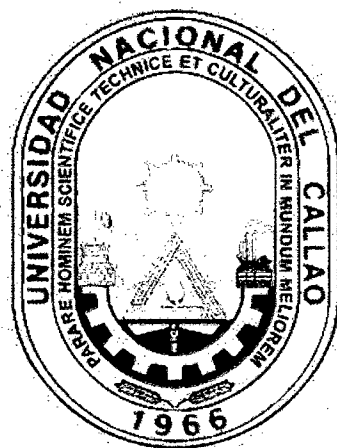


80



SEP 2014

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERIA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**



INFORME FINAL DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“DESPACHO DE GENERACIÓN CON ENERGÍAS RENOVABLES Y
SU IMPACTO EN EL MEDIO AMBIENTE - CASO PERUANO”**

AUTOR: Dr. FERNANDO JOSÉ OYANGUREN RAMIREZ

**(PERÍODO DE EJECUCIÓN: Del 01.09.13 al 31.08.14)
(Resolución de aprobación N° 899-2013-R, del 16.10.13)**

Callao - 2014

(10)

ÍNDICE

	Pag.
I. INDICE.....	1
II. RESUMEN y ABSTRACT.....	3-4
III. INTRODUCCIÓN.....	5
IV. MARCO TEÓRICO.....	15
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	48
VI. RESULTADOS	59
VII. DISCUSIÓN	72
VIII. REFERENCIALES	77
IX. APÉNDICES	79
X. ANEXOS.....	82



TABLAS DE CONTENIDO

Cuadro N°1: Horizontes de la programación.....	42
Figura N°1: Energía Hidráulica.....	35
Figura N°2: Energía Geotérmica.....	36
Figura N°3: Energía Eólica.....	38
Figura N°4: Energía Solar.....	39
Figura N°5: Energía Biomasa.....	40
Figura N°6: Consumo de Combustible Gas.....	61
Figura N°7: Consumo de Combustible Petróleo.....	61
Figura N°8: Consumo de Combustible Carbón.....	62
Figura N°9: Costo Operativo del Sistema.....	62
Figura N°10: Generación Total (GWh).....	80
Figura N°11: Costo Marginal Perú (\$/MWh).....	80
Tabla N°1: Empresas de Generación, Transmisión y Distribución.....	19
Tabla N°2: Cotas mínimas y máximas para el Lago Junín 2014.....	50
Tabla N°3: Volúmenes mínimos para el lago Junín 2014.....	51
Tabla N°4: Disponibilidad de Gas de Camisea en millones de pies cúbicos diarios (MMPCD).....	52
Tabla N°5: Programa de obras de Generación.....	54
Tabla N°6: Programa de obras de transmisión.....	55
Tabla N°7: Demanda por Bloques Horarios.....	56
Tabla N°8: Costos Variables de las unidades térmicas.....	57
Tabla N° 9: Consumo por tipo de combustible.....	60
Tabla N° 10: Costo operativo del SEIN.....	63
Tabla N° 11: Despacho de Carga de Generación Hidráulica y Térmica.....	64
Tabla N° 12: Despacho de Carga de Generación RER (GWh).....	65
Tabla N° 13: Costo Marginal en S.E. Santa Rosa 220 Kv.....	66
Tabla N°14: Resultados de la Simulación (con y sin RER).....	67
Tabla N°15: Contenido de Carbón, Fracción de Oxidación, Poder Calorífico... 69	
Tabla N°16: Toneladas de CO ₂ dejados de emitir al Medio Ambiente.....	70
Tabla N°17: Costo Marginal Promedio Anual.....	71
Tabla N°18: Generación Total (GWh).....	79
Tabla N°19: Costo Marginal Perú (\$/MWh).....	81



II.- RESUMEN

La presente investigación analiza la influencia positiva sobre el medio ambiente, el ahorro de combustible y el menor costo de operación, por el Despacho de Generación con Energías Renovables, en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN).

Para llevar a cabo la función de la programación de la operación a mínimo costo (Despacho de Generación) el COES dispone de una herramienta o modelo energético denominado *Stochastic Dual Dynamic Programming* (SDDP), que es un modelo de despacho hidrotérmico estocástico con representación de la red de transmisión para estudios de largo, mediano y corto plazo. Este modelo calcula la política de operación de mínimo costo de un sistema hidrotérmico, la cual permite determinar qué centrales deben de operar, en un período de tiempo (horario, diario y mensual) de modo de obtener el mínimo costo de operación.

El despacho de generación se realiza tomando en cuenta las centrales hidráulicas, centrales térmicas y con centrales que utilizan recursos energéticos renovables (solar, eólica, etc) atendiendo a sus costos variables (primero se despacharán las centrales con menor costo variable y luego las de mayor costo variable).

El presente trabajo de investigación trata de cuantificar el impacto positivo al medio ambiente debido al despacho de generación con energías renovables, debido a que su operación desplaza a fuentes de energía térmica cuya operación produce gases contaminantes de efecto invernadero como el CO₂, producto de la combustión del petróleo, gas y carbón.

Palabras claves: Impacto ambiental, desarrollo sostenible, despacho de carga, recurso energético renovable.



ABSTRACT

This research analyzes the positive influence on her environment, fuel economy and lower operating costs, for the entry into operation of Renewable Energy Generation as part of the National Interconnected Electric System (SEIN).

To carry out the function of the programming operation at minimum cost (Generation Dispatch) COES has a tool or energy model called Stochastic Dual Dynamic Programming (SDRP), which is a stochastic hydrothermal dispatch model with representation transmission network for studies of long, medium and short term. This model calculates the operation policy of minimum cost of a hydrothermal system, which lets you determine which plants must operate over a period of time (hourly, daily and monthly) in order to obtain the minimum operating cost.

The generation dispatch is carried out taking into account the hydraulic power plants, thermal power plants and power plants using renewable energy resources (solar, wind, etc.) based on their variable costs (first plants will originate with lower variable cost and then to more variable cost).

This research quantifies the positive impact to the environment due to the release of renewable generation, because its operation moves thermal energy sources whose operation produces polluting greenhouse gases such as CO₂, resulting from the combustion of oil, gas and coal.

Keywords: Environmental impact, sustainable development, economic load dispatch.



III. INTRODUCCION

3.1 Problema de la Investigación

La energía eléctrica es una de las bases principales para el desarrollo económico de un país. Los beneficios de la energía eléctrica se pueden medir a través de indicadores como el mejoramiento de la calidad de vida, el desarrollo de la industria, la asistencia técnica, alfabetismo, población con acceso al agua potable, expectativa de vida. Sin embargo, según estudios recientes estos indicadores aumentan con el consumo de energía por habitante, no porque gastar sea beneficioso, sino porque el uso racional de la energía sí lo es.

El crecimiento continuado del consumo de la energía eléctrica nos debe generar preocupación sobre la capacidad que tiene el medio ambiente para sostener es creciente desarrollo. La generación de energía eléctrica está asociada directamente a emisiones contaminantes atmosféricas en el caso de las unidades de generación termoeléctricas que utilizan para su operación combustibles fósiles, a riesgos relacionados con la radioactividad en el caso de centrales nucleares, y a las alteraciones de los ecosistemas en el caso de la generación de energía hidráulica.

Actualmente, los sistemas eléctricos de potencia se planifican y operan principalmente bajo criterios económicos como los mínimos costos de operación, mínimos costos de inversión, etc, y criterios de confiabilidad como el mantenimiento de un mínimo margen de reserva razonable, mínimo probabilidad de pérdida de carga, etc. Sin embargo, el importante impacto ambiental del sector energético y, la mayor sensibilización social por los problemas medio ambientales así como su globalización han generado que se tomen en cuenta el uso de tecnologías que sean

amigables con el medio ambiente como es el caso de las tecnologías que utilizan recursos energéticos renovables.

3.2 Importancia y justificación de la investigación

3.2.1 Aporte científico

La energía eléctrica ha dejado de considerarse como un servicio y ha pasado a ser un bien de uso muy importante por toda la sociedad. Si bien es cierto que es un problema en el que combina las especialidades de ingeniería eléctrica y economía, con el desarrollo de esta investigación estamos propiciando una mejor decisión de operación al mínimo costo y a su vez el mejor aprovechamiento de los recursos energéticos renovables de nuestro país.

3.2.2 Valor de la investigación

Es importante realizar un estudio de despacho de carga de unidades térmicas e hidráulicas en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional, con la finalidad de cuantificar impacto ambiental negativo causado por la operación de centrales térmicas, y ver cómo influye la operación de centrales generadoras con recursos energéticos renovables, en la disminución de la emisión de gases de efecto invernadero, para evitar los efectos ambientales perjudiciales para el medio ambiente y para el bienestar de la sociedad.

3.2.3 Justificación de la investigación

Las actividades en el sector eléctrico, en especial la generación de electricidad de origen térmico, no están exentas de la obligatoriedad en minimizar los impactos ambientales negativos que pueden ocasionar por



su operación para satisfacer la demanda de energía eléctrica de un país. Por esta razón es de mucha importancia, todo esfuerzo institucional para la conservación de los recursos naturales y del medio ambiente, lo que permitirá prevenir los probables efectos ambientales que pueden ocasionarse por la ejecución y operación de proyectos vinculados con las actividades de generación de electricidad.

3.3 Antecedentes

3.3.1 Marco Histórico

El problema de despacho económico empieza cuando se tiene dos o más plantas generadoras, con sus límites respectivos de generación, y se tiene que abastecer cierta cantidad de demanda, que es mayor que la capacidad de cualquiera de las unidades, por lo tanto se cuestiona la forma de dividir la demanda entre todas las unidades para buscar un costo mínimo de operación; para el caso uninodal no se considera la red de transmisión eléctrica, lo cual hace el análisis un tanto más sencillo.

El problema del despacho se complica más cuando en el sistema interconectado tenemos centrales hidroeléctricas y térmicas, despacho hidrotérmico, debido a que las decisiones que se tomen “hoy” influyen en el “futuro”. Por ejemplo, si decidimos utilizar todo el recurso hidráulico en avenida sin guardar una reserva para el estiaje, entonces en este periodo la generación de las unidades hidráulicas será deficiente y entonces necesariamente arrancaríamos térmicas para compensar el déficit de las hidráulicas pero el costo sería mayor y no sería el óptimo deseado.



3.3.2 Objetivos de la investigación

Los beneficiarios directos corresponden a los ingenieros electricistas de planta, y operadores de Centros de Control de las empresas de generación de electricidad quienes realizan tareas relacionadas con la programación de la operación diaria, semanal y mensual, a nivel de generación.

3.3.3 Objetivo General

Determinar el nivel de contribución de la operación de las centrales que utilizan recursos energéticos renovables, en la disminución del impacto ambiental negativo ocasionado por la generación térmica en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional.

3.3.4 Objetivos Específicos

Adicionalmente, se consideran los siguientes temas como objetivos específicos del trabajo:

- a) Identificar el nivel de contribución de la operación de las centrales que utilizan recursos energéticos renovables, en la disminución de la emisión del dióxido de carbono al medio ambiente, ocasionado por la generación térmica en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional.
- b) Identificar el nivel de contribución de la operación de las centrales que utilizan recursos energéticos renovables, en la disminución del combustible fósil, ocasionado por la generación térmica en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional.



- c) Identificar el nivel de contribución de la operación de las centrales que utilizan recursos energéticos renovables, en la disminución del costo operativo en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional

3.4 Alcances de la Investigación

Para este trabajo de investigación se ha tomado como nivel o ámbito de estudio al sistema eléctrico de potencia peruano, tomando como datos las restricciones técnicas de los equipos de generación y transmisión que lo conforman.

Para el Despacho de Generación con Energías Renovables se ha utilizado el Programa SDDP (*Stochastic Dual Dynamic Programming*) quien calcula la política de operación al mínimo costo de un sistema hidrotérmico tomando en cuenta los siguientes aspectos:

- a) Detalles operativos de las centrales hidroeléctricas (balance hídrico, límites de almacenamiento y límites en los caudales turbinados, vertidos, filtrados, etc.)
- b) Modelo detallado de las centrales térmicas (*Unit Commitment*, contratos *Take or Pay*, contratos de combustible, curvas de eficiencia, restricciones de combustible, térmicas multi-combustible, etc.)
- c) La incertidumbre hidrológica: se puede representar utilizando modelos estocásticos de caudales que representan las características del sistema hidrológico.
- d) Red de transmisión detallada: utiliza cálculos de flujo de potencia en corriente continua, considera límites en los flujos de potencia, el cálculo de pérdidas así como restricciones de seguridad.



- e) Demanda de energía por bloque y por barras en etapas mensuales y semanales (para estudios de largo y mediano plazo) o etapas horarias (para estudios de corto plazo).
- f) Representación de redes de gas detallada: Nodos, gasoductos, demanda no termoeléctrica, ampliaciones.

Además de calcular el esquema de operación a mínimo costo, el modelo arroja como resultados los costos marginales, costos de congestión de la transmisión, despachos, entre otros. Se debe remarcar que los costos marginales del sistema son los indicadores de déficit o excedencia de energía y/o restricciones de transmisión en cada zona del país. Asimismo, los despachos de generación resultantes se utilizan en el análisis eléctrico.

3.5 Planteamiento del Problema

La generación a través de centrales termoeléctricas convencionales producen contaminación en tres diferentes formas: a) emisión de gases (dióxido de carbono CO_2 , dióxido de azufre (SO_2) y óxidos de nitrógeno (NO_x) entre otros) y las partículas contaminantes que tienen un efecto ambiental global (efecto invernadero) y efectos locales como lluvia ácida, reducción de la visibilidad, corrosión de las instalaciones y bienes, y efectos en la salud de los seres humanos y animales; b) vertimiento de aguas, que son utilizadas en el proceso de enfriamiento, por lo que se encuentran a altas temperaturas y con contaminantes; c) emisión de desechos sólidos, que pueden ser residuos de la combustión y del combustible utilizado.

Desde el punto de vista social, estos efectos deben considerarse como costos pues dañan la vida de una forma u otra. El daño causado por un

contaminante depende del tipo del mismo, condiciones meteorológicas y de la exposición de las personas a éste.

