



# **Item 4: Guía metodológica para el desarrollo de competencias en planificación energética**

## **Misión 2 para DGEE**

**28 Diciembre 2017**

This study has been elaborated by Consultora SPEC Limitada to design and implement a capacity building program with focus on strengthen the local human resources to apply methodologies suitable for developing national long-term energy sector planning and information systems.

Supported by  
European Union Energy Initiative  
Partnership Dialogue Facility (EUEI PDF)



c/o Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH  
P.O. Box 5180, 65726 Eschborn, Germany

info@euei-pdf.org  
www.euei-pdf.org

#### Authors

Consultora SPEC Limitada  
www.spec.cl  
www.ameba.cloud  
info@spec.cl



In partnership with



With comments and contributions by

-

Place and date of publication  
Santiago, Chile, December 2017.

The Partnership Dialogue Facility (EUEI PDF) is an instrument of the EU Energy Initiative (EUEI). It currently receives contributions from the European Commission, Austria, Finland, Germany, Italy, the Netherlands and Sweden.



# Tabla de contenidos

1	INTRODUCCIÓN	4
2	GUÍA METODOLÓGICA GENERAL	5
2.1	OBJETIVO GENERAL DEL CURSO DE CAPACITACIÓN	5
2.2	MÓDULOS DE CONTENIDOS TEÓRICOS	5
2.3	COMPETENCIAS A DESARROLLAR	6
2.4	PERFIL DEL PARTICIPANTE Y REQUISITOS	6
2.5	METODOLOGÍA DE TRABAJO DOCENTE	7
2.6	METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE PARTICIPANTES	7
3	DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS POR MÓDULO	8
3.1	INTRODUCCIÓN A LA MICROECONOMÍA	8
3.2	INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES	9
3.3	INTRODUCCIÓN A MERCADOS ENERGÉTICOS	10
3.4	ECONOMÍA Y REGULACIÓN ENERGÉTICA	12
3.5	MODELOS DE PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA I	13
3.6	GESTIÓN DE LA INCERTIDUMBRE I	14
3.7	MODELOS DE PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA II	15
3.8	MODELAMIENTO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS	16
3.9	MECANISMOS DE INCENTIVOS A ENERGÍA RENOVABLE Y EFICIENCIA ENERGÉTICA	18
3.10	CAMBIO CLIMÁTICO Y RESILIENCIA	19
3.11	CONSIDERACIONES SOCIALES Y TERRITORIALES	21
3.12	SISTEMAS DE INFORMACIÓN Y EJEMPLOS PRÁCTICOS	23
3.13	MÓDULOS PRÁCTICOS	25

# 1 Introducción

La demanda energética en Perú ha aumentado en los últimos años, y se espera que esta tendencia continúe en línea con el crecimiento del PIB. Actualmente, Perú cuenta con recursos hidroeléctricos y gas natural para la producción de electricidad; sin embargo, dado el crecimiento esperado de la demanda, es necesario aumentar la producción mientras al mismo tiempo se garantiza la seguridad y la sostenibilidad del suministro.

A pesar de los compromisos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, la participación de los combustibles fósiles en la matriz ha crecido durante la última década. Asimismo, existen desafíos asociados al acceso a la energía, donde Perú se mantiene con la tercera tasa más alta en latinoamérica de población sin acceso a la electricidad.

Una tarea clave para abordar los desafíos anteriores es el desarrollo de capital humano avanzado que permita desarrollar un plan de energía a largo plazo coherente y coordinado que aborde los desafíos actuales y visualice una infraestructura energética sostenible y robusta, mejore el uso de fuentes de energía renovable y cierre la brecha de acceso de electricidad zonas rurales.

Para enfrentar esta tarea, el Gobierno del Perú ha lanzado varios programas con apoyo internacional y se han contratado diferentes consultorías para abordar este desafío. Uno de ellos es el Programa para la Gestión Eficiente y Sostenible de los Recursos Energéticos del Perú (PROSEMER) que busca fortalecer la capacidad del gobierno peruano para planificar y administrar los recursos energéticos de forma eficiente y sostenible. También se prevé la creación de una Agencia de Planificación Energética.

En agosto de 2016, la Dirección General de Eficiencia Energética (DGEE), entidad encargada de liderar el proceso de planificación energética dentro del Ministerio de Energía y Minas (MINEM), solicitó apoyo a EUEI PDF para: a) supervisar las diferentes consultorías para asegurar que los resultados esperados se alcancen y se coordinen; b) desarrollar las capacidades del personal del MINEM que, en una etapa posterior, formaría parte de la Agencia de Planificación Energética. Asimismo, se requieren desarrollar capacidades en las universidades locales de manera de asegurar una transferencia de conocimiento sustentable a mediano y largo plazo.

El presente documento corresponde a la guía metodológica del curso de capacitación para desarrollar competencias en el ámbito del modelamiento y planificación energética al personal del MINEM. La guía incluye una completa descripción de los módulos de contenidos teóricos que debería contener como mínimo para alcanzar el objetivo general. Asimismo, se describen los objetivos por módulo y las competencias específicas que busca desarrollar.

