ejemplo, la eficiencia de conversión de la bomba de calor, como se discutió en la lección 16. En este caso no tenemos ningún parámetro de características que varíe con el tiempo por lo tanto, dejamos esta hoja vacía.

### Paso 3: Rellenar las hojas amarillas

3.1 La hoja "unidades" se utiliza para definir la estructura de la red (como las capacidades instaladas) y los enlaces de entrada y salida a las unidades.

- Añade todas las unidades definidas en "unit\_type" (puedes elegir las en los menús desplegables)
- Asignarlas a un grupo de unidades.
- Añade el combustible de entrada o asigna un factor de capacidad a cada tecnología.
- Especifique la rejilla de entrada y los nodos, si los hay.
- Especifica la red de salida. En este caso, la red de salida para todas las tecnologías es el **nodoA** de la red eléctrica.
- Especifique la capacidad instalada en cada nodo. En el caso de las unidades de almacenamiento, especifique también la capacidad de almacenamiento (MWh). Todos los datos de entrada proceden de OSeMOSYS.
- Si hay varias salidas, por ejemplo, en el caso de la producción combinada de calor y electricidad, debe especificar también la red output2.

Add empty row		Choose one input option (none, fuel, cf profile, inflow or input grid+node)					Output #1																
unitGroup	unit type	fuel	cf profile	inflow	input grid	input node	output grid	output node	capacity (MW)	invested capacity (MWh)	max invest (MW)	storage (MWh)	invested storage (MWh)	max invest (MWh)	storage start	storage finish	reserve increase ratio	use efficiency time series	fix unit generation	use min generation	use max generation	use min online	inflow multiplier
Fossil	PWRCOA	COA					elec	nodeA	14														
Fossil	PWROHC	OIL					elec	nodeA	0														
Fossil	PWRNGS001	NGS					elec	nodeA	350														
Fossil	PWRNGS002	NGS					elec	nodeA	0														
Bio	PWRBIO	BIO					elec	nodeA	90														
Hydro	PWRHYD		Hydro_A				elec	nodeA	274														
Geo	PWRGEO	GEO_heat					elec	nodeA	1756														
NUC	PWRNUC						elec	nodeA	0														
PV	PWRSOL		PV_A				elec	nodeA	170								0.10						
Wind	PWRWIND		wind_A				elec	nodeA	0								0.10						



Nota: Para las unidades eólicas y solares, se puede especificar cómo debe aumentar la reserva requerida a medida que aumenta la penetración de estas renovables variables. En este caso, hemos especificado el ratio de incremento de la reserva al 10%, que es el valor por defecto utilizado en FlexTool.

3.2 La hoja "nodeNode" se utiliza para especificar las características de los enlaces de transmisión entre los diferentes nodos. Como estamos utilizando un solo nodo, no es necesario especificar los enlaces de transmisión y dejamos la hoja vacía.

grid	node1	node2	cap.rightward (MW)	cap.leftward (MW)	invested capacity (MW)	max invest (MW)	loss	inv.cost/kW	lifetime	interest	annuity	HVDC	color in results

Después de añadir todos los datos necesarios, copie el archivo excel en la carpeta de datos de entrada en la carpeta raíz de flexTool.

## Actividad 2

En la segunda actividad, queremos evaluar la flexibilidad del sistema eléctrico. Para ello, añada los datos de entrada a los datos de entrada activos, ejecuta el escenario Base y espera el archivo de resultados.