El presente trabajo de investigación trata de evaluar cuantitativamente el impacto positivo sobre el medio ambiente, que tiene el despacho de generación con energías renovables (centrales RER), al disminuir la producción de CO₂ y la disminución del uso del combustible fósil (petróleo) producto de la generación de las centrales térmicas en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional Peruano

3.5.1 Problema Principal

¿El Despacho de Generación con Energías Renovables contribuirá a disminuir el impacto ambiental negativo ocasionado por la generación termoeléctrica en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional Peruano?

3.5.2 Problemas Secundarios

- a) ¿En qué medida el Despacho de Generación con Energías Renovables contribuirá a disminuir la emisión del dióxido de carbono al medio ambiente, ocasionado por la generación térmica en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional Peruano?
- b) ¿En qué medida el Despacho de Generación con Energías Renovables contribuirá a disminuir el consumo de combustible fósil (petróleo, gas, carbón), ocasionado por la generación térmica en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional Peruano?



- c) ¿En qué medida el Despacho de Generación con Energías Renovables contribuirá a disminuir el costo operativo en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional Peruano?

3.6 Formulación de la Hipótesis

3.6.1 Hipótesis General

El Despacho de Generación con Energías Renovables, contribuirá a la disminución del impacto ambiental negativo ocasionado por la generación térmica en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional Peruano.

3.6.2 Hipótesis Secundarias

- a) El Despacho de Generación con Energías Renovables contribuirá a disminuir la emisión del dióxido de carbono al medio ambiente, ocasionado por la generación térmica en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional Peruano.
- b) El Despacho de Generación con Energías Renovables contribuirá a disminuir el consumo de combustible fósil (petróleo, gas, carbón), ocasionado por la generación térmica en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional Peruano.
- c) El Despacho de Generación con Energías Renovables contribuirá a disminuir el costo operativo en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional Peruano.



3.7 Operacionalización de las Variables

3.7.1 Variable Independiente (VI)

Despacho de Generación con Energía Renovables en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional.

3.7.2 Variable Dependiente (VD)

Disminución del Impacto Ambiental Negativo ocasionado por la Generación Térmica en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional Peruano.

3.7.3 Definición conceptual de variables

Operación de Centrales de Generación: La operación de las centrales de generación, es un proceso continuo que está orientado a satisfacer la demanda de energía eléctrica en cada instante de tiempo mediante la generación de las centrales hidráulicas o térmicas. Este proceso es llevado a cabo por el COES, a través de la Coordinación de la Operación en Tiempo Real, que son actividades de coordinación, supervisión y control de la operación del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional, siguiendo procedimientos operativos establecidos para tal fin.

Sistema Eléctrico Interconectado Nacional: Es el conjunto de líneas de transmisión y subestaciones eléctricas conectadas entre sí, así como los respectivos centros de despacho de carga, que permite la transferencia de energía eléctrica entre dos o más sistemas de generación, pertenecientes a los integrantes del COES.



Impacto Ambiental Negativo: Es el efecto negativo sobre el medio ambiente causado por una actividad humana. En el presente caso se debe a la generación de gases de efecto invernadero, producto de la operación de plantas generadoras que utilizan como combustible el petróleo, para satisfacer la demanda de energía eléctrica.



IV. MARCO TEÓRICO

4.1 Situación actual de Sector Eléctrico

La energía eléctrica es uno de los principales pilares para el desarrollo económico sostenible de un país. Los beneficios de la energía eléctrica se pueden medir a través de indicadores como del mejoramiento de la calidad de vida, desarrollo de la industria, asistencia técnica, alfabetismo, población con acceso al agua potable, expectativa de vida. Sin embargo, según estudios estos indicadores aumentan con el consumo de energía por habitante, no porque gastar sea beneficioso, si no porque el uso racional de la misma sí lo es.

La generación de electricidad se hace a través de una de las siguientes fuentes de energía: carbón, petróleo, gas, nuclear, hidráulica, solar, geotérmica o eólica, y cada una de ellas presentan riesgos diversos sobre los seres humanos y sobre el medio ambiente.

La relación entre energía y medio ambiente es innegable. Para reducir la degradación medioambiental debemos reconocer que el cuidado del medio ambiente está relacionado directamente con la supervivencia de la humanidad. Por ello se deben examinar cuidadosamente las opciones energéticas para encontrar alternativas viables que en su conjunto permitan minimizar el impacto sobre el medio ambiente.

En el Perú, en los últimos cinco años la demanda de electricidad en el país ha tenido un crecimiento promedio anual de 8%, debido entre otros aspectos al intenso desarrollo de la actividad minera y manufacturera. Además las condiciones macroeconómicas en el Perú han evolucionado positivamente, y han demostrado fortaleza ante las recientes crisis económicas internacionales.



Como resultado, en el último quinquenio las inversiones en el sector eléctrico han crecido a una tasa promedio anual de 27%, pero aún así persiste la necesidad de asegurar la ejecución de nuevos proyectos para poder asegurar el abastecimiento de electricidad en el mediano y largo plazo. Se han establecido normas y promovido acciones de cooperación internacional que permitan asegurar la oferta de generación, reforzar el sistema eléctrico, ampliar la cobertura eléctrica, promover la competencia en el mercado eléctrico y promover el uso sostenible y diverso de los recursos energéticos.

El sector eléctrico peruano ha desarrollado aspectos como:

- Mecanismos de incentivo para la inversión eléctrica.
- Promoción de las energías renovables para la generación eléctrica.
- Uso eficiente del gas natural para generación eléctrica.
- Seguridad y cobertura de la transmisión eléctrica.
- Cultura de eficiencia energética y seguridad eléctrica en los usuarios.
- Seguridad e integración energética.
- Promoción del desarrollo eléctrico preservando el medio ambiente.

4.2 Normativa General

Las actividades del subsector electricidad están normadas por la Ley de Concesiones Eléctricas (Ley N° 25844) y su Reglamento, vigentes desde el año 1992. Dichas normas se complementan con la Ley para Asegurar el Desarrollo Eficiente de la Generación Eléctrica (Ley N° 28832) vigente desde el año 2006 con fines de perfección y adecuación a un



evolucionado mercado eléctrico. Posteriormente, se perfeccionan los mecanismos de inversión con las siguientes normas:

- Ley N° 1041 (junio de 2008), que también perfecciona la normatividad eléctrica y promueve el uso eficiente del gas natural.
- Ley N° 1002 (mayo de 2008), que concede ventajas competitivas a los proyectos de generación con energías renovables.

Finalmente, existen normas que otorgan beneficios tributarios adicionales a los proyectos de generación eléctrica:

- Ley N° 1058 (junio de 2008), que establece el beneficio de la depreciación acelerada, hasta de 20% anual, para la inversión en proyectos hidroeléctricos y otros recursos renovables.
- Ley N° 28876 (Junio de 2006), que establece la recuperación anticipada del impuesto general a las ventas de electricidad en empresas que utilizan recursos hidráulicos y energías renovables.

Con respecto a los estándares técnicos, es importante indicar que las empresas que desarrollan actividades eléctricas deben cumplir con los estándares técnicos nacionales como son:

- El Código Nacional de Electricidad Suministro y Utilización. Los que establecen los criterios técnicos de seguridad para los operadores de instalaciones eléctricas y usuarios finales.
- Norma Técnica de Calidad de Servicio Eléctrico, que establece los niveles mínimos de calidad de los servicios eléctricos.



- Reglamento de Seguridad e Higiene Ocupacional del Subsector Electricidad, que establece las condiciones de seguridad e higiene ocupacional para toda actividad eléctrica.

4.3 Estructura del Sector Eléctrico

El Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) cubre casi la totalidad del territorio nacional, sin embargo por razones técnicas y económicas, algunas zonas rurales o muy aisladas son cubiertas por pequeños sistemas aislados (SSAA).

En dichos sistemas opera el mercado eléctrico nacional, y participan principalmente 27 empresas eléctricas de generación, 7 de transmisión y 24 de distribución. Además, existen empresas industriales denominados auto-productores que operan centrales de generación eléctrica para autoabastecerse de electricidad en forma total o parcial.

El sistema de generación está conformado por 45 centrales eléctricas mayores a 20 MW que suman una capacidad total de 6,294 MW. Este grupo se compone de 21 centrales hidroeléctricas con un total de 2,927 MW y 20 son centrales termoeléctricas con un total de 3,367 MW. Entre las centrales termoeléctricas, 9 operan con gas natural y alcanzan un total de 2,443 MW. Los generadores, para suministrar electricidad, deben de cumplir con los procedimientos establecidos por el Comité de Operación Económica del Sistema (COES).

El sistema de transmisión está compuesto por líneas de transmisión en 220 kV, 138kV y 60 kV de tensión nominal, en una configuración principalmente radial. Cabe mencionar que por lo general las líneas de transmisión que cubren la mayor extensión del territorio nacional son operadas por las empresas de transmisión. Sin embargo, algunas



empresas generadoras y distribuidoras también poseen redes de transmisión local para efectuar la entrega y retiro de las transacciones de energía respectivamente.

El sistema de distribución eléctrica es una actividad que se desarrolla dentro de las zonas de concesión otorgadas a las empresas distribuidoras. La red eléctrica opera a la frecuencia nominal de 60 Hz y la tensión nominal opera en 220, 380 y 440 voltios, la primera normalmente a nivel residencial, y las otras en caso de pequeños comercios o industrias. Las instalaciones y servicios de la red deben cumplir con las normas técnicas establecidas por el Código Nacional de Electricidad y las Normas Técnicas de Calidad, establecidas por el OSINERGMIN.

Las empresas eléctricas más representativas del mercado eléctrico peruano tanto privadas como estatales y se muestran en la tabla N° 1:

Tabla N°1: Empresas de Generación, Transmisión y Distribución

TIPO	GENERACIÓN	MW	TRANSMISIÓN	KM	DISTRIBUCIÓN	CLIENTES
PRIVADO	EDEGEL	1,536.60	REPSA	6,035.06	EDELNOR	1,203,056
	ENERSUR	1,107.00	TRANSMANTARO	1,503.10	LUZ DEL SUR	925,467
	DUKE ENERGY	518.00	REDESUR	534.43	ELECTRODUNAS	196,729
	KALLPA	383.00	ISA PERU	391.68	EDECAÑETE	33,352
	TERMOSELVA	203.00	ETESELVA	393.06	ELECTROCACHE	15,035
	CHINANGO	196.00	CONENHUA	357.38	EMSEMSA	8,209
	ELECTROANDES	184.00	ETENORTE	349.76	EMSEU	8,136
	EEPSA	159.00	ABENGOA	921	INADE CHAVIMOCHIC	6,666
	CAHUA	92.00	TRANSMISORA ANDINA	182.09	SERSA	5,911
	SHOUGANG	67.00	TRANSMISORA CALLALI	146.65	COELVISAC	2,839
	ATOCONGO	42.00			ELECTROPANGO	1,675
	SDF ENERGIA	40.00				
	SINERSA	39.00				
	AIPSA	23.00				
	CORONA	21.00				
	GEPSA	10.00				
SANTA CRUZ	7.00					
ESTATAL	ELECTROPERU	1,101.00			HIDRANDINA	662,956
	EGASA	340.00			ELECTROCENTRO	602,793
	SAN GABÁN	129.00			ENOSA	397,631
	EGEMSA	106.00			ELECTROSURESTE	383,790
	EGESUR	60.00			SEAL	343,230
					ELECTRONORTE	373,624
					ELECTRO PUNO	221,597
					ELECTRO ORIENTE	230,771
					ELECTROSURESTE	136,757
				ELECTRO UCAYALI	68,155	

Fuente: Estadística Eléctrica Diciembre 2012. OSINERGMIN.

Los clientes son consumidores directos que demandan electricidad para realizar sus actividades industriales y económicas o para su uso a nivel residencial. En caso de ser grandes consumidores, tienen la opción de ser clientes libres (precio a libre negociación). Cabe mencionar que la Sociedad Nacional de Industrial (SIN) es un institución sin fines de lucro que asocia a las empresas industriales más representativas del país.

4.4 Comité de Operación Económica del Sistema

El COES es una entidad privada, sin fines de lucro y con personería de Derecho Público. Está conformado por todos los Agentes del SEIN (Generadores, Transmisores, Distribuidores y Usuarios Libres) y sus decisiones son de cumplimiento obligatorio por los agentes. Su finalidad es coordinar la operación de corto, mediano y largo plazo del SEIN al mínimo costo, preservando la seguridad del sistema, el mejor aprovechamiento de los recursos energéticos, así como planificar el desarrollo de la transmisión del SEIN y administrar el mercado de corto plazo

El COES reúne los esfuerzos de las principales empresas de generación, transmisión y distribución de electricidad, así como de los grandes usuarios libres, contribuyendo a través de su labor al desarrollo y bienestar del país.

Mediante el desarrollo de sus funciones, el COES vela por la seguridad del abastecimiento de energía eléctrica, permitiendo que la población goce del suministro de electricidad en condiciones de calidad y posibilitando las condiciones adecuadas para el desarrollo de la industria y otras actividades económicas. Asimismo, es responsable de administrar el mejor aprovechamiento de los recursos destinados a la generación de energía eléctrica.



La Ley N° 22832 establece las siguientes funciones para el COES:

a) Funciones de interés público:

- Elaborar la propuesta de plan de transmisión.
- Elaborar los procedimientos técnicos.
- Asegurar el acceso oportuno y adecuado de los interesados a la información sobre la operación del SEIN, la planificación del sistema de transmisión y la administración del mercado de corto plazo.
- Asegurar condiciones de competencia en el mercado de corto plazo.
- Procurar las mejoras tecnológicas que aseguren el eficiente cumplimiento de sus funciones.

b) Funciones administrativas:

- Desarrollar los programas de operación de corto, mediano y largo plazo.
- Programar y coordinar el mantenimiento mayor de las instalaciones de generación y transmisión.
- Coordinar la operación en tiempo real del SEIN.
- Coordinar la operación de los enlaces internacionales y administrar las TIE.
- Calcular los costos marginales de corto plazo.
- Calcular la potencia y energía firme de cada unidad generadora.



- Determinar y valorizar las transferencias de potencia y energía entre los agentes.
- Administrar el mercado de corto plazo.
- Asignar responsabilidades en caso de trasgresiones a la NTCSE, así como calcular las compensaciones que correspondan.
- Planificar y administrar la provisión de los servicios complementarios.
- Resolver divergencias o controversias derivadas de la normatividad vigente, dentro del ámbito de su competencia.