## 2 Guía metodológica general

### 2.1 Objetivo general del curso de capacitación

El curso tiene como propósito general lograr que los participantes incrementen sus competencias en relación a los tópicos más relevantes relacionados con la aplicación y desarrollo de metodologías de modelación en planificación energética. Los participantes obtendrán conocimientos teóricos básicos que sustentan al mercado energético, a los procesos de planificación energética y sobre un número de aspectos avanzados que impactan a los resultados de la planificación.

### 2.2 Módulos de contenidos teóricos

Los contenidos teóricos del curso se han organizado en diversos módulos, agrupado por temáticas y estructurado en un orden lógico, de manera que sean paulatinamente abordados. Así, el curso comienza con una introducción a los conceptos generales involucrados y necesarios para el entendimiento de la teoría económica y matemática subyacente al sector energético. Es importante destacar que estos módulos introductorios son fundamentales para desarrollar una planificación energética que tiene coherencia económica e incentivos alineados con los objetivos de largo plazo. Luego, se introducen los contenidos aplicados a la modelación y planificación, describiendo las herramientas metodológicas y económicas comúnmente usadas a nivel mundial.

Posteriormente, se abordará un conjunto de contenidos avanzados directamente relacionados con la modelación y planificación, los cuales han tomado gran relevancia en los últimos años debido, entre otras cosas, a la política energética para fomentar una matriz energética más sustentable. En cada uno de ellos se destacan los aspectos de modelamiento matemático y sus implicancias en la planificación, así como también aspectos computacionales y prácticos.

Finalmente, se realizarán ejercicios prácticos con la herramienta de uso comercial AMEBA ([www.ameba.cloud](http://www.ameba.cloud)) enfocados al repaso de los principales conceptos teóricos, entendimiento de aspectos prácticos y el fortalecimiento de las capacidades de análisis de los asistentes.

Las temáticas y módulos de contenido son las siguientes:

#### Temáticas introductorias

- Introducción a la microeconomía
- Introducción a Investigación de operaciones
- Introducción a mercados energéticos

#### Temáticas principales

- Economía y regulación energética

- Modelos de planificación energética
- Gestión de la incertidumbre

#### Temáticas avanzadas

- Nuevas tecnologías
- Mecanismos de incentivos a energía renovable y eficiencia energética
- Cambio climático y resiliencia
- Consideraciones territoriales y sociales
- Mecanismos de Incentivos a Energía Renovable y Eficiencia Energética
- Sistemas de información y ejemplos prácticos

#### Temáticas prácticas:

- Realización de ejercicios prácticos.
- Repaso de principales conceptos teóricos.
- Análisis de caso para el fortalecimiento de capacidades de análisis de los asistentes.

En cada uno de estos módulos, se tienen diversos objetivos para los participantes, los cuales son descritos con mayor detalle en cada uno en las secciones siguientes.

## 2.3 Competencias a desarrollar

Las competencias generales a desarrollar en el curso permitirán que el participante;

- Entienda los conceptos económicos y matemáticos subyacentes a la planificación y al sector energía
- Sea capaz de comprender las consideraciones de la planificación, sus aspectos de modelamiento, así como simplificaciones y supuestos principales.
- Sea capaz de entender cómo algunos aspectos particulares pueden generar impactos considerables en el proceso de planificación.
- Disponga de fuentes de información para la caracterización de parámetros y supuestos utilizados para el proceso de planificación.
- Sepa utilizar herramientas de planificación avanzadas para el análisis de la situación futura de desarrollo del sector energético peruano.

## 2.4 Perfil del participante y requisitos

El curso está dirigido a profesionales de organismos públicos, empresas del sector, y consultores que desean formarse en los aspectos relacionados con sistemas de energía, modelación y planificación.

Los requerimientos para los participantes son; Nociones básicas de microeconomía, optimización y sistemas de potencia/sistemas de energía.

## 2.5 Metodología de trabajo docente

El curso consta de los siguientes métodos:

- Módulos teóricos; se llevan a cabo sesiones de presentación de los contenidos por parte de los profesores y expertos del equipo consultor, con una descripción teórica y con ejemplos tanto ilustrativos como prácticos. Junto con la presentación de antecedentes teóricos, cada módulo identificará potenciales aplicaciones de los conceptos presentados en el proceso de planificación energética.
- Módulos prácticos; mediante la aplicación de herramientas de simulación comerciales, los participantes llevan a cabo ejemplos donde se analizan parte de los contenidos entregados. Esto requiere de contar con un computador/laptop con acceso a internet.

## 2.6 Metodología de evaluación de participantes

La evaluación permitirá que los estudiantes demuestren los resultados de aprendizaje alcanzados durante el proceso de enseñanza. Dado que el taller se desarrolla en el espacio de 5 días, se aplicará un test de selección múltiple al comienzo y al final del mismo. El test de evaluación preliminar será enviado a los participantes con al menos 1 mes de anticipación, de tal manera que los contenidos de los módulos introductorios sean adaptados a los resultados de la evaluación preliminar.

# 3 Descripción de contenidos por módulo

## 3.1 Introducción a la microeconomía

### Descripción de contenidos

La teoría microeconómica estudia las decisiones de agentes racionales en mercados y los equilibrios que resultan como consecuencia de sus interacciones. Este módulo busca introducir conceptos claves como costos de oportunidad, decisión racional, el comportamiento de los consumidores, el de los productores, equilibrio y estabilidad. El principal objetivo del curso es que el participante entienda el fin de los mercados y cómo estos, bajo una serie de supuestos, resultan en asignaciones eficientes.

