Pontificia Universidad Católica de Chile  
Escuela de Ingeniería  
Departamento de Ingeniería Eléctrica  
IEEE3393 - Economía de la Energía y Medioambiente

Tarea 1

**Grupo: 3**

**Integrantes:** Diego Garcés Pino y Catalina Huincahue Rojas.

**Profesor:** Cristian Muñoz Montecinos.

**Ayudantes:** Joaquín la Rosa Jiménez.

## Introducción

El presente trabajo busca ser una guía práctica para el manejo y procesamiento de información de la matriz energética en Chile. La tarea consiste en determinar para el año 2016 y para 2030 la composición tecnológica y el inventario de emisiones en el Sistema Interconectado Nacional de Chile para un escenario base, otro con una política de incentivo a las energías renovables no convencionales (ERNC) y otro con mejoras tecnológicas en centrales ERNC. Se considera como centrales ERNC: mini hidroeléctricas, eólicas, solares fotovoltaicos (FV) y geotérmicas. La contabilidad ambiental deberá incluir las emisiones de contaminantes locales y de CO2 en el sector eléctrico.

Como se ha revisado en clases, existen muchas decisiones al momento de planificar sistemas eléctricos, ya que se debe tener en consideración la capacidad instalada necesaria para satisfacer demandas actuales y futuras de energía eléctrica. Como todo proyecto, se requiere de un arduo trabajo previo de análisis de costos para llevarlo a cabo.

Para ello, se trabaja con dos planillas Excel subidas al Canvas del curso: Tablas T1.xlsx y Datos.xlsx.

Se reviso la guía subida por el ayudante

Factor de disponibilidad

Definición: Representa el porcentaje de tiempo que una central puede generar energía. No todas las centrales operan al 100 % del tiempo debido a mantenimientos, fallos o limitaciones técnicas. Mantenimientos programados (revisiones periódicas)  
Fallos no programados (averías inesperadas) Limitaciones técnicas (disponibilidad de recursos como agua o viento)

Consumos propios

Porcentaje de energía generada que consume la propia planta para su funcionamiento (bombas, ventiladores, sistemas de control, etc.). Esta energía no se inyecta a la red eléctrica.

Bloques de demanda

Segmentación de la demanda eléctrica según su nivel y duración anual. La demanda eléctrica no es constante a lo largo del tiempo, sino que varía significativamente según la hora del día, el día de la semana y la estación del a ̃no.

La demanda eléctrica en un sistema real presenta un comportamiento altamente variable. Esta variabilidad  
se debe a m ́ultiples factores:  
Patrones de consumo humano: Las personas consumen m ́as energ ́ıa durante el d ́ıa (actividades labo-  
rales, comerciales) y menos durante la noche (descanso)  
Ciclos estacionales: En invierno se consume m ́as por calefacci ́on, en verano por aire acondicionado  
Actividad econ ́omica: D ́ıas laborables tienen mayor demanda que fines de semana  
Condiciones clim ́aticas: D ́ıas nublados aumentan el consumo de iluminaci ́on  
¿Por qu ́e se modela en bloques? Modelar la demanda hora por hora durante 40 a ̃nos ser ́ıa computacio-  
nalmente inviable. Por ello, se agrupa la demanda anual en tres niveles representativos

## Metodología

Se toma de referencia la Guía para la Tarea 1 subida al Canvas del curso por el ayudante para elaborar el modelo de optimización con el que se trabajará. A partir de esta se elaboran las siguientes tablas que sintetizan la información necesaria para elaborar los modelos con los que se trabajará:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | ESCENARIOS | | |
| CBASE16 | ESC30 | PERNC30 |
| DESCRIPCIÓN | Incluye las tecnologías y condiciones existentes en 2016. | Incorpora nuevas tecnologías disponibles para el año 2030, sin imposiciones de política específicas. | Implementa una política que exige un 30 % de la generación proveniente de tecnologías renovables no convencionales (ERNC) en 2030. |
| CONJUNTOS | * TECH (22 tecnologías “i”) * D (3 bloques demanda “d”) | * TECH\_ex (22 existentes “i”) | * TECH\_ex (22 existentes “i”) |
| * TECH\_n (20 nuevas “j”) * D (3 bloques demanda “d”) | * TECH\_n (20 nuevas “j”) * D (3 bloques demanda “d”) |
| PARÁMETROS | * potencia\_neta * disponibilidad * costo\_variable * demandas * duración | Los 5 parámetros de tecnologías existentes son los mismos que CBASE16. | Los 5 parámetros de tecnologías existentes son los mismos que CBASE16. |
| * inversiones * vida\_util\_nuevas * disponibilidad\_nuevas * max\_instalacion * costo\_variable\_nuevas * anualidades\_inversion | * inversiones * vida\_util\_nuevas * disponibilidad\_nuevas * max\_instalacion * costo\_variable\_nuevas * anualidades\_inversion |
| VARIABLES | * E: energía generada por tecnología existente “i” en el bloque “d”. | * E: energía generada por tecnología existente “i” en el bloque “d”. * EN: energía generada por tecnología nueva “j”. * PN: potencia instalada de tecnología nueva “j”. | * E: energía generada por tecnología existente “i” en el bloque “d”. * EN: energía generada por tecnología nueva “j”. * PN: potencia instalada de tecnología nueva “j”. |