4.5 Estadística de la Energía Eléctrica

La máxima demanda del SEIN del año 2013 fue de 5 575,24 MW y presentó un incremento de 284,5 MW con relación al año 2012 (5 290,89 MW), representando un crecimiento de 5,4% en comparación a la máxima demanda de potencia registrada el año 2012. La mayor participación en la cobertura de la máxima demanda del año 2013 fue de la generación con recurso hídrico 50,49%, gas natural 45,53% y carbón 2,37% las mismas que registraron un incremento del -1,0%, 11,50% y 36,9% respectivamente en comparación al año 2012. Por otro lado la participación del bagazo y biogás fue del 0,52% y 0,08% respectivamente.

La producción de energía eléctrica del SEIN en el año 2013 totalizó 39 669,43 GWh, que representa el 6,29% mayor al registrado en el año 2012 que fue de 37 321,18 GWh. La producción hidroeléctrica, termoeléctrica y los recursos energéticos renovables en el año 2013 representó 51,89%, 45,67% y el 2,07% respectivamente respecto al total generado en el SEIN. El incremento de la demanda de energía eléctrica en el año 2013



fue cubierta mayoritariamente con la producción de centrales de generación termoeléctrica.

La potencia efectiva de las unidades generadoras al mes de diciembre 2013 suma 7 129,06 MW. El 38,63% corresponde a centrales hidroeléctricas, seguidas por las centrales termoeléctricas con una participación de capacidad efectiva del 61,37%.

El costo marginal promedio anual en el año 2013 fue de 26,52 US\$/MWh, el mayor costo se registró en el mes de julio alcanzando los 44,86 US\$/MWh. Las variaciones de los costos marginales están directamente relacionadas con el comportamiento hidrológico de las cuencas aprovechadas por el sistema de generación, estrategia operativa de descarga de embalses y lagunas y la disponibilidad de las unidades generadoras termoeléctricas más eficientes.

4.6 Derecho Internacional Ambiental

El derecho ambiental es tan antiguo como la humanidad, porque en el transcurso de su historia, siempre se ha establecido una norma convencional ambiental. Desde las primeras comunidades primitivas ya se tenía una idea muy clara sobre las relaciones de mutua dependencia que existe entre el hombre y la naturaleza.

La partida de nacimiento del derecho ambiental se da con la Declaración de Estocolmo, en el año 1972, cuando en su vigésimo tercer período de sesiones la Asamblea General de las Naciones Unidas, convoca a una conferencia de Naciones Unidas sobre el entorno humano (primera reunión mundial sobre el medio ambiente), la misma que se llevó a cabo en Suecia del 5 al 16 de junio de 1972, denominándose Conferencia de



Estocolmo “Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano”, con la participación de los representantes de 113 países.

La Declaración de Estocolmo marca el hito en el desarrollo de la problemática ambiental en el mundo. La Declaración de Estocolmo de 1972, a través de su articulado consagra seis (6) principios del derecho internacional: el Principio de Igualdad, el Principio de Derecho al Desarrollo Sustentable, el Principio de Soberanía Nacional sobre los Recursos Naturales Propios, el Principio de No Interferencia, el Principio de Responsabilidades Compartidas y el Principio de Cooperación Internacional.

Es importante resaltar que la Conferencia de Estocolmo estableció la creación del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), como el organismo especializado de la ONU para que se encargue de los problemas ambientales. El Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente tiene tres (3) programas especializados:

- Sistema de Control Global del Medio Ambiente, cuyo objetivo es brindar información a los países sobre el clima, la atmósfera, los océanos, los recursos naturales renovables, la contaminación transfronteriza y otros. Sus acciones se llevan a cabo en casi 142 Estados.
- El Registro Internacional de Sustancias Tóxicas, se ocupa de sugerir las medidas de seguridad adecuadas para las nocivas, de las 80,000 sustancias químicas en uso a nivel mundial.
- Infoterra (World-Wide Data Network), cuya función es brindar información ambiental a los gobiernos, empresas e investigadores.



En 1980, el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) elaboró, conjuntamente con la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y el Foro Mundial para la Naturaleza (WWF), la “Estrategia Mundial de Conservación de la Naturaleza”. Asimismo, en el año 1980 la Asamblea General de las Naciones Unidas decidió conmemorar el décimo aniversario de la Declaración de Estocolmo de 1972. Esta reunión conmemorativa se llevó a cabo en Nairobi (Kenya) en 1982, donde se dio la Declaración de Nairobi, que ratifica la plena vigencia de los principios de la Declaración de Estocolmo y donde se volvió a llamar la atención sobre el progresivo deterioro del medio ambiente y la situación del tercer mundo.

La Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas, crea la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y Desarrollo en el año 1983, cuya dirección se encargó a la noruega Gro Harlem Brundtland. Esta comisión publica en el año 1987 el informe Nuestro Futuro Común (conocido también como informe Brundtland). En este informe se pone en evidencia los problemas ambientales a los que el desarrollo económico ha conducido, tales como el efecto invernadero y la desaparición de especies, así como otros de carácter social como son los problemas en el tercer mundo. En él se advertía que la humanidad debía cambiar las modalidades de vida y la interacción comercial, si no deseaba la llegada de una era con niveles de sufrimiento humano y degradación ecológica insostenibles.

En junio de 1992 se llevó a cabo en la ciudad de Río de Janeiro (Brasil), la más grande conferencia mundial sobre el Medio ambiente, es decir, la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, llamada también “La Cumbre de la Tierra”, que tuvo como punto de partida el informe Brundtland, y se ocupó normar todo lo referido al ambiente para los años posteriores.



Los principales temas fueron: Las Convenciones Jurídicas Globales, entre los que destacarían el “Tratado Marco sobre Cambios Climáticos”, la “Convención sobre Diversidad Biológica”, “La Carta de la Tierra”, la “Agenda 21”, entre otras; y los acuerdos económicos y técnicas para financiar el desarrollo sostenible, la transferencia de tecnología y posible creación de nuevas instituciones ambientales. En esta conferencia, conocida también como ECO-92, se crearon 5 documentos: dos acuerdos internacionales, dos declaraciones de principios y un programa de acción sobre desarrollo mundial sostenible.

La Cumbre para la Tierra generó las dos declaraciones y el programa de acción:

- Declaración de Río sobre Medio Ambiente y el Desarrollo Sostenible.
- Programa 21.
- Declaración de Principios Relativos a los Bosques.

De manera paralela a la Cumbre se negociaron dos convenios que fueron suscritos por la mayoría de los 179 gobiernos reunidos en Río:

- Convenio marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
- Convenio sobre la Diversidad Biológica.

La Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo recogen 27 principios que pretender establecer las bases para un desarrollo sostenible. El Programa o Agenda 21, desarrollaba un plan de acción para la década de los 90 y hasta ya entrado en siglo XXI, como base para el desarrollo sostenible y una protección ambiental cada vez más interdependiente. Este programa, está dirigido a los gobiernos, a las agencias, a las organizaciones y programas del sistema de las Naciones



Unidas, a las ONG's, a los grupos electores y al público en general. Se proponen 7 acciones prioritarias o temas, los cuales forman parte de una estrategia general, y los medios esenciales que deben tener las naciones para poder aplicar el Programa 21.

El Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, fue firmado el 9 de mayo de 1992 por todos los países asistentes a la Cumbre de la Tierra. Este acuerdo estaba estructurado en 26 artículos y su objetivo era: "la estabilización de la concentración de gases de efecto de invernadero en la atmósfera en un nivel que impidiese interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático". En este sentido se pretendían controlar, especialmente, las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), clorofluorocarbonos (CFC's) y metano (CH₄).

En diciembre de 1997 se celebró la III Conferencia de la ONU sobre cambio climático en Kioto; en ella, se fijaron los contenidos del Protocolo de Kioto en el que los países industrializados se comprometían en reducir sus emisiones de gases tóxicos en un 5.2% entre los años 2008 y 2012, respecto a los niveles de 1990. Para que dicho Protocolo fuera jurídicamente vinculante debía estar ratificado por 55 países, entre ellos EE.UU. y otras potencias. No obstante, no se consiguió que países como EE.UU. o China lo hicieran.

Los mecanismos flexibles de mercado presentes en el Protocolo de Kioto para hacer posible la reducción de las emisiones de los países industrializados son:

- Comercio internacional de las emisiones, que permite a los países industrializados vender sus certificados de reducción excedentes una vez que han alcanzado la meta señalada por el Protocolo.



- La implementación conjunta, por la cual los países industrializados pueden comercializar entre ellos las reducciones obtenidas por medio de proyectos específicos,
- El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).

4.7 Antecedentes de la Investigación

La energía y particularmente la electricidad son esenciales para la actividad económica y para el desarrollo social de los países. Sin embargo su crecimiento continuado está generando preocupaciones sobre la capacidad del medio ambiente para soportar este desarrollo. La generación de energía eléctrica está asociada a las emisiones de contaminantes atmosféricos en el caso de las centrales de generación que utilizan combustibles fósiles, a riesgos relacionados con la radioactividad en el caso de las centrales nucleares, y a las alteraciones de los ecosistemas en el caso de las centrales hidráulicas.

El problema de la contaminación ambiental debido a la generación de energía eléctrica ha sido estudiado en diversas investigaciones. Existen bastantes publicaciones extranjeras especialmente en Europa y Estados Unidos, que han sido orientadas a la solución del problema del despacho económico de carga con restricciones ambientales debió a las estrictas leyes ambientales vigentes.

Como sabemos en el Perú hasta el año 1990, no existía un marco jurídico especial referido a la protección y conservación del medio ambiente y de los recursos naturales. Debido a los vacíos legales sobre la protección ambiental y la conservación de los recursos naturales, se desarrollaron diferentes actividades económicas, con falta de visión y conciencia



ambiental por parte de los responsables de la ejecución de los proyectos de inversión especialmente extractivas.

Se dan cambios importantes a partir del año 1990, y se dan instrumentos legales como el Código del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales (Decreto Legislativo N° 613); la Ley Marco para el Crecimiento de la Inversión Privada (Decreto Legislativo N° 757) y sus modificatorias; la Constitución Política del Estado del año 1993 (Art. 66° al 69°).

En el año 2005 se aprueba la Ley General del Ambiente, Ley N° 28611 y que deja sin efecto el D.L. N° 613; Ley N° 27446 - Ley de Evaluación de Impacto Ambiental para Obras y Actividades; Ley N° 26821- Ley Orgánica de Aprovechamiento de Recursos Naturales; D.S. N° 074-2001-PCM – Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad del Aire; D.S. N° 085-2003-PCM - Reglamento de Estándares nacionales de Calidad del Ruido; D.S. N° 010-2005-PCM - Estándares de Calidad Ambiental para Radiaciones no Ionizantes; D.S. N° 25844 - Ley de Concesiones Eléctricas; Reglamento de la Ley de Concesiones eléctricas N° 009-93; D.S. N° 029-94-EM - Reglamento de Protección Ambiental en las Actividades Eléctricas; Código Nacional de Electricidad - Suministro - Resolución Ministerial N° 366-2001 EM/VME; Tipificación de Infracción y Escala de Multas y Sanciones de OSINERG - Resolución N° 028-2003-OS/OD; Decreto Legislativo de Promoción de la Inversión para la Generación de Electricidad con el Uso de Energías Renovables Decreto Legislativo N° 1002;

Estas normas legales permiten tener un nuevo marco jurídico, que compromete a los inversionistas a elaborar un estudio de impacto ambiental (EIA), herramienta de primera importancia, cuyo objetivo principal es evaluar la viabilidad ambiental de los proyectos de inversión



de modo de armonizar el desarrollo de dichas actividades económicas con su entorno ambiental.

Debido a que la economía peruana viene experimentando un crecimiento sostenido, lo cual a su vez genera mayor demanda de electricidad, cuyas tasas han sido de 8.3% en el año 2006 y 10.8 en el año 2007. Se estima que para el 2015 la tasa promedio anual de crecimiento será de 7.3% por lo que los requerimientos de la nueva oferta de generación para dicho año se estiman en 3,600 MW, para ello la opción más limpia y beneficiosa es que el desarrollo de dicha oferta sea con energías renovables, en lugar de la generación de electricidad con los derivados del petróleo y el gas natural, por ser estas fuentes no renovables y contaminantes.

El fomento de las energías renovables implica la diversificación de la matriz energética, constituyendo un avance hacia una política de seguridad energética y de protección del medio ambiente, por lo que la generación de electricidad a partir de RER tiene prioridad para el despacho diario de carga efectuado por el Comité de Operación Económica del Sistema (COES) para lo cual considerará un costo variable de producción igual a cero.

Dentro de la bibliografía que podemos encontrar sobre despacho económico considerando restricciones ambientales tenemos los siguientes:

SOHRAB ASGARPOOR, Scott Benson [1]. Tratan sobre aspectos de las Enmiendas al Acta del Aire Limpio de 1990 (CAAA), refiriéndose a que las regulaciones ambientales vigentes exigen que las estrategias de despacho económico incluyan en su formulación las restricciones de emisión en el proceso de optimización. Las regulaciones ambientales tendientes a reducir las emisiones en los E.E.U.U, son separadas en dos



fases: la fase I, que se inició en 1985 y fase II, iniciada en el año 2000, donde la tasa de emisión exigida para los SO_2 varía de 2.5 a 1.2 lb/Mbtu, con un límite de generación anual. Se menciona la creación del mercado de emisiones para los SO_2 por el cual una unidad generadora puede vender o comprar permisos dependiendo de su cumplimiento con las limitaciones impuestas. También se propone una función objetivo que considere la suma ponderada del costo de generación total y emisión, en que las restricciones del sistema son idénticas al modelo usual de costo de producción.

El método de Monte Carlo es usado para la generación aleatoria del estado del sistema y demanda del mismo. El problema de optimización se construye de la información anterior, considerando las curvas de rendimiento (Heat Rate) de cada unidad, siendo resuelto por técnicas de programación lineal. Las restricciones utilizadas corresponden a balance de carga y consumo efectivo de combustible para las unidades afectadas en Mbtu. Concluyen de los resultados obtenidos, que los costos generados por la implementación de las distintas fases de regulación, son altamente dependientes del tipo de unidades consideradas y el nivel de emisiones proyectados de SO_2 .