Si bien un curso de microeconomía normalmente abarca una serie de contenidos adicionales y se ofrece en formato semestral, este módulo se enfoca sólo en los tópicos que se consideran relevantes para los posteriores módulos enfocados en modelos de planificación energética.

### Listado de contenidos

- Escasez y costos de oportunidad
- Teoría de decisión racional
- Los consumidores y la curva de demanda
- Los productores y la curva de oferta
- Equilibrio en un mercado perfectamente competitivo: supuestos y resultados
- Estabilidad de un equilibrio competitivo en el corto y largo plazo

### Preguntas clave y objetivos para los participantes

Es clave que los participantes sean capaces de entender los siguientes puntos:

- Entender que es posible modelar el comportamiento racional de consumidores y firmas productoras en un mercado.
- Entender que bajo una serie de supuestos, existe un nivel de producción y precio de equilibrio que corresponde a la intersección de las curvas de oferta y demanda de mercado.

### Bibliografía

- Robert Pindyck y Daniel Rubinfeld. *Microeconomía*, Séptima Edición. Pearson Educación, S.A., Madrid, 2009.
- Hugh Gravelle y Ray Rees. *Microeconomía*, Tercera edición, Ed. Pearson Education, 2005.
- Walter Nicholson. *Teoría Microeconómica: Principios Básicos y Extensiones*, Octava edición, Thomson Learning, Inc., 2002.
- Hal R. Varian, *Análisis Microeconómico*, W.W.Norton & Company, Inc., 1992.



## 3.2 Introducción a la investigación de operaciones

### Descripción de contenidos

Este módulo pretende capacitar al participante en la formulación de modelos de optimización para problemas de toma de decisiones en el ámbito determinístico, en diferentes áreas de la Ingeniería. También se espera que el participante aprenda sobre el uso de técnicas de caracterización y resolución de modelos de optimización utilizando distintos tipos de algoritmos de programación lineal y no lineal.

A su vez se introduce al participante en: la formulación de modelos de optimización para problemas de carácter combinatorial y en el uso de algoritmos apropiados para este tipo de problemas, así como en los paradigmas de flujo en redes como esquemas alternativos de modelamiento para ciertos tipos de problemas.

### Listado de contenidos

- Motivación y preliminares
- Programación lineal
- Teoría de dualidad
- Programación lineal entera
- Programación no lineal

### Preguntas clave y objetivos para los participantes

Al final de curso el participante será capaz de:

- Entender y crear modelos matemáticos de problemas diversos de toma de decisiones utilizando modelos lineales y no lineales, en variables continuas y discretas.
- Entender las propiedades matemáticas de los problemas de optimización y aplicarlas para identificar adecuadamente sus soluciones y las propiedades de éstas.
- Entender y aplicar programación lineal y otros algoritmos para enfrentar y resolver problemas no lineales y enteros.
- Conocer herramientas computacionales para resolver modelos de optimización.

### Bibliografía

- Hillier, F.; G. Lieberman. *Introducción a la Investigación de Operaciones*. Novena edición. McGraw-Hill, 2010.
- Gorbena, M., V. Jornet, R. Puente. *Optimización Lineal: Teoría Métodos y Modelos*, McGraw-Hill, 2004.
- D. G. Luenberger and Y. Ye. *Linear and nonlinear programming*. Springer Verlag, 2008.

## 3.3 Introducción a mercados energéticos

### Descripción de contenidos

La introducción de la competencia y la liberalización de los mercados ha cambiado el sector energético de manera radical, produciendo la desintegración de compañías verticalmente integradas y promoviendo el rol del estado en la regulación de los mercados. En este contexto, este módulo busca entregar los conocimientos básicos y fundamentos detrás de los mercados energéticos, las interrelaciones entre los distintos mercados de combustibles y su relación con el precio y producción de la electricidad. Se exponen, además, las diferencias (a nivel de sus marcos conceptuales) entre los mercados de combustibles y los mercados eléctricos, enfatizando, para éste último, en la necesidad por (y las consecuencias de) una operación física centralizada.

### Listado de contenidos

- Mercados de combustibles fósiles
- Consumo, producción, reservas y transporte
- Intercambios y precios
- Mercados de electricidad
- Tipos de mercado: bilaterales y pool
- Mercado spot y operación de sistemas
- Mercado de balances y servicios complementarios
- Liquidaciones
- Institucionalidad energética

### Preguntas clave y objetivos para los participantes

Es clave que los participantes sean capaces de entender los siguientes puntos:

- El consumo de energía es clave para la actividad humana y el sustento económico de las naciones
- Hay varios mercados energéticos que son interdependientes entre sí y cuyos precios dependen del consumo, producción, reserva y transporte de la energía
- El mercado de la electricidad es altamente dependiente de los mercados de combustibles fósiles
- El mercado de la electricidad posee leyes físicas, únicas que hace necesario una operación (y optimización) más compleja

### Bibliografía

- Kirschen, D. S., & Strbac, G. *Fundamentals of power system economics*. John Wiley & Sons, 2004.
- Rothwell, G., & Gomez, T. *Electricity economics*. IEEE series on power engineering, 2003.
- Burger, M., Graeber, B., & Schindlmayr, G. *Managing energy risk: An integrated view on power and other energy markets* (Vol. 426). John Wiley & Sons, 2008.