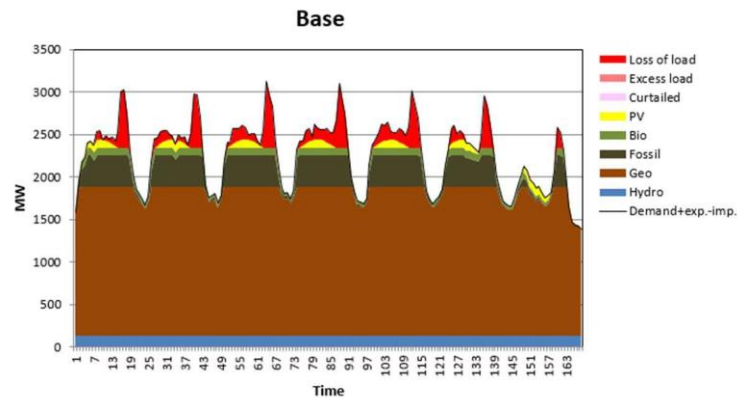
**Nota importante:** asegúrese de que la macro está activada en el nuevo archivo de entrada; de lo contrario, obtendrá un error al ejecutar el modelo.

### Preguntas:

- ¿Hay problemas de flexibilidad en el sistema?
- ¿Cuál cree que es el origen de la inflexibilidad?

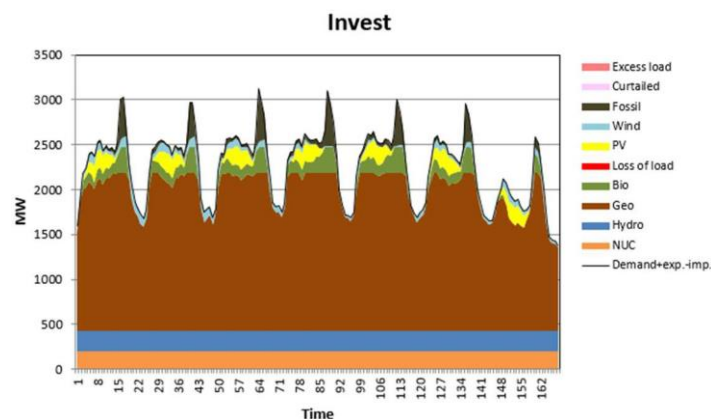
**Sugerencia:** Compruebe las hojas "genUnitGroup\_elec" para el perfil de envío y "units\_elec" para las diferentes tasas de utilización de las unidades.

- ¿Cree que añadir más unidades de almacenamiento, como baterías, reducirá los problemas de flexibilidad?



Del perfil de despacho se desprende que la disponibilidad de energía solar ya está alineada con la demanda de energía y, además, todas las unidades están funcionando casi a plena capacidad (sin restricciones). Por lo tanto, el principal problema parece ser la capacidad insuficiente.

En el siguiente paso, queremos ejecutar el modelo en modo de inversión. Abra el archivo de entrada, y en las "unidades", fijar la inversión máxima en 200 MW para todas las tecnologías. Utilizamos el



mismo nivel de capacidad de inversión para todas las unidades es tener una evaluación justa de las diferentes tecnologías y averiguar qué tecnologías serán elegidas por el modelo. Añada la *inversión* a los escenarios activos y ejecute el modelo.

### Preguntas:

- ¿El sistema sigue teniendo problemas de flexibilidad?
- ¿Cómo ha cambiado la combinación de tecnologías? ¿Qué tecnologías se instalaron?