SPENS, William Y., Fred. N. Lee [2]. Proponen un método para el despacho de carga con restricciones ambientales, para un horizonte de tiempo multi-horario minimizando el costo de consumo de combustible y emisiones, con una búsqueda en dos dimensiones, por ejemplo SO_2 y NO_x , asignando precios a las emisiones de ambos contaminantes, los cuales son determinados a través de un proceso iterativo.

La formulación del problema abarca: límites técnicos de generación para cada unidad, además de sus rampas de subida MW/h, reserva disponible para el sistema, límite de emisiones para el SO_2 en toneladas sobre el



horizonte de estudio, límite en tasa de emisiones sobre el horizonte de estudio (lb/Mbtu) para el NOx. La modelación de las funciones de consumo de combustible (Mbtu/h) es de tipo cuadrático, al igual que las funciones de emisión para el dióxido de sulfuro.

La función de emisión para los NOx, es una función del consumo de combustible que resulta de tipo cúbica para la potencia al modelar la tasa de emisión como una función lineal de la misma. Los autores analizan un sistema ejemplo, donde se muestra la determinación de precios. Al finalizar el método es aplicado a un sistema de 21 unidades. Quizás uno de los mayores detalles en el método, es la modelación de la tasa de emisiones para los NOx, como una función lineal de la potencia, si bien es cierto este es un buen modelo para ciertas unidades, la gran mayoría presentan características altamente no lineales (forma de "U").

D. SRINIVASAN, A. Tettamanzi [3]. Analizan el impacto económico del despacho de emisiones, y del cambio de combustible. Explorando los potenciales cambios de operación en el despacho de las unidades generadoras para obtener costos bajos de operación, mientras cumplen con estándares ambientales. Presentan un algoritmo del tipo evolutivo heurísticamente guiado para resolver el problema con restricciones multi-objetivo, asegurando la factibilidad de la solución y reduciendo el tiempo de cálculo. Sin embargo, se debe aclarar que no se garantiza que la solución sea la óptima.

Los autores realizan comparaciones entre los costos y emisiones producidas por diferentes funciones objetivo: Mínima emisión de NOx, Mínima emisión de SO₂, Mínimas emisiones totales de NOx, SO₂, CO₂ y partículas, Mínimo costo total (despacho económico) y combinaciones de estas estrategias con cambio en el tipo de combustible. La función de costos de combustible es modelada en forma cuadrática respecto a la



potencia de salida, al igual que las funciones de emisión para todos los tipos de contaminantes.

Finalmente, concluyen que el modelo propuesto puede ser utilizado para evaluar múltiples estrategias de operación y proyecciones anuales, además de poder ser aplicado en tiempo real.

LAMONT, JW, E. Obessis [4]. Presentan un resumen de algoritmos para el despacho económico de carga considerando restricciones ambientales. La estrategia del despacho es la clásica, excepto que la función objetivo y las restricciones cambian dependiendo de la variable que queremos minimizar (costos de emisiones de SO₂, emisiones de NO_x).

Una contribución de esta publicación son los modelos de emisiones que incluyen las emisiones en el arranque de la unidad generadora, que no se habían considerado anteriormente. Finalmente, se presenta una función más exacta para determinar las emisiones producidas durante la operación, en función de las emisiones en la chimenea y no en función de la potencia generada por la unidad.

SEPÚLVEDA, L. y RUDNICK, H. [5]. Esta publicación contribuye con una evaluación cuantitativa del impacto que los costos de control de la contaminación atmosférica, producida por la operación de las centrales termoeléctricas, tienen en la operación del principal sistema eléctrico chileno.

Con este objetivo se utiliza el modelo Gestión Óptima del Laja (GOL), utilizado por la Comisión Nacional de Energía (CNE), para el cálculo de los precios de nodo del SIC. Se concluye que la disminución de emisiones que será posible obtener mediante el método del despacho ambiental en sistema térmicos dependerá de los costos asociados que se esté



dispuesto a gastar por el uso de tecnologías más limpias y, además, del tamaño del sistema, puesto que si no existen alternativas de generación, la disminución de contaminantes que se logrará es muy pequeña.

4.8 Características de Centrales de Generación con Recursos Energéticos Renovables

4.8.1 Energía Hidráulica

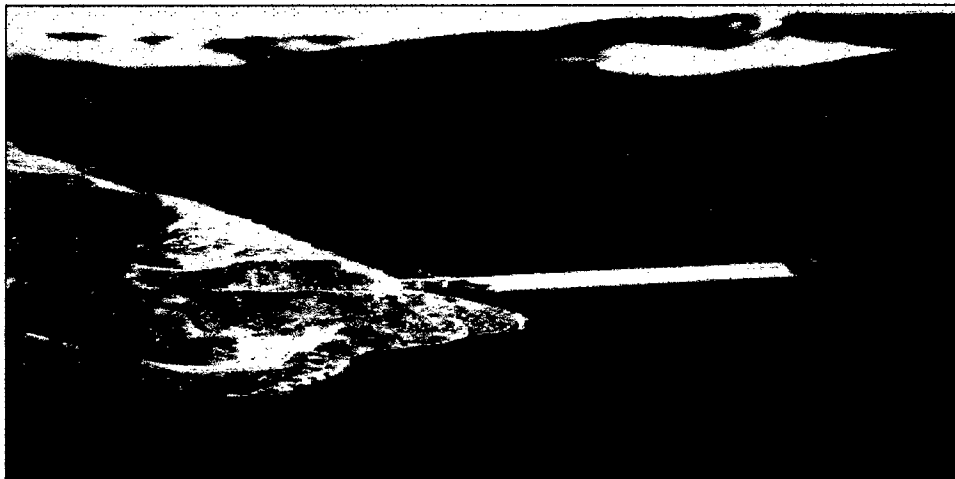
La energía hidráulica es la obtenida del agua en movimiento. La fuerza del agua se transforma en energía mecánica al mover las aspas de una turbina en una central hidroeléctrica, donde se transforma en energía eléctrica. Las presas hidráulicas se destinan a la producción de energía eléctrica o energía mecánica como el caso de beneficios de café y aserraderos de países del norte. Una central hidroeléctrica consta de las siguientes partes:

1. Embalse.- Lugar donde se acumula el agua del río. Además regula el caudal del río.
2. Presa.- Muro grueso cuya función es retener el agua del embalse:
 - Aliviaderos: Salidas de agua que sirven para regular el volumen de agua almacenada.
 - Tubería forzada: Enlaza el embalse con la sala de máquinas, y soporta gran presión.
 - Canal de descarga: Canal por el que se redistribuye el agua al río.
3. Central o sala de máquinas.- Edificio donde se sitúan:
 - Turbinas: Máquinas en las que se transforma energía cinética del agua en energía de rotación.

- **Generador-alternador:** Dispositivo unido a la turbina que convierte la energía de rotación en energía eléctrica.
- **Transformador:** Transforma la energía que se produce en el generador en una corriente de baja intensidad, para transportarla a largas distancias de la central.

Las ventajas de la energía hidráulica son que es renovable y que no es contaminante. Entre las desventajas se tiene que es costoso construir su infraestructura, depende de los factores climáticos, supone un impacto medioambiental ya que puede inundar valles.

Figura N°1 Energía Hidráulica



4.8.2 Energía Geotérmica

Es la que se encuentra en el interior de la tierra en forma de calor, como resultado de la desintegración de elementos radiactivos y el calor permanente que se originó en los primeros momentos de formación del planeta.

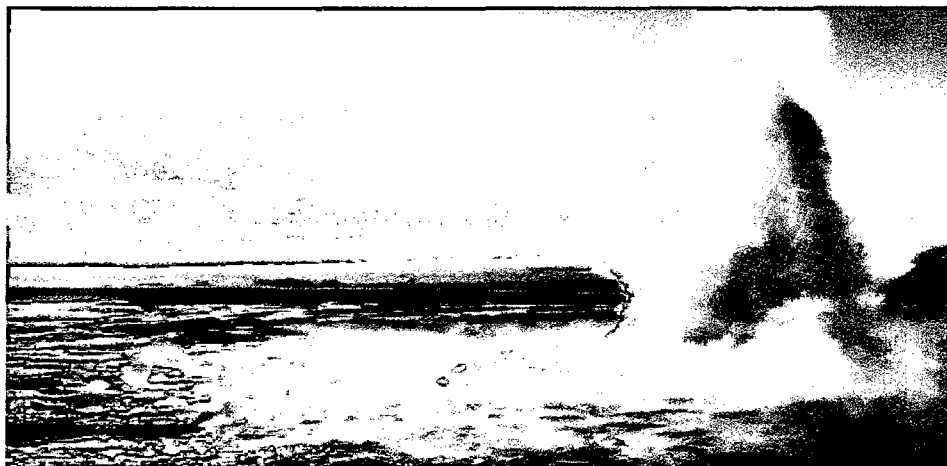
Esta energía se manifiesta por medio de procesos geológicos como volcanes en sus fases póstumas, los géiseres que expulsan agua caliente



y las aguas termales. La conversión de la energía geotérmica en electricidad consiste en la utilización de un vapor y agua caliente, que pasa a través directa o indirecta en un ciclo binario, de una turbina que está conectada a un generador, produciendo electricidad. Las aplicaciones van desde balneario, calefacción y agua caliente, electricidad, extracción de minerales, agricultura y acuicultura, secado de frutos y verduras, secado de blocks y madera y otros. Dentro de sus ventajas está que es una fuente que disminuye la dependencia energética del exterior, los residuos que produce son mínimos y ocasionan menor impacto ambiental que los originados por el petróleo, carbón.

Las desventajas son emisión de ácido sulfhídrico que se detecta por un olor a azufre, pero que en grandes cantidades no se percibe y es letal, emisión de CO₂, con aumento de efecto invernadero, contaminación de aguas próximas con sustancias como arsénico, amoníaco, etc., contaminación térmica, deterioro del paisaje y que no se puede transportar.

Figura N°2 Energía Geotérmica



4.8.3 Energía Eólica

La energía eólica es la energía producida por el viento. El viento es producido por el calentamiento de las masas de aire. Al calentarse pesan menos y ascienden, y las masas de aire frío descienden. Las máquinas capaces de convertir el viento en energía se llaman aerogeneradores, y constan de las siguientes partes:

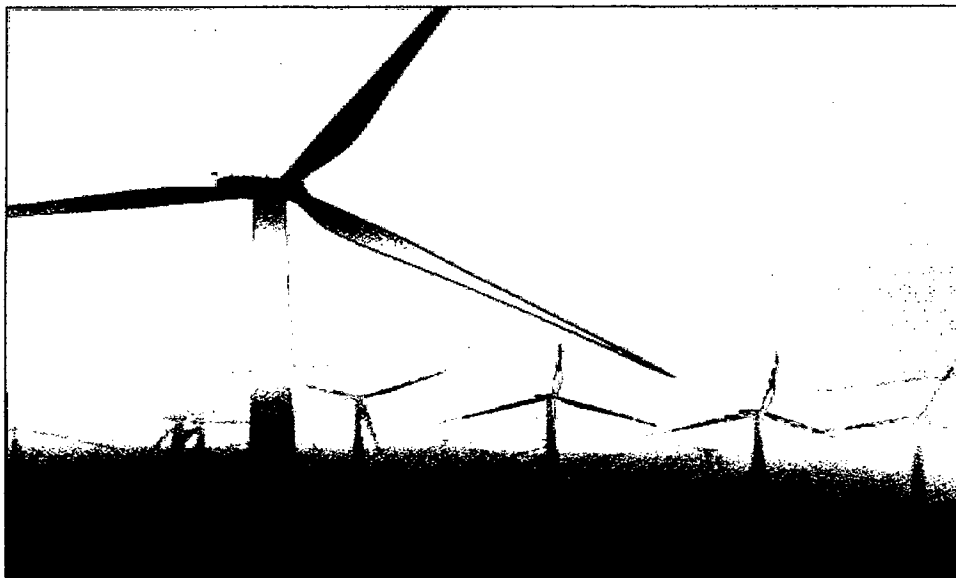
1. Sistema de captación o rotor.- Conjunto de palas que captan la energía del viento y la transforman en energía mecánica de rotación.
2. Soporte.- Lo constituye una torre que soporta el rotor.
3. Sistema de orientación de las palas del rotor.- Capaces de variar su posición para que las palas estén siempre perpendiculares y así aprovechar su energía.
4. Sistema de regulación.- Permiten que las aspas del rotor giren siempre a velocidad constante.
5. Sistema de transmisión y de almacenamiento.

Las ventajas son que evita la importación de carbón, petróleo y materiales radiactivos (favorece el autoabastecimiento), evita grandes impactos ambientales como la lluvia ácida y el efecto invernadero, es barata y no produce residuos, la tecnología necesaria para instalarla es sencilla, crea puestos de trabajo, los espacios ocupados pueden permitir la actividad agrícola y animal, no depende del cambio del mercado internacional.

Sus desventajas son los impactos sobre la fauna y flora, seguridad para evitar los accidentes provocados al caer los aerogeneradores, impacto visual, ruido a corta distancia.



Figura N°3 Energía Eólica



4.8.4 Energía Solar

Es la energía del sol que a través de su radiación produce calor e iluminación. Es una energía que necesita sistemas de captación y de concentración; es constante e intermitente (por lo que se necesita sistemas de almacenamiento). Las aplicaciones más conocidas son para paneles solares que captan la energía del sol con una superficie oscura, y se utiliza para calentar agua, para generar vapor que luego de un proceso produce electricidad, transforma la energía solar en eléctrica a través de células fotovoltaicas (formadas por silicio).

Sus ventajas son que es una fuente de energía inagotable, escaso impacto ambiental, no produce residuos perjudiciales para el medio ambiente, distribuida por todo el mundo, y con más intensidad en las zonas tropicales, costos muy reducidos en operación, una vez instalada, no hay dependencia de las compañías suministradoras y su mantenimiento es sencillo.



Sus desventajas son que los paneles fotovoltaicos contienen agentes químicos peligrosos, puede afectar a los ecosistemas por la extensión ocupada por los paneles, el impacto visual es negativo.