- Moreno, R., Matus, M., Flores, A., & Püschel, S. Análisis Económico del Despacho Eléctrico de Generadores con Contratos de Suministro de Combustible GNL Take or Pay. Comisión Nacional de Energía de Chile, 2014.

## 3.4 Economía y regulación energética

### Descripción de contenidos

Los mercados energéticos presentan diversas fallas de mercado. Si a esto se le suma el hecho de que la demanda energética es bastante inelástica y que los sistemas de energía se rigen por ciertas leyes físicas, resulta fundamental estudiar en detalle la regulación de dichos mercados.

En este módulo se busca que los estudiantes logren entender el comportamiento de los distintos agentes que participan en el mercado energético y la interacción que estos tienen con la estructura y el desempeño del mismo, para luego entender la forma de mejorar la eficiencia de los mercados. Se analizarán distintos instrumentos económicos que permitan internalizar las externalidades y resolver algunas fallas de mercado. En particular, se estudiarán las normas y penalizaciones (como las normas de emisiones a las centrales térmicas), los impuestos pigouvianos aplicados a sistemas energéticos y los sistemas de permisos transables.

### Listado de contenidos

- Eficiencia económica
- Ineficiencia económica de las externalidades
- Internalización de externalidades
- Regulación a través de: (i) Normas y multas; (ii) Impuestos; y (iii) Permisos de Emisión Transables
- Regulación de los mercados imperfectos: monopolios y oligopolios

### Preguntas clave y objetivos para los participantes

Los dos temas claves que se deben buscar en los participantes es que el participante sea capaz de: (i) Entender el comportamiento de los distintos agentes que participan en el mercado energético y la interacción que estos tienen con la estructura y el desempeño del mismo; y (ii) Entender el proceso de toma de decisión de las empresas y los mecanismos de regulación en mercados de competencia perfecta e imperfecta.

### Bibliografía

- Hugh Gravelle y Ray Rees. *Microeconomía*, Tercera edición, Ed. Pearson Education, 2005.
- Walter Nicholson. *Teoría Microeconómica: Principios Básicos y Extensiones*, Octava edición, Thomson Learning, Inc., 2002.
- Steve Stoft. *Power System Economics: Designing Markets for Electricity*, Wiley-IEEE Press, 2002.
- Hal R. Varian. *Análisis Microeconómico*, W.W.Norton & Company, Inc, 1992.

## 3.5 Modelos de Planificación Energética I

### Descripción de contenidos

Los modelos de planificación energética permiten a una autoridad regulatoria, empresa, u organismo sin fines de lucro planificar o proyectar decisiones de inversión, producción y, en algunos casos, niveles de consumo en un sistema. En este módulo se introducen los conceptos básicos de modelos de planificación energética que son necesarios para cubrir conceptos más avanzados en módulos subsecuentes.

El módulo busca principalmente explicar la diferencia que existe entre modelos top down y bottom up, detallar la conexión que existe entre problemas de optimización y equilibrios de mercados competitivos, y describir los modelos de planificación energética más utilizados por organismos internacionales. Se dará especial énfasis al modelo TIMES y se detallarán algunos modelos de planificación energética especializados en el sector eléctrico.

### Listado de contenidos

- Introducción a los modelos de planificación energética, contexto histórico
- Modelos top-down versus bottom-up
- La conexión entre optimización y equilibrios de mercado
- Ejemplo de modelo de planificación energética integrada: TIMES
- Ejemplos de modelos de planificación energética para áreas específicas

### Preguntas clave y objetivos para los participantes

Los temas claves que se deben buscar en los participantes son los siguientes:

- Entender el uso y valor de los distintos modelos de planificación energética disponibles.
- Ser capaz de interpretar los resultados de modelos de planificación energética en contextos regulados y desregulados.
- Entender las funcionalidades principales de los modelos de planificación energética más frecuentemente utilizados.

### Bibliografía

- Hobbs, B. F. *Optimization methods for electric utility resource planning*. European Journal of Operational Research, 83(1), 1995, 1-20.
- Jebaraj, S., & Iniyar, S. *A review of energy models*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 10(4), 2006, 281-311.
- Hourcade, J. C., Jaccard, M., Bataille, C., & Gherzi, F. *Hybrid Modeling: New Answers to Old Challenges*. Introduction to the Special Issue of The Energy Journal, 2006, 1-11.

## 3.6 Gestión de la Incertidumbre I

### Descripción de contenidos

Cualquier proceso de toma de decisiones involucra factores que poseen algún grado de incertidumbre asociada. En el contexto de la planificación energética la incertidumbre está asociada a factores como proyecciones de precios de combustibles, demandas, costos de tecnologías, y disponibilidad de recursos primarios.

Una de las maneras de considerar la incertidumbre de manera explícita en modelos de planificación energética es a través del uso de escenarios que, de manera aproximada, capturen las distintas posibles realizaciones de factores como la demanda energética.