Tabla1. Información de los tres escenarios.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | ESCENARIOS | | |
| CBASE16 | ESC30 | PERNC30 |
| FUNCIÓN OBJETIVO | **Minimizar los costos variables de operación de todas las tecnologías existentes**. Para ello, debes sumar el producto del **costo variable de cada tecnología** por la energía generada en cada bloque de demanda | **Minimizar la suma de 3 componentes**: **costos variables de operación** de tecnologías existentes, costos de **inversión anualizados** y **variables de operación** de tecnologías nuevas | **Idéntica al ESC30, pero se debe añadir una restricción adicional** para garantizar que al menos el 30 % de la generación total provenga de tecnologías ERNC. |
| RESTRICCIONES | * **Balance de demanda:** la energía total generada en cada bloque debe ser al menos igual a la demanda de ese bloque multiplicada por su duración. * **Disponibilidad de tecnologías:** la energía generada por cada tecnológica en cada bloque no puede exceder su capacidad máxima, que es el producto de su potencia neta, la duración del bloque y su factor de disponibilidad | * **Balance de demanda:** similar al caso baso, pero incluyendo tanto tecnologías existentes como nuevas. * **Disponibilidad de tecnologías:** igual que en CBASE16. * **Disponibilidad de tecnologías nuevas:** energía generada por cada tecnología nueva en cada bloque no puede exceder su capacidad máxima. * **Límite de instalación:** no puede exceder el límite máximo establecido. | - Mismas restricciones que ESC30.   * **Meta ERNC:** el menos 30% de la generación total debe provenir de tecnologías ERNC tanto existentes como nuevas. |
| VARIABLES | * energía generada por tecnología existente “i” en el bloque “d”. * NV: no negatividad. | * energía generada por tecnología existente “i” * energía generada por tecnología nueva “j” * potencia instalada de tecnología nueva “j” * NV: no negatividad. | * energía generada por tecnología existente “i” * energía generada por tecnología nueva “j” * potencia instalada de tecnología nueva “j” * NV: no negatividad. |

Tabla2. Modelo de optimización de los tres escenarios.

Se trabajó en Python en Visual Studio Code para elaborar y correr el modelo para cada uno de los escenarios usando los Excel “Datos” y “Tablas T1”. Para esto se instalaron las librerías:

1. **pandas:** librería para manejo y análisis de datos en tablas que permite leer/escribir CSV, Excel, SQL, etc.
2. **highspy:** interfaz de Python para el *solver* HiGHS. HiGHS es un optimizador de alto rendimiento utilizado para resolver problemas de optimización lineal (LP) y entera mixta (MILP).
3. **pyomo.environ:** framework de modelado matemático en Python. Permite definir variables, restricciones y función objetivo. Se integra con distintos *solvers* (como HiGHS).
4. **pyomo.opt:** herramienta de Pyomo para conectarse a *solvers*. se usa para seleccionar y ejecutar un solver específico.

Así, se creó un *script* del modelo por cada escenario. Los 3 *scripts* siguen la misma estructura:

1. Se importa un archivo CSV con parámetros técnicos y económicos de las centrales eléctricas.
2. Se definen los bloques de demanda: se consideran 3 bloques de tiempo con su duración y demanda asociada.
3. Se elabora el modelo de optimización en orden:

* Conjuntos.
* Parámetros.
* Variables.
* Restricciones.
* Costos.
* Función objetivo.

1. Se ejecuta el solver HiGHS para encontrar la solución óptima.
2. Se reportan los resultados de la generación por planta y bloque, junto al costo asociado.

## Desarrollo de las Preguntas

Se asumen los siguientes supuestos y afirmaciones para la elaboración de los modelos y desarrollar las preguntas:

1. Se asume que a partir de 2017 la demanda crece 2% por año.
2. Se considera que en el año 2016 sólo hay centrales existentes, de modo que las nuevas centrales sólo pueden agregarse instantáneamente el año 2030.
3. Algunas tecnologías tienen valores máximos de energía disponible dadas por su restricción de máxima instalación.
4. Todos los valores monetarios están expresados en dólares de 2016.
5. Se considera energía neta para los cálculos.

### Pregunta 1: Composición tecnológica del sistema

Las tecnologías predominantes son las de las plantas: planta\_3, carbón, Huasco, planta\_4, carbón, Quillota, planta\_5, carbón, Coronel, planta\_6, CC-GNL, Quillota, planta\_12, petróleo diésel, Quillota, planta\_13, petróleo diésel, Valparaíso, planta\_14, petróleo diésel, RM, planta\_16, petróleo diésel, Charrúa, planta\_17, petróleo diésel, Valdivia y planta\_19, hidro, Charrúa.

