



# 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

---

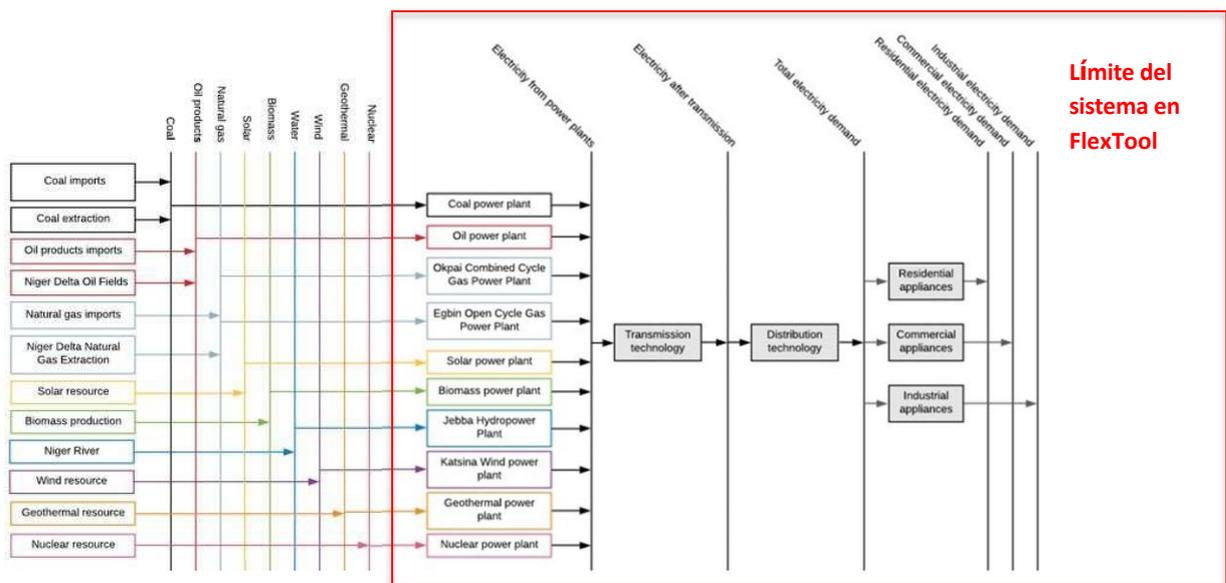
En la primera parte de este curso, se le presentó OSeMOSYS y cómo utilizarlo para desarrollar un modelo de sistema completo para una región. En la segunda parte del curso, usted se familiarizó con el concepto de flexibilidad del sistema. Luego se le presentó FlexTool y lo utilizó para evaluar la flexibilidad 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, definiendo las tecnologías, las cuadrículas y los nodos y definiendo 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 requerido, 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 coherentes 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 diferentes 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 de tiempo para 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<br>(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.

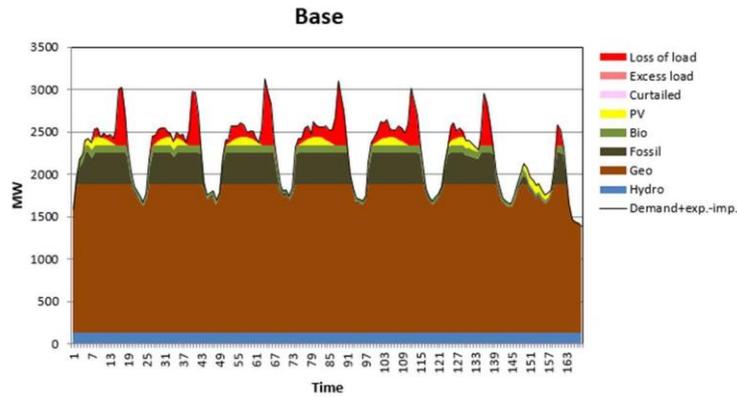
**Nota importante:** asegúrese de que la macro está activada en el nuevo archivo de entrada; de lo contrario, obtendrá un error al ejecutar el modelo.