En este módulo se busca exponer a los participantes a algunas de las herramientas más utilizadas para la gestión de la incertidumbre, incluyendo el uso de escenarios y la planificación estocástica. También se busca dejar en claro cómo planes óptimos en un sentido estocástico pueden ser subóptimos en un sentido determinístico (i.e., en retrospectiva).

### Listado de contenidos

- Predicciones energéticas bajo incertidumbre, una perspectiva histórica
- El uso de escenarios como alternativa para representar incertidumbre
- El valor y limitaciones del análisis de escenarios
- La planificación estocástica como herramienta para gestionar la incertidumbre

### Preguntas clave y objetivos para los participantes

Los conceptos más relevantes que deben dominar los participantes al final de este módulo son los siguientes:

- Entender los posibles costos de ignorar la incertidumbre en la planificación energética
- Comprender las fortalezas y limitantes del análisis de escenarios
- Entender las ventajas de la planificación estocástica y el tipo de soluciones que puede entregar esta estrategia de planificación

### Bibliografía

- Wallace, S. W. Decision making under uncertainty: Is sensitivity analysis of any use?. *Operations Research*, 48(1), 2000, 20-25.
- Munoz, F. D., Hobbs, B. F., Ho, J. L., & Kasina, S. An engineering-economic approach to transmission planning under market and regulatory uncertainties: WECC case study. *IEEE Transactions on Power Systems*, 29(1), 2014, 307-317.
- Conejo, A. J., Carrión, M., & Morales, J. M. *Decision making under uncertainty in electricity markets* (Vol. 1). New York: Springer, 2010.

## 3.7 Modelos de planificación energética II

### Descripción de contenidos

Este módulo es continuación del módulo primero de planificación. Además, se requiere haber participado en los módulos de Introducción a Investigación de Operaciones, Introducción a Mercados Eléctricos y Gestión de la Incertidumbre. En este módulo se introducen conceptos avanzados para la planificación energética. En particular se pretende mostrar las principales herramientas para cuantificación de incertidumbre, como proyecciones de demandas, que son datos de entrada necesarios para modelos de planificación bajo incertidumbre. Además, se presentarán las metodologías más comunes utilizadas para la planificación bajo incertidumbre, así como la representación de interacciones entre distintos agentes y mercados de energía. Finalmente se presentarán dos casos de planificación de sistemas eléctricos. El primero de ellos pretende incorporar conceptos de planificación bajo incertidumbre, mientras que el segundo de ellos pretende incorporar conocimientos adquiridos de modelado de interacción entre agentes participantes y mercados de energía.

### Listado de contenidos

- Introducción y principios básicos
- Cuantificación de incertidumbre
- Métodos para planificación energética bajo incertidumbre
- Modelado de interacción entre participantes
- Ejemplo de modelo de planificación bajo incertidumbre
- Ejemplos de modelos de planificación integrada de sistemas eléctricos

### Preguntas clave y objetivos para los participantes

Los temas claves que se deben buscar en los participantes son los siguientes:

- Análisis de distintos modelos de planificación energética avanzados en los que existe incertidumbre e interacción entre agentes energéticos y mercados.
- Ser capaz de integrar y aplicar conocimientos de mercados eléctricos y gestión de incertidumbre en resultados de modelos de planificación energética.

### Bibliografía

- A.J. Conejo, L. Baringo, J. Kazempour, and A. Siddiqui. *Investment in Electricity Generation and Transmission: Decision Making Under Uncertainty*. Springer, Switzerland, 2016.
- D. Pozo, E. Sauma, and J. Contreras. Basic theoretical foundations and insights on bilevel models and their applications to power systems. *Annals of Operations Research*, 2017, pp. 1-32.
- Bhattacharyya, Subhes C. *Energy economics: concepts, issues, markets and governance*. Springer Science & Business Media, 2011.
- Luenberger, David G. *Investment science*. Oxford University Press, 2014

## 3.8 Modelamiento de nuevas tecnologías

### Descripción de contenidos

Las nuevas tecnologías y equipos inteligentes (llamados así por su integración con los sistemas de información, que permiten que las actividades de monitoreo, comunicación y control se realicen más eficientemente) que pueden entregar una mayor flexibilidad a los sistemas de potencia, son clave en la transición a un sistema eléctrico más sustentable. En este contexto, este módulo busca destacar la importancia de las nuevas tecnologías y su rol a futuro, especialmente en facilitar la penetración de generación renovable variable, y la manera de incorporar dichas tecnologías a los modelos de despacho y flujo óptimo DC.