Figura N°4 Energía Solar



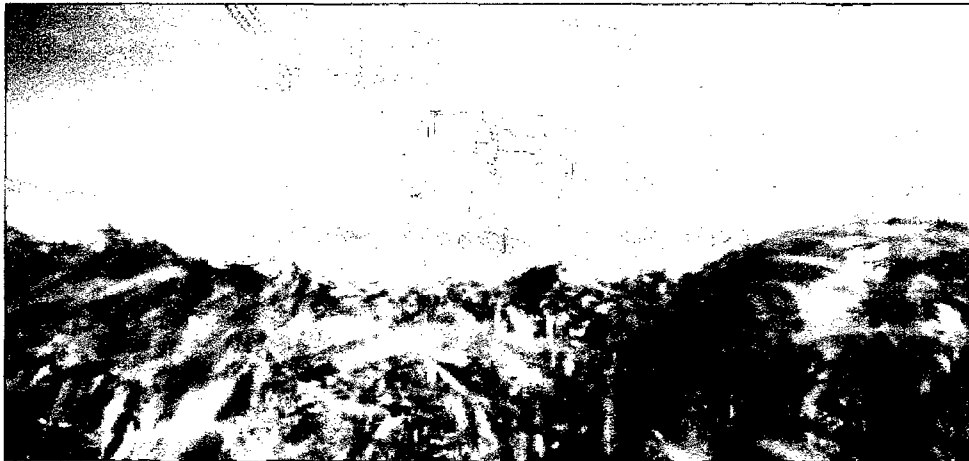
4.8.5 Energía Biomasa

Es la que se proviene de residuos orgánicos de origen animal y vegetal, como bagazo de caña de azúcar, residuos de café, maíz, arroz y otros. Los biocombustibles también están incluidos dentro de la biomasa. Éstos son producto de reacciones químicas de residuos animales o vegetales y de fermentaciones de subproductos vegetales.

Sus ventajas indican que pueden reducir la dependencia de los derivados del petróleo, ahorran divisas, reducen la emisión de CO₂, el uso de algunos residuos reducen la contaminación ambiental (desechos de ganado porcino y vacuno por ejemplo).

Entre sus desventajas se tienen que sus grandes extensiones de cultivos pueden desplazar cultivos alimenticios humanos, incrementando o provocando la crisis alimentaria, su precio podría ser mayor a los derivados del petróleo al considerar los agregados ambientales.

Figura N°5 Energía Biomasa



4.8.7 Programación de la Operación

4.8.7.1 Tipos de programación de sistemas de generación en SEP

La planificación y operación real de un SEP es el resultado de una cadena de toma de decisiones, que comienzan en el largo plazo (expansión de la capacidad, contratos de combustible), continúan en el medio plazo (gestión hidroeléctrica, programación del mantenimiento de las unidades), se concretan en el corto plazo (acoplamiento de grupo de generadores, reservas de operación) y se materializan en la explotación real (despacho de los grupos, regulación de frecuencia, respuesta a eventuales condiciones de emergencia). Por lo tanto el análisis que se hace en cada tipo de planificación es distinto, pero siempre se guían por consideraciones económicas que buscan minimizar el costo de producción de la energía y brindar un servicio de calidad.



A continuación se presentan los tres tipos de planificación según el tiempo a tomar en cuenta:

Programación a largo plazo, en general, tiene un horizonte de uno a cinco años. Las empresas realizan esta programación para obtener aproximaciones de capacidades de generación (térmica, geotérmica e hidráulica) y compararlas con predicciones de consumo, con lo cual puede hacerse una primera aproximación de ofertas de precios (en base a precios futuros de combustibles), valor del agua en los embalses (en base a datos hidrológicos) y con esto evaluar sus futuros ingresos con lo cual se pueden tomar decisiones de ajustes al conjunto generador, si las condiciones del mercado lo permiten, y de esta manera asegurar el suministro energético al menor costo posible.

Programación a mediano plazo, tiene un horizonte de entre un año y un mes. En esta etapa se pueden hacer predicciones de demanda y de esta manera analizar si se cuenta con los recursos necesarios para cubrirla, así como también hacer futuras órdenes de compra de combustible y además permite optimizar el uso del agua en los embalses ya que se cuenta con información reciente de ellos. Para lograr hacer todo esto se deben realizar previsiones económicas tales como posibles ingresos y presupuestos anuales.

Lo interesante de esta programación es que toma como referencia los datos de la programación a largo plazo y le sirve como soporte a la programación de corto plazo, ya que en ella se determinan evaluaciones de inversiones, gestión de contratos, elaboración de ofertas en los mercados diarios, valoración de las reservas hidráulicas y también predicciones de generación térmica sujeta a restricciones anuales. Por lo anterior las empresas generadoras pueden definir precios de sus ofertas

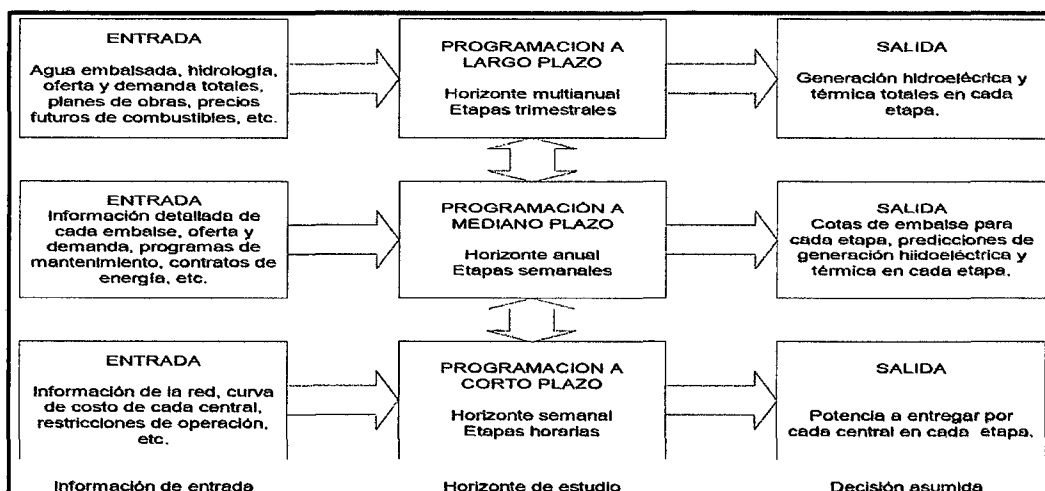
de generación y presentarlas al organismo encargado del despacho de carga.

Programación a corto plazo, su horizonte es entre una semana y un día. La principal característica es que maneja el mercado de ofertas diarias, las cuales están alimentadas por decisiones estratégicas tomadas en las programaciones de largo y mediano plazo.

En esta programación se decide la cantidad de agua que se usará de los embalses en cada etapa (hora) del horizonte de programación (diario o semanal) con el objetivo de minimizar los costos de combustible de las unidades termoeléctricas, cumpliendo simultáneamente las restricciones de operación.

En el cuadro N°1 se presenta un esquema donde se muestra la relación que existe entre los distintos tipos de programación: corto, mediano y largo plazo.

Cuadro N°1: Horizontes de la Programación



Fuente: Tesis: "Análisis del despacho de carga del sistema de generación de EI Salvador" GRANADA LÓPEZ, Gerardo Alberto



4.8.8 Despacho Económico de Carga

4.8.8.1 Generalidades

El problema de la operación y planificación económica de sistemas hidrotérmicos ha cobrado interés en los mercados eléctricos, debido a la gran cantidad de recursos involucrados; y a la necesidad de coordinar a múltiples generadores participantes del mercado eléctrico.

La planificación de corto plazo, determina la programación horaria, económica y confiable de la operación de cada unidad generadora del sistema, llamado despacho económico. En un sistema eléctrico de potencia, el despacho económico determina la salida de potencia activa de cada planta generadora, necesaria para alimentar la carga del sistema, minimizando el costo operativo total, respetando criterios de calidad del servicio (frecuencia y voltaje), así como restricciones de seguridad en la operación (flujos en líneas, límites de reactivos, etc.) . Así, el despacho económico hace hincapié en la coordinación de los costos de producción en todas las plantas generadoras que operan en el sistema, sin olvidar las restricciones de límites de sobrecarga que impone la red de transporte asociada al parque generador.

Como un sistema eléctrico de potencia tiene más de una forma de cumplir su demanda, hay ciertas combinaciones que darán un mejor rendimiento económico o bien otras que resultaran en mayor seguridad para el sistema, por tal motivo el planteamiento del problema del despacho económico es necesario definirlo en términos de optimización, seleccionando una función objetivo adecuada, así como una clasificación apropiada de las variables involucradas en el problema.



Otro aspecto que no se debe pasar por alto es que el sistema eléctrico de potencia tiene condiciones cambiantes de operación en el tiempo, segundo a segundo, por lo que la optimización dependerá del horizonte de tiempo que se considere.

En la operación de un sistema eléctrico es deseable minimizar el costo de generación, lo cual requiere información de las plantas generadoras que relacione el costo de la fuente de energía primaria con la potencia neta de salida del generador. En caso de incluir un índice de comportamiento o función de costo, más posibles restricciones de operación, de las plantas y de la red de transporte, se está en posibilidad de escribir un conjunto de ecuaciones que relacione matemáticamente y, dada la naturaleza de las mismas, buscar un método apropiado de solución al problema de optimización.

Dentro de las técnicas usadas para problemas de optimización, podemos mencionar:

- Programación lineal.
- Métodos de punto interior.
- Programación no lineal.
 - a) Programación cuadrática.
 - b) Soluciones basadas en condiciones de Newton.

El presente trabajo de investigación utilizará la herramienta de la programación no lineal, en la cual la solución se obtiene en un número finito de pasos, sin problemas de convergencia.



4.8.8.2 Programación no lineal

Es el conjunto de técnicas matemáticas que pretende optimizar (maximizar o minimizar) una función objetivo del tipo no lineal de varias variables, sujeta a una serie de restricciones expresadas por inecuaciones lineales.

Un problema de programación no lineal, tiene la siguiente formulación estándar:

$$\text{Minimizar} \quad F = a_1x_1 + a_2x_2^2 + \dots + a_jx_j^n$$

$$\text{Sujeto a:} \quad \left\{ \begin{array}{l} a_1x_1 + b_1 \leq c_1 \\ a_2x_2 + b_2 \leq c_1 \\ \vdots \\ a_jx_j + b_j \leq c_j \end{array} \right\}$$

Pudiendo cambiarse minimizar por maximizar, y el sentido de las desigualdades.

La función $F = a_1x_1 + a_2x_2^2 + \dots + a_nx_n^n$ es llamada *función objetivo* y que es necesario optimizar. En esta expresión x_1, x_2, \dots, x_n son las variables de decisión, mientras que a_1, a_2, \dots, a_j son constantes.

La solución óptima se obtiene encontrando las variables de control que cumplan con las restricciones impuestas y que al mismo tiempo minimicen la función objetivo. Esta solución será un conjunto de valores x_1, x_2, \dots, x_n del conjunto factible que haga que F tome el valor máximo o mínimo.

Al conjunto de valores de x_1, x_2, \dots, x_n que verifican todas y cada una de las restricciones se lo denomina conjunto o región factible. Todo punto de ese conjunto puede ser solución del problema; todo punto no perteneciente a ese conjunto no puede ser solución.

En la operación y planeación de sistemas eléctricos de potencia, las funciones objetivo más comunes que se plantean son las siguientes:

- Costo de generación
- Pérdidas mínimas
- Costo compensación de reactivos
- Factibilidad de flujos
- Costo de corte de carga
- Generación de reactivos
- Errores de potencia nodales

Una de las funciones objetivo más comunes usadas en la operación de sistemas eléctricos de potencia es la función costo de generación, que recibe el nombre de despacho económico, que en su forma más general se escribe como sigue:

$$F = \sum_j C_j = \sum_j a_j + \sum_j b_j g_j$$

4.8.8.3 Objetivo del Despacho Económico

El despacho económico de carga busca minimizar el costo de operación del sistema al suplir una demanda en un período de tiempo determinado (por ejemplo una hora, un día, una semana, etc.) satisfaciendo en forma simultánea un amplio y variado conjunto de restricciones de operación y

cumpliendo además con los criterios que se deriven de las programaciones de corto, mediano y largo plazo.

Un Sistema Eléctrico de Potencia (SEP) generalmente utiliza una combinación de unidades hidroeléctricas y térmicas para suplir la demanda, por ello es necesario optimizar los recursos con los que se cuenta, por lo tanto se pueden hacer dos tipos básicos de despacho económico de carga:

- 1 - Despacho térmico
- 2 - Despacho hidrotérmico

El despacho térmico busca minimizar los costos de producción de las unidades térmicas, de tal manera que se optimice la producción de energía en el SEP, tomando en cuenta las restricciones de las unidades y principalmente las variaciones de la demanda.

El despacho hidrotérmico involucra tanto unidades térmicas como hidroeléctricas y su despacho es un poco más complejo ya que involucra un número mayor de restricciones que se deben satisfacer para llevar a cabo su optimización.

El despacho económico de carga busca repartir la demanda eléctrica total entre las unidades generadoras disponibles, de tal manera que el costo total de operación sea mínimo, lo cual implica dificultades debido a que se deben de respetar ciertos límites de calidad y seguridad del sistema, además también hay que tomar en cuenta el comportamiento de la demanda, es decir, su variación en el tiempo.



V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Presentación de la Metodología Utilizada

5.1.1 Modelo Utilizado

Con la finalidad de contrastar las hipótesis, en el presente trabajo de tesis se ha utilizado el modelo de despacho de carga denominado Stochastic Dual Dynamic Programming (SDDP), cuya característica principal es ser multinodal y multiembalse.

El SDDP es un modelo de despacho hidrotérmico estocástico que tiene representada la red de transmisión para estudios de largo, mediano y corto plazo. El modelo calcula la política de operación de mínimo costo del sistema hidrotérmico peruano, tomando en cuenta los aspectos que se presentan a continuación:

- Características operativas de las centrales hidroeléctricas (balance hídrico, límites de almacenamiento y límites en los caudales turbinados, vertidos, filtrados, etc.)
- Modelo detallado de las centrales térmicas (Unit Commitment, contratos Take or Pay, contratos de combustible, curvas de eficiencia, restricciones de combustible, térmicas multi-combustible, etc.)
- Debido a la incertidumbre hidrológica se ha utilizado el modelo estocástico de caudales que representa las características del sistema hidrológico.
- Se ha considerado la red de transmisión detallada tomando en cuenta el análisis de flujos de potencia en corriente continua, límites en los flujos de potencia, cálculo de pérdidas, restricciones de seguridad.