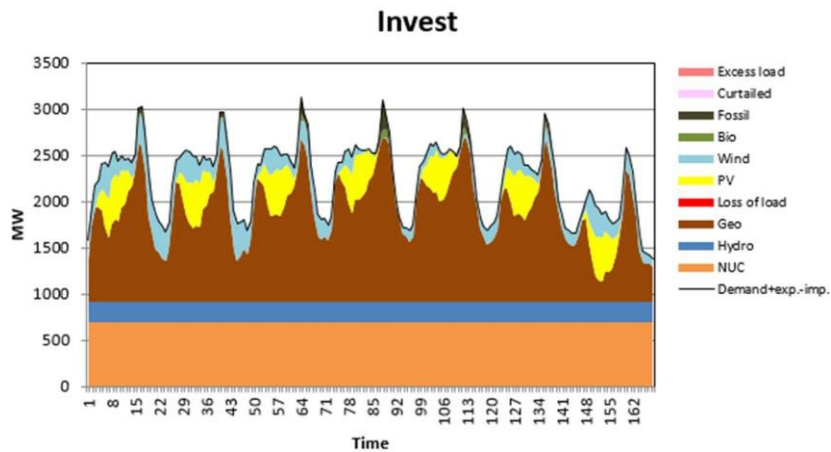


Node	Unit	Base			Invest		
		Capacity (MW)	Generation (MWh)	Utilization (%)	Capacity (MW)	Generation (MWh)	Utilization (%)
	PWRCOA	14	84800.596	69.145952	190.646	164772.24	9.8662531
	PWRNGS001	350	2047364.9	66.776417	550	351299.94	7.2914059
	PWRBIO	90	632234.22	80.192062	290	924613.56	36.396377
	PWRHYD	274	1150384	47.927875	474	1990072.1	47.927675
	PWRGEO	1756	14874265	96.695639	1756	13754466	89.415972
nodeA	PWRSOL	170	260266.78	17.476952			
	PWROHC				200	573.88837	0.032756186
	PWRNGS002				200	26817.03	1.5306524
	PWRNUC				200	1752000	100
	loss of load		978480.01				
	excess load		0				

**Pruébalo:** Aumente el nivel de inversión máxima a 700MW para todas las tecnologías y vuelva a ejecutar el modelo. También puedes hacerlo añadiendo un escenario de sensibilidad.

**Preguntas:**

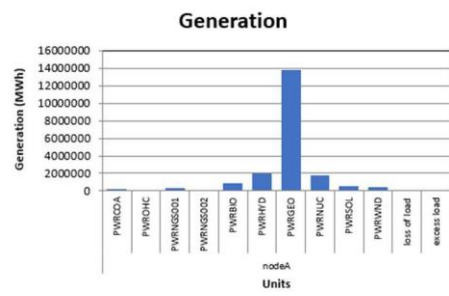
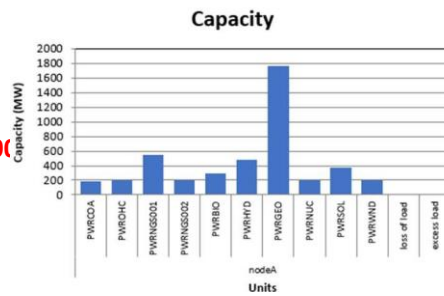
- ¿Cómo cambia la combinación de capacidades al relajar el nivel máximo de inversión?



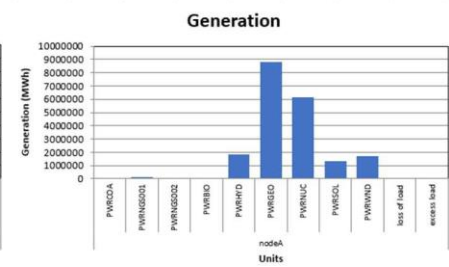
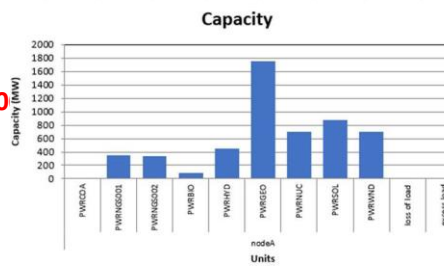
Compara las capacidades instaladas y la generación de las distintas unidades en ambos casos de inversión y comprueba en qué tecnologías se ha incrementado la capacidad instalada.



Inversión máxima de 200



Inversión máxima de 700



El aumento del nivel de inversión de Max en las diferentes tecnologías afectó al papel y al valor de las mismas. En este caso, la nuclear y la hidroeléctrica sustituyen a la geotérmica en el suministro de la carga base y los generadores geotérmicos se utilizan para abastecer las cargas intermedias y de pico.

**Actividad:** Prueba a añadir otras opciones de flexibilidad, como el hidrógeno, la conversión de energía en calor o la conversión de energía en VE, en lugar de aumentar la capacidad máxima, y comprueba cómo afectaría al funcionamiento del sistema y a la combinación de tecnologías,