Tras ejecutar el código se obtuvo las capacidades netas de las plantas y la que tiene un número más alto es planta 19 (hidro, Charrúa) con 54,918,918.0 MW. En el bloque 2, con 14,565,459.7 MW y en el bloque 3 con 10,651,128.0 MW. En los 3 bloques presenta el más alto valor de generación en MW en comparación a todas las otras plantas. La suma de estos 3 bloques de niveles de demanda (punta, media, base) equivale al resumen de generación por año, el cual alcanza un total de 80,135.4 GW.

### Pregunta 2: Contabilidad ambiental

Aquí no hay pregunta como tal. La tabla 3 es de “Contabilidad ambiental emisiones descontroladas”, sin embargo, para este análisis no se consideran directamente en el código del modelo. Estos son:

* **MP (Material Particulado)**. Corresponde a pequeñas partículas sólidas o líquidas en suspensión (polvo, cenizas, hollín) que afectan la calidad del aire y la salud respiratoria. Principalmente producido por centrales a carbón y en menor medida las centrales de biomasa.
* **SOx (Óxidos de azufre)**. Se producen al quemar combustibles fósiles con azufre (carbón, petróleo). Causa irritación respiratoria y contribuyen a la lluvia ácida. Principalmente producido por centrales a carbón y petróleo.
* **NOx (Óxidos de nitrógeno)**. Se generan en la combustión a altas temperaturas. Causan smog y problemas respiratorios. Producido por casi todas las centrales térmicas a carbón, diésel y gas natural.
* **CO₂ (Dióxido de carbono)**. Es el principal gas de efecto invernadero asociado al cambio climático. Similar al anterior, producido por todas las centrales que funcionan en base a combustibles fósiles como el carbón, petróleo y gas natural.

Como las centrales hidroeléctricas, geotérmicas, eólicas y solares no involucran combustión, no se observan este tipo de emisiones y, para efectos de este ejercicio, las centrales de biomasa tampoco presentan emisiones.

A partir de lo señalado por el ayudante en el documento “Guía para la Tarea 1”, se calculan las emisiones a partir de la generación de las plantas en el escenario 2030.

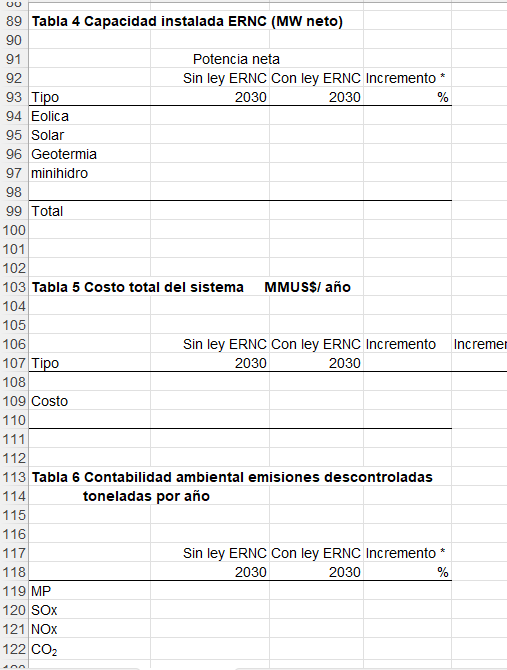
* **Carbón\_ex:** 35 281 154.46 MWh
* **GNL\_ex:** 13 297 474.80 MWh
* **Petróleo\_ex:** 32 939 489.28 MWh
* GNL\_n: 17407129.601472043 MWh

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Tecnología | Total Gen | MP | **SOx** | **NOx** | **CO₂** |
| Carbón\_ex | 35281154.46 |  |  |  |  |
| Diésel\_ex |  |  |  |  |  |
| GNL\_ex |  |  |  |  |  |
| Carbón\_n |  |  |  |  |  |
| Diésel\_n |  |  |  |  |  |
| GNL\_n |  |  |  |  |  |

Tabla3. Emisiones escenario 2030.

total\_gen\_carbon\_ex = energía generada por todas las carbon ex en los 3 bloques.  
Emisiones totales = MP

### Pregunta 3: Meta de ERNC y desarrollo tecnológico



Sólo para efectos de esta pregunta, asuma que se impone la meta de que al 2030 un 30% del total de la generación debe provenir desde fuentes ERNC. Reporte tablas 4, 5 y 6.

También reporte el costo promedio de la mitigación de en el año 2030 (en $/ton CO2 abatida) y compárelo con el valor de un certificado de reducción de emisiones transado en Europa (CER) de U$20/tCO2.

Responda: Desde el punto de vista de mitigación de CO2, ¿es eficiente esta política de ERNC?

Ahora suponga que el costo de construir nuevas centrales solares fotovoltaicas (FV) baja a $700/kW (editar en centrales\_n el primer valor de solar)  
instalado. Reporte la tabla 7. Responda; ¿Fue necesario definir una política de incentivos a la ERNC?  
Desde el punto de vista de una política energética eficiente para un país como Chile, ¿qué recomienda?