### Listado de contenidos

- Evolución de sistemas convencionales a redes inteligentes
- Importancia de la flexibilidad, control y monitoreo en sistemas eléctricos con generación renovable
- Fundamentos de modelación de redes: flujo de potencia DC y precio de la ley de voltajes de Kirchhoff
- Modelación de HVDC, FACTS, SIPS, DLR y control topológico de redes
- Control de la demanda y almacenamiento
- Flexibilidad en distintas escalas de tiempo (milisegundos a años)

### Preguntas clave y objetivos para los participantes

Es clave que los participantes sean capaces de entender los siguientes puntos:

- La importancia de modelar distintos tipos de flexibilidad en los sistemas eléctricos y las consecuencias de no hacerlo
- Identificar cuándo es necesario modelar la participación de una tecnología específica
- Conocer las principales ecuaciones para representar distintas tecnologías en los modelos de despacho

### Bibliografía

- Moreno, R., Street, A., Arroyo, J.M., Mancarella, P. Planning low-carbon electricity systems under uncertainty considering operational flexibility and smart grid technologies. *Phil. Trans. R. Soc. A* 375: 20160305, 2017.
- Buchholz, B. M., & Styczynski, Z. Smart grids—fundamentals and technologies in electricity networks. Springer, 2014.
- Noroozian M, Andersson G. Power flow control by use of controllable series components. *IEEE Trans. Power Deliv.* 8, 1993, 1420–1429.
- Pipelzadeh, Y., Moreno, R., Chaudhuri, B., Strbac, G., & Green, T. C. Corrective Control With Transient Assistive Measures: Value Assessment for Great Britain Transmission System. *IEEE Transactions on Power Systems*, 32(2), 2017, 1638-1650.
- Strbac, G., Aunedi, M., Konstantelos, I., Moreira, R., Teng, F., Moreno, R., ... & Papadopoulos, P. Opportunities for Energy Storage: Assessing Whole-System



Economic Benefits of Energy Storage in Future Electricity Systems. *IEEE Power and Energy Magazine*, 15(5), 2017, 32-41.

- Moreno, R., Ferreira, R., Barroso, L., Rudnick, H., & Pereira, E. Facilitating the Integration of Renewables in Latin America: The Role of Hydropower Generation and Other Energy Storage Technologies. *IEEE Power and Energy Magazine*, 15(5), 2017, 68-80.

## 3.9 Mecanismos de Incentivos a Energía Renovable y Eficiencia Energética

### Descripción de contenidos

Los mercados desregulados presentan desafíos importantes de eficiencia y de regulación. En este módulo se hará una revisión más detallada de la regulación en el caso de los incentivos a las energías renovables y la eficiencia energética. Se analizarán distintos instrumentos económicos que permitan fomentar el uso eficiente de la energía y la producción y uso de energía renovable, analizando sus ventajas y desventajas. En el caso de la producción de electricidad mediante fuentes renovables, también se discutirá las características particulares de algunas fuentes renovables que imponen ciertos desafíos al operador del sistema, al planificador de la red y al regulador del mercado.

### Listado de contenidos

- Eficiencia energética y ahorro energético
- Barreras existentes y contexto de América Latina
- Metodología de evaluación del impacto de los programas de eficiencia energética
- Líneas de acción para mejorar la eficiencia energética
- El rol de las energías renovables
- Aspectos técnico-económicos de las energías renovables
- Las energías renovables y las necesidades de flexibilidad del sistema
- Políticas energéticas de fomento a las energías renovables

### Preguntas clave y objetivos para los participantes

Los temas claves que se deben buscar en los participantes es que sea capaz de:

- Entender por qué es necesario regular los mercados energéticos para lograr un uso eficiente de la energía.
- Entender cómo se debe evaluar el impacto de los programas de eficiencia energética.
- Conocer los mecanismos más usados para mejorar la eficiencia energética.
- Entender los desafíos de regulación en un mercado con alta penetración de energías renovables.
- Conocer los mecanismos más usados para fomentar el uso de las energías renovables.

### Bibliografía

- Kolstad, C. (2011). Environmental Economics, Oxford University Press. 2nd. Edition.
- Steve Stoft, 2002. Power System Economics: Designing Markets for Electricity, Wiley-IEEE Press.
- Tietenberg, T. (1996). Environmental and natural resource economics, Harper Collins.

## 3.10 Cambio climático y resiliencia

### Descripción de contenidos

La adaptación y mitigación de sistemas energéticos al cambio climático se han convertido en elementos fundamentales para la planificación estratégica y creación de políticas del sector. El cambio climático es reconocido como una componente para la gestión de riesgo, análisis de resiliencia y seguridad en sistemas energéticos. En este módulo presenta los desafíos actuales para la consideración de efectos de cambio climático, fundamentos y soluciones para el sector energético. Además, se presenta el estado del arte en planificación resiliente de sistemas eléctricos, ilustrando las diferencias (mediante ejemplos concretos y relevantes para la costa Pacífico de Latinoamérica) con aquellos conceptos más clásicos de confiabilidad.

### Listado de contenidos

- Fundamentos meteorológicos y climáticos para el sector energético
- Impacto del clima en el sector energético
- Vulnerabilidad climática
- Ejemplo de planificación de sistema eléctrico considerando impactos climáticos
- Resiliencia y su distinción con confiabilidad
- Métricas de resiliencia
- Medidas de mitigación y adaptación en sistemas eléctricos
- Fundamentos de simulación y planificación
- Planificando transmisión ante terremotos

### Preguntas clave y objetivos para los participantes

Es clave que los participantes sean capaces de entender los siguientes puntos:

- Entender el clima y cambio climático como vectores de impacto en el sector energético.
- Conocer principales vulnerabilidades del sector eléctrico debido al clima así cómo entender e identificar posibles medidas de adaptación y mitigación.
- Distinguir entre una planificación confiable y una resiliente.
- Conocer las métricas de resiliencia.
- Entender los fundamentos de la modelación resiliente.