- Se ha tomado en cuenta la demanda de energía del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), por bloque y por barras en etapas mensuales.

El programa SDDP calcula los costos marginales, los costos de congestión de la transmisión y valor marginal del agua para cada central hidroeléctrica, además de calcular la política de operación a mínimo costo.

5.1.2 Consideraciones para el Despacho de Carga

5.1.2.1 Embalses

El sistema hidrológico del SEIN está compuesto por embalses que obedecen a diferentes necesidades tales como la energía eléctrica, el riego y el agua potable.

Dada la prioridad del uso de agua para generación de electricidad, sólo se incluye en la optimización los embalses cuyo uso obedece estrictamente a necesidades de energía eléctrica. Las descargas de los embalses, que obedecen a necesidades de riego y agua potable, son informadas por los integrantes.

Los embalses optimizados para generación de electricidad son los siguientes:

- Lago Junín.
- Lagunas de Electroperú.
- Lagunas de las centrales Pachachaca y Oroya.
- Lagunas de las centrales Yuncan y Yaupi.



- Lagunas de la central Cañón del Pato.
- Lagunas de la central Cahua.
- Lagunas de la central San Gabán.
- Lagunas de la central Machupichu.

En el caso del lago Junín se toma en cuenta los límites de las cotas mínimas y máximas establecidos por la Resolución del Ministerio de Agricultura N° 0149-98-AG presentados en la tabla N°2, y los volúmenes mínimos establecidos en la Resolución Directoral N° 004-2013-ANA-DEPHM, presentados en la tabla N°3:

Tabla N°2: Cotas mínimas y máximas para el Lago Junín 2014

Fecha	Cota Máxima		Cota Mínima	
	(psnm)	(Hm3)	(psnm)	(Hm3)
Enero	13419	314.741	13413	29.35
Febrero	13419	314.741	13413	29.35
Marzo	13419	314.741	13413	29.35
Abril	13419	314.741	13413	29.35
Mayo	13419	314.741	13413	29.35
Junio	13419	314.741	13413	29.35
Julio	13418	257.395	13413	29.35
Agosto	13417	203.961	13413	29.35
Septiembre	13416	154.439	13413	29.35
Octubre	13416	154.439	13413	29.35
Noviembre	13416	154.439	13413	29.35
Diciembre	13417	203.961	13413	29.35

Fuente: COES

Tabla N°3: Volúmenes mínimos para el lago Junín 2014

Fecha	Volumen útil mínimo (Mio m3)	Volumen total mínimo (Mio m3)	Porcentaje de reserva (%)
01 de Junio	314.7	429.7	100
01 de Julio	271.9	386.9	85
01 de Agosto	229.1	344.1	70
01 de Setiembre	186.3	301.3	55
01 de Octubre	143.5	258.5	40
01 de Noviembre	100.7	215.7	25
01 de Diciembre	57.9	172.9	10
31 de Diciembre	37.9	152.9	3

Fuente: COES

Los embalses cuyas descargas están determinadas por las restricciones de agua potable y riegos son:

- Lagunas de Edegel, limitadas por agua potable para Lima.
- Lagunas de la central Charcani, limitadas por riego y agua potable.
- Laguna de la central Gallito Ciego, limitada por riego.
- Laguna de la central Aricota, limitada por riego.

5.1.2.2 Hidrología

1. Se utilizó 30 series “forward” y 30 series “backward” para determinar los caudales estocásticos, y definir la política operativa y de simulación. Los caudales fueron estimados a partir de los datos históricos disponibles (1965 a 2012).
2. Para el caso de las centrales que tienen restricciones de riego y agua potable prioritaria, se ha considerado los caudales de riego y agua potable de manera determinística a partir de la estimación de energía informada por los integrantes.



3. El parámetro de evaporación, sólo se ha modelado en el caso del Lago Junín.

5.1.2.3 Oferta de Generación y Demanda

- Se considera la disponibilidad de generación de la central térmica de emergencia de 80 MW en Piura.
- Las unidades de generación que operan con gas natural de Camisea se alimentan del tramo de 18 pulgadas del gasoducto.
- La restricción de la disponibilidad de gas natural de Camisea para generación eléctrica, de acuerdo a los volúmenes diarios registrados, es de la siguiente manera:

Tabla N°4: Disponibilidad de Gas de Camisea en millones de pies cúbicos diarios (MMPCD)

AÑO	MMPCD											
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2014	412.5	412.5	412.5	470	470	470	470	470	470	470	470	470
2015	470	470	470	470	470	470	470	470	470	470	470	470

- (*) Se consideró aumentar la disponibilidad total del gas de Camisea en 22.5 MMPCD en octubre 2013 y 57.5 MMPCD en abril 2014, por el ingreso de las centrales Termochilca y Fenix respectivamente.

Fuente: COES

- Se considera las unidades UTI5, UTI6 y TG7 de la CT Santa Rosa operando como duales (petróleo y gas)
- Se representó el bajo perfil de presión en el nodo Ventanilla; para lo cual se limitó el consumo de gas natural a 102 MMPCD en el nodo Santa Rosa.

- Se representó la indisponibilidad de la CH Mantaro por purga de la presa Tablachaca, en el mes de febrero de 2013, con la operación de las unidades UTI5, UTI6 y TG7 de la C.T. Santa Rosa, Central de Emergencia de Piura, CT San Nicolás y unidades TV y TG de la C.T. Ilo1.
- Se representó la mejora del perfil de tensión en la barra de la S.E. Pucallpa con la operación de la unidad TG1 de la C.T. Aguaytia, hasta el ingreso del nuevo banco de condensadores de Pucallpa.
- Se considera la reserva de generación para la regulación primaria y secundaria de frecuencia.
- Ante la deficiencia de generación en el sistema eléctrico, se ha optado por despachar todas las centrales disponibles en el sistema, al margen de que sus costos variables superen el costo de racionamiento de 746 US\$/MWh. En el siguiente análisis, se ha adoptado como costo de racionamiento el valor de 6 000 US\$/MWh.
- Se ha incluido el programa de obras de nuevas unidades de generación que se muestran en la tabla N°5. Se ha considerado el programa de mantenimientos de unidades de generación prevista en la actualización del Programa de Mantenimiento Mayor Abril 2014 - Marzo 2015 y en el Programa de Mantenimiento Mensual Mayo 2014.



Tabla N°5: Programa de obras de Generación

FECHA	PROYECTO	MW
may-14	CH Huanza - G1 - EMPRESA DE GENERACION HUANZA	45.3
jul-14 (*)	CH Santa Teresa - LUZ DEL SUR 98.1	98.1
ago-14	Central Eólica Talara - ENERGÍA EÓLICA	30
sep-14	Central Eólica Cupisnique - ENERGÍA EÓLICA	80
nov-14	CT Fenix - TG11 - TV10 - FENIX POWER PERÚ	356
ene-15	CH Machupicchu II - EGEMSA	99.9
ene-15	Central Biomasa La Gringa V - CONSORCIO ENERGÍA LIMPIA	2
ene-15	CH Runatullo III - EMPRESA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA JUNIN 20.0	20
ene-15	CH Runatullo II - EMPRESA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA JUNIN	19
ene-15	Central Solar Moquegua FV - SOLARPARCK CORPORATION TECNOLÓGICA	16
ene-15	CH Canchayllo - ALDANA CONTRATISTAS GENERALES	5.2
ene-15	CH Rucuy - EMPRESA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA RIO BAÑOS	20
mar-15	Reserva Fría - Planta Puerto Maldonado - INFRAESTRUCTURAS Y ENERGÍAS DEL PERÚ	18
mar-15	Reserva Fría - Planta Pucallpa - INFRAESTRUCTURAS Y ENERGÍAS DEL PERÚ	40
abr-15	CH Quitaracsa - ENERSUR	111.8
jun-15	Reserva Fría - Planta de Eten - PLANTA DE RESERVA FRÍA DE GENERACIÓN DE ETEN	219
jul-15	CH Tulumayo IV - EGEJUNIN TULUMAYO IV	40
jul-15	CH Tulumayo V - EGEJUNIN TULUMAYO V	65
jul-15	CH Macon - EGEJUNIN MACON	10
ago-15	CH Tingo - COMPAÑÍA HIDROELECTRICA TINGO	8.8
sep-15	CH Langui II - CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE LANGUI	2.9

(*) Se consideró la parada de la C.H. Machupicchu del 16.04.14 al 30.05.14, con motivo de obras de conexión entre las centrales hidroeléctricas Machupicchu y Santa Teresa.

Fuente: COES

- El programa de obras de transmisión y demanda por bloques horarios se muestran en la tabla N° 6 y tabla N° 7 respectivamente.

Tabla N°6: Programa de obras de transmisión

FECHA	PROYECTO
may-14	Nueva SE Pariñas 220 kV.
may-14	SE Trujillo Norte: Ampliación de la capacidad de transformación mediante la instalación de un transformador de 220/138/22.9 kV - 100/100/20 MVA.
may-14	SE Nueva Jicamarca (SE Mirador) 220 kV - 120 MVA.
may-14	LT 220 kV Carabayllo - Nueva Jicamarca (doble circuito).
jun-14	Repotenciación de la LT 220 kV Piura Oeste - Talara (existente) de 152 MVA a 180 MVA.
jul-14	SE La Ramada 220 kV - 30 MVA
jul-14	LT 500 kV Trujillo - La Niña 1400 MVA e instalaciones complementarias
oct-14	Repotenciación de la LT 220 kV Paragsha - Vizcarra de 152 MVA a 250 MVA
nov-14	SE Shahuindo 220 kV
dic-14 (*)	Ampliación de la Capacidad de Transmisión de la Línea 220 kV San Juan - Chilca (L-2093) de 350 MVA a 700 MVA (conversión a doble tema).
ene-15	Nueva SE Reque 220 kV (antes llamada SE Chiclayo Sur)
ene-15	SE Paramonga Nueva 220 kV: Transformador Trifásico de 220/60/10 kV - 30 MVA
ene-15	SE Pucallpa: Instalación de banco de Condensadores de 20 MVAR - 60 kV
ene-15	SE Puno: Instalación de bancos de capacitores de 2x7 MVAR en la barra de 60 kV
ene-15	Repotenciación de la LT 138 kV Aguaytía - Pucallpa
abr-15	LT 220 kV Machupicchu - Abancay Nueva - Cotaruse (doble circuito) 500 MVA y SSEE Asociadas
abr-15	Repotenciación de la LT 138 kV Paragsha II - Huanuco de 45 MVA a 75 MVA
abr-15	Ampliación de la Capacidad de Transmisión de la Línea 220 kV Ventanilla - Zapallal (L-2242/L2243) de 152 MVA a 270 MVA por tema
abr-15	LT 220 kV Ventanilla - Chavarria de 189 MVA (cuarto circuito)
jul-15	LT 138 kV Socabaya - Parque Industrial (simple circuito) y Ampliación de Subestaciones
dic-15	Nueva SE Ilo 3 138/220 kV de 400 MVA

(*) De forma preliminar, se consideró: a) un primer enlace entre la línea L-2009 (Callahuanca - Cajamarquilla) y la línea L-2105 (La Planicie - Carabayllo), originándose el enlace La Planicie - Cajamarquilla; b) un segundo enlace entre la línea L-2103 (Chilca - La Planicie) y las líneas L-2205/L-2206 (Pomacocha - San Juan), formando el enlace Chilca - San Juan, durante la indisponibilidad de la línea L-2093 del 08.06.14 al 14.12.14.

Fuente: COES



Tabla N°7: Demanda por Bloques Horarios

Meses	Potencia (MW)					Horas					Energía (GWh)
	Punta Máxima	Media Máxima	Máxima	Media	Base	Punta Máxima	Media Máxima	Máxima	Media	Base	
may-14	5630.1	5315.5	5389.1	5010.6	4336.5	10.5	21	144.5	289	279	3607.4
jun-14	5676.8	5352.7	5438.0	5037.9	4411.4	10.5	21	139.5	279	270	3527.3
jul-14	5598.8	5324.4	5392.0	5030.4	4373.5	10.5	21	144.5	289	279	3623.7
ago-14	5701.2	5438.7	5478.5	5138.0	4454.6	10.5	21	144.5	289	279	3693.4
sep-14	5827.7	5505.2	5589.7	5186.8	4499.9	11	22	139	278	270	3619.1
oct-14	5816.1	5531.3	5593.1	5228.4	4518.7	11	22	144	288	279	3757.6
nov-14	5999.2	5687.6	5714.2	5338.1	4641.6	10	20	140	280	270	3721.6
dic-14	5916.5	5721.5	5704.0	5340.6	4650.8	10.5	21	144.5	289	279	3847.5
ene-15	5944.3	5947.2	5746.4	5531.5	4682.3	10.5	21	144.5	289	279	3922.6
feb-15	6115.7	6108.3	5891.6	5715.1	4845.2	10	20	130	260	252	3656.2
mar-15	6236.8	6016.8	5922.8	5639.2	4799.6	11	22	144	288	279	4017.0
abr-15	6281.4	5991.5	5958.3	5590.5	4822.7	10	20	140	280	270	3884.3
may-15	6238.9	5890.3	5971.9	5552.5	4805.4	10	20	145	290	279	3997.0
jun-15	6304.3	5944.5	6039.2	5594.9	4899.1	10.5	21	139.5	279	270	3917.2
jul-15	6189.8	5886.4	5961.1	5561.4	4835.1	10.5	21	144.5	289	279	4006.2
ago-15	6327.7	6036.3	6080.5	5702.5	4944.1	10.5	21	144.5	289	279	4099.3
sep-15	6553.8	6191.1	6286.1	5833.0	5060.5	11	22	139	278	270	4070.0
oct-15	6547.2	6226.6	6296.1	5885.6	5086.7	10.5	21	144.5	289	279	4229.4
nov-15	6756.9	6406.0	6435.9	6012.3	5227.8	10.5	21	139.5	279	270	4192.2
dic-15	6653.3	6434.1	6414.4	6005.7	5230.1	10.5	21	144.5	289	279	4326.7

Fuente: COES

5.1.2.4 Costos Variables

Se ha calculado los Costos Variables Combustibles (CVC) tomando como referencia los valores utilizados en el programa semanal de operación n.º49. Para los combustibles líquidos, se ha tomado la última lista de precios de combustibles publicada por PETROPERÚ, vigente al 07.12.2013, los cuales se muestran en la tabla N° 8.