### Preguntas:

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

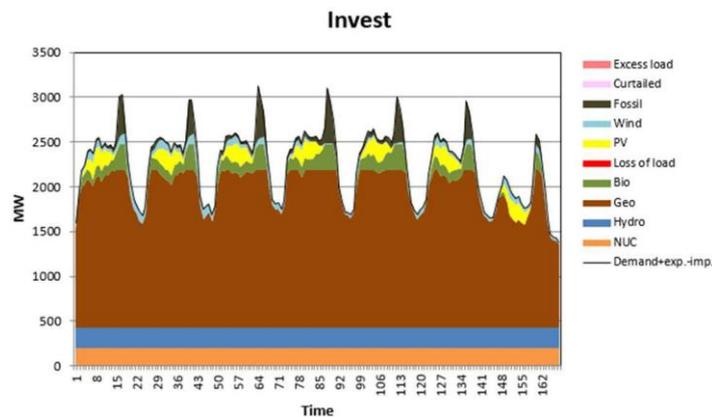
**Sugerencia:** Compruebe las hojas "genUnitGroup\_elec" para el perfil de envío y "units\_elec" para las diferentes tasas de utilización de las unidades.

- ¿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?

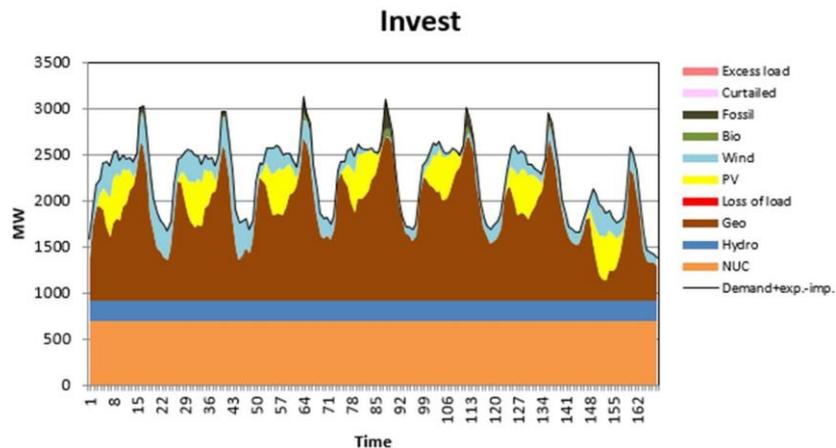


| Node  | Unit         | Base          |                  |                 | Invest        |                  |                 |
|-------|--------------|---------------|------------------|-----------------|---------------|------------------|-----------------|
|       |              | Capacity (MW) | 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                |                 |               |                  |                 |

**Pruébelo:** 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:**

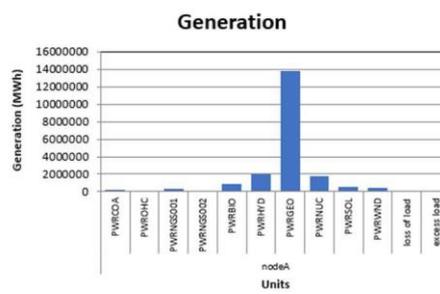
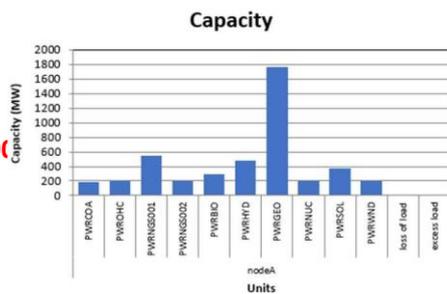
- ¿Cómo cambia la combinación de capacidades al relajar el nivel máximo de inversión?



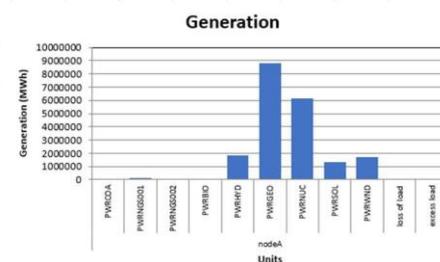
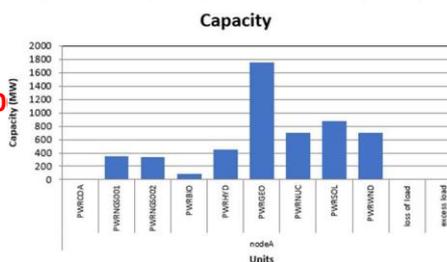
Compara las capacidades instaladas y la generación de las distintas unidades en ambos casos de inversión y comprueba en qué tecnologías se ha incrementado la capacidad instalada.



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 suministrar 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,