### Bibliografía

- Troccoli, Alberto, ed. Management of weather and climate risk in the energy industry. Springer, 2009.
- Ebinger, Jane O. Climate impacts on energy systems: key issues for energy sector adaptation. World Bank Publications, 2011.
- Strbac, G., Kirschen, D., & Moreno, R. (2016). Reliability Standards for the Operation and Planning of Future Electricity Networks. *Foundations and Trends in Electric Energy Systems*, 1(3), 143-219.

- Panteli, M., Trakas, D. N., Mancarella, P., Hatziargyriou, N. D., Gao, H., Chen, Y., ... & Li, P. (2017). Power Grid Resilience. Proceedings of the IEEE, 105(7).
- Espinoza, S., Sacaan, R., Rudnick, H., Poulos, A., de la Llera, J. C., Panteli, M., Mancarella, P., Navarro, A. & Moreno, R. (2017). Seismic resilience assessment and adaptation of the Northern Chilean Power System. IEEE PES General Meeting, Chicago, USA.
- Moreno, R., and Strbac, G., "Integrating High Impact Low Probability Events in Smart Distribution Network Security Standards Through CVaR Optimisation", IET International Conference on Resilience of Transmission and Distribution Networks (RTDN), Birmingham, UK, Sep 2015.
- Navarro-Espinosa, A., Moreno, R., Lagos, T., Ordoñez, F., Sacaan, R., Espinoza, S., Rudnick, H., "Improving distribution network resilience against earthquakes", IET International Conference on Resilience of Transmission and Distribution Networks (RTDN), Birmingham, UK, Sep 2017.
- Lagos, T., Sacaan, R., Navarro-Espinosa, A., Ordonez, F., Rudnick, H., and Moreno, R., "Discrete Optimization via Simulation to Determine Reliable Network Investments", IEEE PES 2017 General Meeting, Chicago, USA, Jul 2017.
- Sacaan, R., Lagos, T., Navarro-Espinosa, A., Rudnick, H., Ordonez, F., and Moreno, R., "Improving Power System Reliability through Optimization via Simulation", IEEE PowerTech, Manchester, UK, Jun 2017.
- Proyecto U de Chile, PUC-Chile, U de Manchester: <https://goo.gl/FXlj0s>
- Stuart, C., Escudero, S., "Energy and Climate Change Adaptation in Developing Countries", EUEI PDF and GIZ, 2017. Available: <http://www.euei-pdf.org/en/energy-and-climate-change-adaptation-in-developing-countries-0>

## 3.11 Consideraciones sociales y territoriales

### Descripción de contenidos

Al analizar las inversiones en el sector energía, los inversionistas deben prestar atención no sólo a los costos económicos, sino también a las intervenciones de tierras y a los conflictos potenciales. Por ejemplo, para enfrentar el tema de la planificación de la transmisión eléctrica, se debe usar conceptos y mecanismos relacionados a la valoración de usos del territorio, su condicionamiento del desarrollo eléctrico y la búsqueda de configuraciones de menor condicionamiento y de mayor capacidad eléctrica.

En este contexto, se hace necesario: (i) Analizar la situación actual del desarrollo de proyectos, con el fin de identificar los elementos y atributos que hoy condicionan el desarrollo del sector desde la perspectiva ambiental, social, cultural y productiva, (ii) a partir de la metodología de objetos de valoración (OdV), proponer un conjunto de OdV y atributos, que permitan incorporar las condicionantes ambientales, sociales, culturales y productivas para el desarrollo energético; y la información necesaria para su construcción y análisis; y (iii) hacer un levantamiento de la información necesaria para el desarrollo de los factores condicionantes.

### Listado de contenidos

- Análisis costo-beneficio para informar la toma de decisiones públicas.
- Metodología de objetos de valoración
- Ponderación de las consideraciones sociales y territoriales

### Preguntas clave y objetivos para los participantes

Los temas claves que se deben buscar en los participantes es que sea capaz de:

- Utilizar herramientas económicas para informar la toma de decisiones sociales con respecto a la planificación en el sector energético.
- Identificar los elementos y atributos que hoy condicionan el desarrollo del sector energético desde la perspectiva ambiental, social, cultural y productiva.
- Entender la metodología de objetos de valoración para incorporar las condicionantes ambientales, sociales, culturales y productivas para el desarrollo energético.

### Bibliografía

- Arrow, Kenneth J., Maureen L. Cropper, George C. Eads, Robert W. Hahn, Lester B. Lave, Roger G. No11, Paul R. Portney, Milton Russell, Richard Schmalensee, V. Kerry Smith, and Robert N. Stavins (1996). Is There a Role for Benefit-Cost analysis in Environmental, Health, and Safety Regulation?, Volume 272, pp. 221-222.
- Ministerio de Energía Gobierno de Chile. (2017). Análisis de las condicionantes para el desarrollo de líneas de transmisión, desde la distribución a las dinámicas socio-ambientales transmisión eléctrica.

- Ministerio de Energía Gobierno de Chile. (2016). Análisis de las condicionantes para el desarrollo hidroeléctrico en las cuencas del Maule, Biobío, Toltén, Valdivia, Bueno, Yelcho y Puelo, desde el potencial de generación a las dinámicas socio-ambientales.
- Tietenberg, T. (1996). Environmental and natural resource economics, Harper Collins.