Tabla N°8: Costos Variables de las unidades térmicas

Central	Potencia (MW)	CVNC (\$/MWh)	FC (UND/MWh)	Costo (\$/UND)	CVC (\$/MWh)	CV (\$/MWh)
OQUENDO-TG1	30.3	2.690	9.85	0.00	0.00	2.69
PISCO-TG2	35.3	2.690	12.10	0.00	0.00	2.69
PISCO-TG1	35.3	2.690	12.10	0.00	0.00	2.69
TABLAZO-TG1	26.8	2.690	14.03	0.00	0.00	2.69
CHILCA-CCTG3	265.0	3.345	6.92	0.00	0.00	3.35
CHILCA-CCTG2	265.0	3.345	6.92	0.00	0.00	3.35
CHILCA-CCTG1	265.0	3.345	6.92	0.00	0.00	3.35
CHILCA-TG3	189.8	3.413	9.53	0.00	0.00	3.41
FENIX-CC	521.0	2.690	8.95	0.15	1.38	4.07
CHILCA-TG1	175.0	4.412	9.08	0.00	0.00	4.41
CHILCA-TG2	168.4	4.487	9.16	0.00	0.00	4.49
INDEPENDENCIA	23.0	2.454	9.31	0.29	2.74	5.20
VENTANILLA-CCTG3	231.2	3.345	6.24	1.71	10.67	14.01
VENTANILLA-CCTG4	220.1	3.345	6.34	1.71	10.82	14.17
KALLPA-CCTG3	288.6	3.345	6.46	1.74	11.20	14.57
KALLPA-CCTG2	282.1	3.345	6.50	1.74	11.31	14.65
KALLPA-CCTG1	276.7	3.345	6.56	1.74	11.41	14.76
VENTANILLA-TG3-G	156.1	2.690	9.26	1.71	15.83	18.52
VENTANILLA-TG4-G	152.8	2.690	9.30	1.71	15.88	18.57
KALLPA-TG3	192.9	3.908	9.30	1.74	16.20	20.08
KALLPA-TG2	189.7	4.031	9.31	1.74	16.20	20.21
KALLPA-TG1	187.7	4.473	9.24	1.74	16.10	20.55
SANTA ROSA-TG8	199.8	2.690	9.17	3.10	28.42	31.11
LAS FLORES-TG1	192.8	2.690	10.24	3.13	32.09	34.78
SANTA ROSA-TG5-G	52.4	6.535	11.44	3.10	35.44	41.97
SANTA ROSA-TG6-G	51.0	6.700	11.68	3.10	36.18	42.88
AGUAYTIA-TG2	85.4	2.690	11.96	3.42	40.92	43.61
AGUAYTIA-TG1	84.9	2.690	12.00	3.42	41.08	43.77
ILO2-TV1	139.8	2.188	392.63	0.11	43.46	45.65
MALACAS-TG4	84.9	3.132	10.73	6.65	71.34	74.47
MALACAS-TG1	11.7	2.690	12.86	9.43	121.34	124.03
CHILINA-D	10.2	2.454	61.29	2.57	157.63	160.08
TUMBES	16.3	13.919	55.97	2.69	150.43	164.35
SHOUGESA-TV3	27.5	1.320	73.31	2.69	196.97	198.28
MOLLENDO-D	29.8	2.454	60.72	3.48	211.46	213.91
ILO1-TV3	66.3	4.758	75.15	2.80	210.47	215.23
ILO1-TV4	44.1	5.068	79.31	2.80	222.13	227.19
SHOUGESA-TV1	19.1	1.320	84.89	2.69	228.07	229.39
SHOUGESA-TV2	17.9	1.320	92.42	2.69	248.30	249.62
CHILINA-TV3	10.2	1.320	106.95	2.43	260.00	261.32

Fuente: COES



Central	Potencia (MW)	CVNC (\$/MWh)	FC (UND/MWh)	Costo (\$/UND)	CVC (\$/MWh)	CV (\$/MWh)
ILO1-D	3.3	16.702	63.25	4.00	252.70	269.40
SHOUGESA-D	1.2	2.454	69.35	3.88	269.13	271.59
RF ILO2-TG123-D	460.0	4.000	71.39	3.83	273.51	277.51
VENTANILLA-TG4-D	154.6	2.690	70.97	3.89	276.17	278.86
SANTA ROSA-TG7-G	120.0	6.535	88.03	3.10	272.66	279.19
VENTANILLA-TG3-D	154.7	2.690	71.43	3.89	277.94	280.63
CHILINA-TV2	6.2	1.320	115.21	2.43	280.07	281.39
RF MALACAS-TG5-D	183.5	4.000	73.36	3.96	290.63	294.63
TAPARACHI	3.9	2.454	74.77	3.96	296.31	298.73
CHICLAYO	9.6	8.714	77.06	3.91	301.08	309.79
ILO1-TG2	30.6	10.321	78.00	4.00	311.64	321.96
ILO1-TG1	34.4	9.248	78.74	4.00	314.58	323.83
SANTA ROSA-TG6-D	52.5	6.700	85.84	3.80	326.53	333.23
SANTA ROSA-TG5-D	51.7	6.535	88.03	3.80	334.87	341.40
CHILINA-CC	15.8	3.345	91.58	3.78	346.57	349.92
PIURA1	6.3	9.563	77.33	4.50	347.76	357.33
BELLAVISTA2	1.5	2.454	98.60	3.97	391.06	393.52
BELLAVISTA1	1.5	2.454	98.60	3.97	391.06	393.52
PIURA2	1.9	8.454	86.29	4.50	388.05	396.51
CHIMBOTE-TG3	19.6	2.690	108.41	3.83	415.27	417.96
PIURA-TG	17.9	2.690	124.41	4.50	559.51	562.20

Unidades:

1. GAS : [MPC]
2. CARBÓN: [Kg]
3. DIESEL: [GAL]
4. RESIDUAL: [GAL]

Fuente: COES

5.1.2.5 Límites de Transmisión en las principales líneas de Interconexión

Límite de Transmisión de la línea Mantaro – Cotaruse – Socabaya de 220 kV medidos en la SE. Socabaya es de 460 MW.

Por el ingreso de la línea de 500 KV Chilca – Poroma – Ocoña – Montalvo, se considera el límite de transmisión hacia el sur en 700 MW en horas media demanda y punta; y 750 MW en horas de base, a la suma de flujos entre las líneas de interconexión Mantaro – Cotaruse – Socabaya y Chilca – Poroma – Ocoña – Montalvo.

VI. RESULTADOS

Las simulaciones del despacho de carga del SEIN, se hicieron para el período comprendido entre los meses de mayo de 2014 y agosto de 2016, considerando como alternativas de despacho de carga a) con la operación de Centrales con Energías Renovables y b) sin la operación de Centrales con Energías Renovables.

Con los resultados de estas alternativas de despacho podemos cuantificar el ahorro en el consumo por tipo de combustible (petróleo diésel, gas y carbón); el ahorro en el costo operativo del SEIN y el ahorro en la generación de energía termoeléctrica.

Con el ahorro en el consumo de combustible (petróleo, gas y carbón), podemos calcular las toneladas de dióxido de carbono (CO₂) dejadas de emitir al medio ambiente; con el ahorro del costo operativo podemos cuantificar la disminución en los costos marginales del SEIN, y con el ahorro en la generación de energía termoeléctrica estamos desplazando el agotamiento del gas, petróleo y carbón.

A continuación presentamos los resultados de la simulación del despacho de carga, para las alternativas mencionadas:

Tabla N° 9 : Consumo por el tipo de combustible.

Tabla N°10 : Costo operativo del SEIN.

Tabla N°11 : Despacho de carga de la generación hidráulica y térmica.

Tabla N°12 : Despacho de carga de la generación RER.

Tabla N°13 : Costo marginal en S.E. Santa Rosa 220 kV.



Tabla N° 9: Consumo por tipo de combustible.

	Consumo de Combustible Gas (millones de pies cúbicos)			Consumo de Combustible Diesel (miles de Galones)			Consumo de Combustible Carbón (miles de Kilogramos)		
	Sin RER	Con RER	Diferencia	Sin RER	Con RER	Diferencia	Sin RER	Con RER	Diferencia
05/2014	13.851,18	12.962,08	889,10	75,40	199,49	-124,09	1.735,30	66,60	1.668,70
06/2014	14.819,52	14.077,24	742,28	171,60	213,90	-42,31	11.404,00	4.172,90	7.231,10
07/2014	15.605,83	14.871,47	734,36	79,12	213,47	-134,35	16.783,00	6.621,11	10.161,89
08/2014	16.165,67	15.466,18	699,49	1.556,93	224,84	1.332,09	24.896,00	14.799,91	10.096,09
09/2014	15.956,98	15.021,88	935,10	5.741,28	1.003,25	4.738,04	27.818,00	15.988,90	11.829,10
10/2014	16.048,40	14.918,50	1.129,90	3.887,16	1.085,99	2.801,17	25.677,00	11.224,65	14.452,35
11/2014	15.404,79	14.392,18	1.012,61	3.427,85	1.198,11	2.229,74	22.915,00	9.957,40	12.957,60
12/2014	14.890,15	13.775,31	1.114,84	1.529,58	800,90	728,68	13.979,00	5.033,34	8.945,66
01/2015	14.235,75	13.024,51	1.211,23	94,31	212,23	-117,92	7.342,70	77,65	7.265,05
02/2015	12.937,69	11.934,88	1.002,82	216,82	6,90	209,92	7.547,10	118,76	7.428,34
03/2015	15.122,32	14.177,41	944,91	2.559,35	309,76	2.249,59	18.302,00	7.412,65	10.889,35
04/2015	13.679,39	11.973,45	1.705,94	86,16	206,99	-120,83	7.025,50	74,90	6.950,60
05/2015	15.339,47	14.044,73	1.294,73	10,11	198,44	-188,33	12.976,00	2.527,55	10.448,45
06/2015	15.774,16	14.995,90	778,26	59,95	205,39	-145,44	26.960,00	11.487,90	15.472,10
07/2015	16.460,35	15.543,61	916,74	969,62	212,23	757,39	31.798,00	10.298,91	21.499,09
08/2015	16.839,22	15.918,55	920,67	9.271,62	641,43	8.630,18	35.523,00	20.922,91	14.600,09
09/2015	16.353,98	15.672,08	681,89	21.486,75	1.325,12	20.161,64	35.563,00	27.644,90	7.918,10
10/2015	16.782,75	15.579,31	1.203,44	14.625,88	1.516,10	13.109,78	36.505,00	22.485,65	14.019,35
11/2015	16.330,92	15.291,94	1.038,98	21.509,73	4.537,55	16.972,18	35.253,00	23.748,90	11.504,10
12/2015	16.367,03	14.891,11	1.475,93	7.867,24	1.339,45	6.527,79	33.202,00	17.014,74	16.187,26
01/2016	16.060,01	13.327,85	2.732,16	1.508,49	1.186,16	322,33	35.849,00	31.371,65	4.477,35
02/2016	14.585,49	12.406,91	2.178,58	1.852,41	1.156,57	695,83	33.201,00	31.638,84	1.562,16
03/2016	17.408,97	14.792,96	2.616,01	2.925,76	1.687,99	1.237,77	29.426,00	27.495,65	1.930,35
04/2016	15.511,49	12.805,48	2.706,02	5.376,66	3.508,79	1.867,86	35.553,00	35.468,90	84,10
05/2016	16.982,36	14.805,74	2.176,61	6.944,61	4.706,58	2.238,03	36.749,00	36.826,65	-77,65
06/2016	18.389,70	15.965,07	2.424,63	10.862,05	7.986,73	2.875,32	35.563,00	35.637,90	-74,90
07/2016	18.312,94	15.897,33	2.415,60	13.611,26	9.205,51	4.405,75	36.748,00	36.822,91	-74,91
08/2016	18.924,56	16.001,65	2.922,92	18.285,27	10.233,18	8.052,08	36.749,00	36.823,91	-74,91
Total	445.141,08	404.535,32	40.605,76	156.592,97	55.323,06	101.269,90	713.042,60	483.766,65	229.275,95