## 3.12 Sistemas de información y ejemplos prácticos

### Descripción de contenidos

El proceso de Planificación Energética es un proceso complejo que requiere de múltiples fuentes de información para su ejecución. Entre otras fuentes claves, resulta relevante recabar información tales como prospecciones de demanda energética, disponibilidad y caracterización de recursos energéticos (recursos renovables, combustibles, otros), proyección de precios para nueva infraestructura, precios de combustibles, características principales de instalaciones existentes, incorporación de uso de nuevas tecnologías, entre otros. Es una práctica habitual a nivel internacional contar con sistemas de información centralizados y georeferenciados a fin de facilitar la determinación de antecedentes para alimentar modelos de planificación energética y a su vez, determinar la viabilidad de las soluciones encontradas con los modelos propuestos.

En este contexto, este módulo caracteriza las diversas fuentes de información requeridas para ejecutar un proceso de planificación energética, establece algunas técnicas para utilizar fuentes de información internacional, describe fuentes de información a nivel internacional e ilustra prácticas relacionadas con el proceso de información y formas de uso en ejemplos reales de planificación energética.

### Listado de contenidos

- Descripción de características básicas de sistemas de información para planificación energética.
- Utilización de fuentes internacionales para uso de proyecciones domésticas.
- Descripción de fuentes de información a nivel internacional.
- Ejemplos regionales de sistemas de información para planificación energética.
- Ejemplo de aplicación de sistemas de información en procesos de planificación energética.

### Preguntas clave y objetivos para los participantes

Es clave que los participantes sean capaces de entender los siguientes puntos:

- Entender la necesidad de contar con un sistema de información centralizado para el proceso de planificación energética.
- Entender cómo utilizar fuentes internacionales para la aplicación a ejercicios domésticos.
- Conocer ejemplos a nivel internacional para aplicación de conceptos básicos en la construcción de herramientas locales.
- Conocer relevancia de dichas herramientas mediante ejemplificación de su uso en casos reales de aplicación.

### Bibliografía

- Ministerio de Energía, Chile, Planificación Energética de Largo Plazo, <http://pelp.minenergia.cl>

- Departamento de Geofísica, Universidad de Chile, Explorador Eólico, <http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Eolico2/>
- Departamento de Geofísica, Universidad de Chile, Explorador Solar, <http://www.minenergia.cl/exploradorsolar/>
- Agencia de Información de Estados Unidos, <https://www.eia.gov/>
- Subsecretaría de Energía, Sistema de Información Energética SENER, <http://sie.energia.gob.mx/>
- Comisión Nacional de Energía, Energía Abierta, <http://energiaabierta.cl>



## 3.13 Módulos prácticos

### Descripción de contenidos

En los módulos prácticos, se realizarán ejercicios prácticos enfocados al repaso de los principales conceptos teóricos, entendimiento de aspectos prácticos y el fortalecimiento de las capacidades de análisis de los asistentes. Se realizarán ejercicios enfocados en planificación del sector eléctrico (mediante la herramienta AMEBA<sup>1</sup>) así como en planificación integrada (mediante la herramienta LEAP<sup>2</sup>) donde los participantes del curso podrán interactuar con las herramientas y casos de estudio durante las clases.

El consultor entregará una descripción del uso de las herramientas junto con casos de estudio de nivel académico, para posteriormente proponer diversos ejercicios de trabajo donde los asistentes podrán apreciar el efecto de distintas consideraciones al momento de realizar la planificación.

Asimismo, dentro de los módulos prácticos el consultor presentará casos de estudio de mayor escala, orientado a ejemplificar su aplicación a la planificación energética en el Perú.

Para finalizar, se realizará una descripción de los desafíos de resolver problemas de optimización de gran escala cuando se aplican herramientas de optimización a casos de estudio de escala real.

### Listado de contenidos

Planificación eléctrica:

- Descripción de caso introductorio de ejemplo
- Efecto de bloques y etapas
- Sistema 2 barras: Generación y transmisión conjunta
- Impuesto a las emisiones
- Metas de energía renovable
- Tasa de descuento y costos de inversión
- Nuevas tecnologías: almacenamiento
- Incertidumbre hidrológica y costos de combustibles: optimización estocástica de 2 etapas
- Desafíos matemáticos de la planificación y soluciones

Planificación energética:

- Metodologías de prospección – Mirada Teórica
- Experiencias de prospección en distintos sectores (Transporte, Minería, Residencial, etc).

---

<sup>1</sup> <http://www.spec.cl/AmebaCloud/>

<sup>2</sup> <https://www.energycommunity.org>

- Herramientas de prospección – Mirada a LEAP. Experiencias de prospección con LEAP y conexión con otras herramientas detalladas por sector.
- LEAP Casos Prácticos enfocados en balance energético del Perú

### **Preguntas clave y objetivos para los participantes**

Es clave que los participantes sean capaces de entender los siguientes puntos:

- Entender la relevancia de las distintas simplificaciones y consideraciones en la planificación mediante ejercicios prácticos
- Conocer herramientas de planificación, su uso en casos reales de aplicación y en distintos sectores.
- Comprender los resultados de la planificación en el caso de Perú