Fuente: Elaboración propia

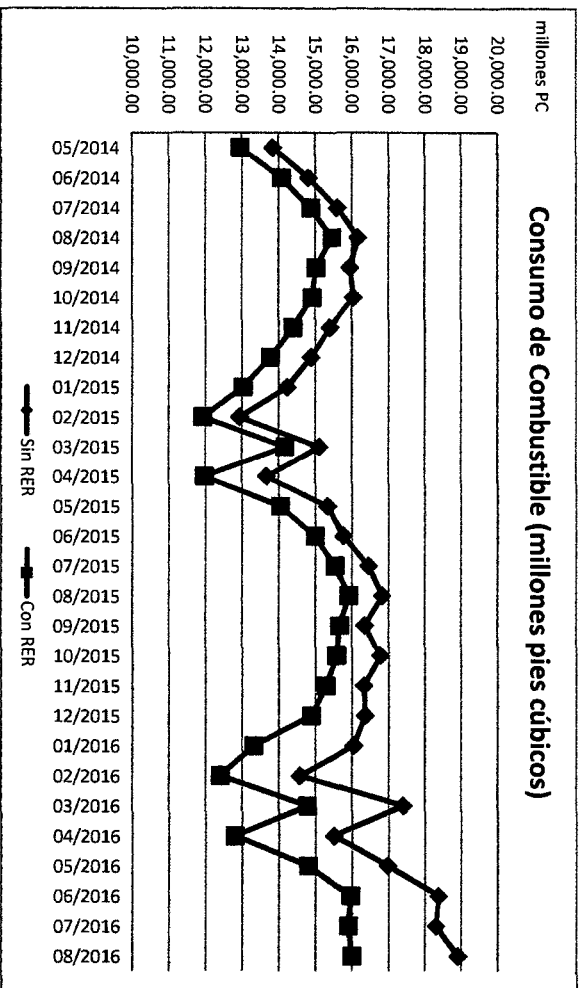
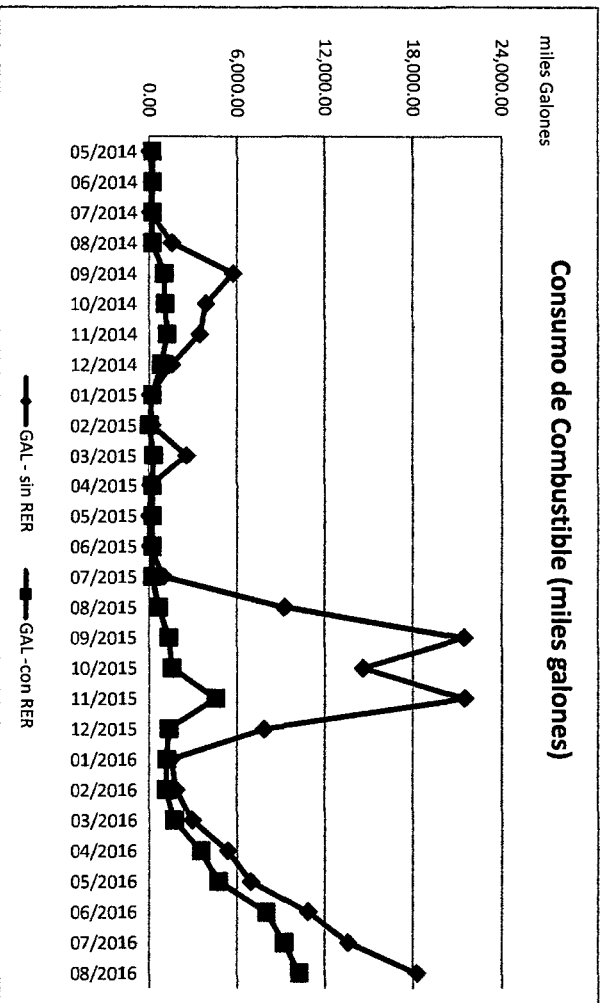


Figura N°7 Consumo de Combustible Petróleo



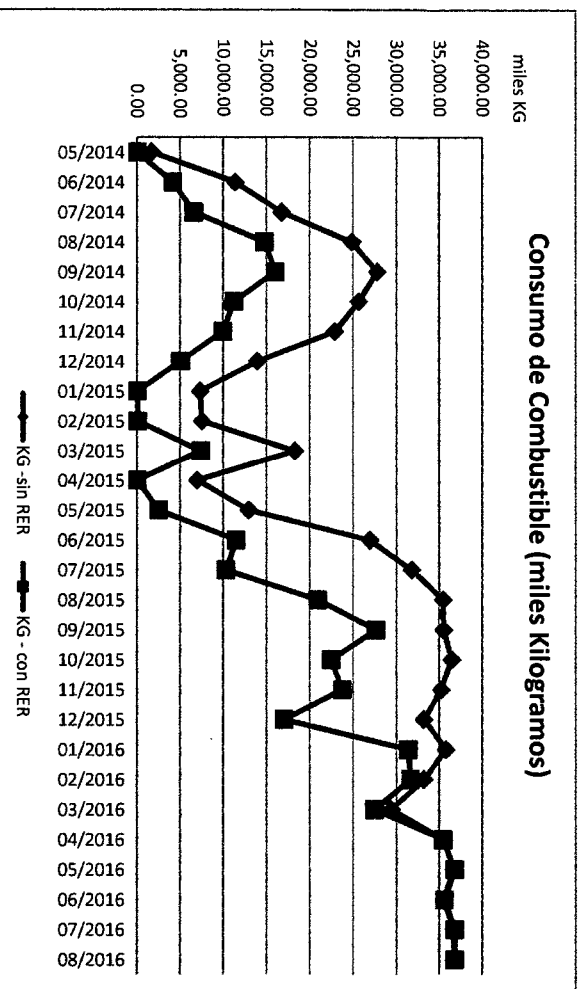


Figura N°8 Consumo de Combustible Carbon

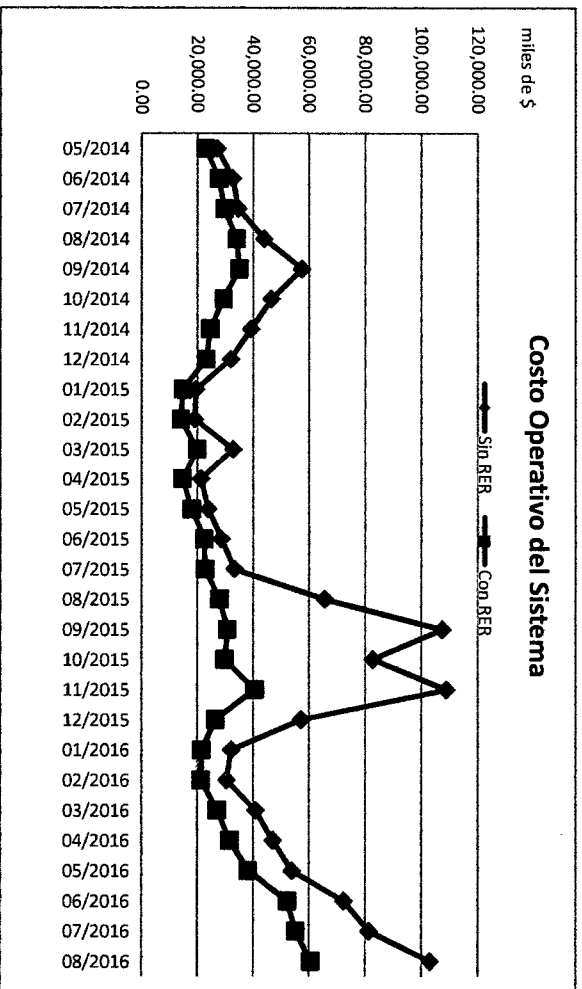


Figura N°9 Costo Operativo del Sistema

Tabla N° 10: Costo operativo del SEIN

	Costo Operativo (miles de \$)		
	Sin RER	Con RER	Diferencia
05/2014	27.139,42	22.916,66	4.222,76
06/2014	32.754,51	27.729,29	5.025,22
07/2014	34.743,86	29.690,10	5.053,76
08/2014	44.062,37	34.059,38	10.002,99
09/2014	57.637,16	35.032,98	22.604,18
10/2014	46.525,03	29.301,17	17.223,86
11/2014	39.256,57	24.530,34	14.726,23
12/2014	31.994,45	23.150,10	8.844,35
01/2015	19.513,28	14.800,21	4.713,08
02/2015	19.025,31	13.983,94	5.041,37
03/2015	32.947,65	19.874,75	13.072,90
04/2015	21.321,86	14.750,66	6.571,20
05/2015	23.941,44	17.893,53	6.047,91
06/2015	28.626,44	22.391,67	6.234,78
07/2015	33.443,57	22.764,16	10.679,41
08/2015	65.850,84	27.969,02	37.881,82
09/2015	107.575,71	30.788,36	76.787,36
10/2015	82.846,23	29.850,48	52.995,75
11/2015	108.967,71	40.469,76	68.497,95
12/2015	57.271,26	26.479,18	30.792,08
01/2016	32.224,21	21.459,02	10.765,19
02/2016	30.530,05	21.214,83	9.315,22
03/2016	40.874,05	27.131,67	13.742,39
04/2016	47.121,94	31.568,75	15.553,19
05/2016	54.022,33	38.236,42	15.785,91
06/2016	72.605,94	52.174,08	20.431,87
07/2016	81.560,56	55.231,56	26.329,00
08/2016	103.159,42	60.698,41	42.461,01
Total	1.377.543,16	816.140,45	561.402,72

Fuente: Elaboración propia



Tabla N° 11: Despacho de Carga de Generación Hidráulica y Térmica

	Generación Hidráulica (GWh)			Generación Térmica (GWh)		
	Sin RER	Con RER	Diferencia	Sin RER	Con RER	Diferencia
05/2014	1.744,13	1.703,71	40,43	1.852,38	1.738,70	113,68
06/2014	1.593,64	1.551,14	42,49	1.932,93	1.830,31	102,62
07/2014	1.572,62	1.542,88	29,74	2.053,19	1.946,89	106,30
08/2014	1.554,47	1.531,65	22,82	2.135,29	2.010,28	125,01
09/2014	1.446,35	1.475,33	-28,98	2.168,36	1.971,47	196,88
10/2014	1.553,14	1.575,84	-22,71	2.202,14	2.000,09	202,05
11/2014	1.627,57	1.642,91	-15,34	2.089,65	1.897,80	191,85
12/2014	1.909,99	1.907,84	2,15	1.933,34	1.756,34	177,00
01/2015	2.090,98	2.031,37	59,61	1.827,04	1.645,06	181,98
02/2015	1.923,95	1.890,21	33,74	1.721,86	1.559,01	162,84
03/2015	1.947,85	1.917,70	30,16	2.055,42	1.855,57	199,85
04/2015	2.106,88	2.112,37	-5,49	1.763,49	1.522,56	240,92
05/2015	1.938,70	1.895,83	42,87	2.048,46	1.855,90	192,56
06/2015	1.787,37	1.694,94	92,43	2.125,92	1.989,88	136,03
07/2015	1.746,75	1.619,59	127,16	2.252,32	2.070,99	181,32
08/2015	1.690,10	1.652,51	37,59	2.392,65	2.124,79	267,86
09/2015	1.536,60	1.625,28	-88,68	2.516,32	2.129,35	386,97
10/2015	1.725,92	1.765,70	-39,77	2.488,75	2.132,89	355,86
11/2015	1.705,78	1.773,23	-67,46	2.474,52	2.089,77	384,75
12/2015	2.070,16	2.058,94	11,22	2.242,15	1.932,15	310,00
01/2016	2.338,70	2.319,91	18,79	2.123,27	1.778,19	345,08
02/2016	2.254,86	2.236,58	18,27	2.029,22	1.728,25	300,98
03/2016	2.239,90	2.215,35	24,55	2.332,71	2.003,87	328,84
04/2016	2.288,01	2.278,96	9,05	2.099,44	1.757,90	341,54
05/2016	2.141,77	2.063,19	78,58	2.377,94	2.096,21	281,74
06/2016	1.870,59	1.812,31	58,28	2.556,25	2.269,63	286,61
07/2016	1.914,27	1.873,51	40,76	2.628,97	2.302,73	326,24
08/2016	1.871,31	1.930,82	-59,51	2.732,03	2.312,28	419,75
Total	52.192,38	51.699,64	492,74	61.156,00	54.308,87	6.847,13

GWh = Gigavatiohora

Fuente: Elaboración propia



Tabla N° 12: Despacho de Carga de Generación RER (GWh)

	Generación RER (GWh)				
	Hídrica	Eólica	Solar	Bagazo	Biomasa
05/2014	61,63	12,59	14,69	26,50	2,39
06/2014	53,43	12,19	14,22	28,03	2,31
07/2014	43,04	12,59	14,69	28,71	2,39
08/2014	45,93	22,86	14,69	28,71	2,39
09/2014	43,92	46,89	14,22	28,03	2,31
10/2014	52,06	48,46	14,69	28,99	2,39
11/2014	52,64	46,89	14,22	28,03	2,31
12/2014	54,97	48,46	14,69	21,50	2,39
01/2015	106,48	48,46	19,65	28,99	3,58
02/2015	97,52	43,77	17,75	7,63	3,23
03/2015	107,41	48,46	19,65	19,23	3,58
04/2015	105,33	46,89	19,02	28,03	3,46
05/2015	104,02	48,46	19,65	27,61	3,58
06/2015	98,48	46,89	19,02	28,03	3,46
07/2015	181,40	48,46	19,65	28,71	3,58
08/2015	186,55	48,46	19,65	28,71	3,58
09/2015	184,09	46,89	19,02	28,03	3,46
10/2015	198,23	48,46	19,65	28,99	3,58
11/2015	193,39	46,89	19,02	28,03	3,46
12/2015	201,81	48,46	19,65	21,50	3,58
01/2016	230,01	48,46	19,65	28,99	3,58
02/2016	215,67	45,33	18,39	7,90	3,35
03/2016	230,39	48,46	19,65	19,23	3,58
04/2016	225,51	46,89	19,02	28,03	3,46
05/2016	230,13	48,46	19,65	27,61	3,58
06/2016	217,38	46,89	19,02	28,03	3,46
07/2016	236,47	48,45	19,65	28,71	3,58
08/2016	234,18	48,46	19,65	28,71	3,58
Total	3.992,08	1.202,84	502,24	719,19	89,22

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 13: Costo Marginal en S.E. Santa Rosa 220 kV

	Costo Marginal S.E. Santa Rosa 220 kV (US\$/MWh)	
	Sin RER	Con RER
05/2014	40,056	33,636
06/2014	55,677	43,996
07/2014	56,662	44,646
08/2014	77,235	50,065
09/2014	123,62	65,164
10/2014	122,4	68,55
11/2014	119,75	61,866
12/2014	74,055	42,835
01/2015	43,178	27,595
02/2015	51,795	28,052
03/2015	124,73	50,221
04/2015	36,887	27,374
05/2015	47,525	34,646
06/2015	73,839	55,385
07/2015	96,337	55,988
08/2015	180,72	61,446
09/2015	244,2	93,193
10/2015	266,83	72,878
11/2015	243,13	104,29
12/2015	166,19	59,295
01/2016	31,285	24,687
02/2016	32,108	25,201
03/2016	55,948	26,942
04/2016	46,499	26,867
05/2016	37,465	29,808
06/2016	43,178	33,792
07/2016	39,737	31,931
08/2016	70,032	32,074

Fuente: Elaboración propia



En la tabla N°14 se muestra el resumen de los ahorros y gastos de los combustibles: gas natural, petróleo y carbón, del costo operativo y de la generación hidráulica y térmica debido al Despacho de Generación con Energías Renovables, para el periodo de análisis Mayo-2014 y Agosto-2016:

Tabla N°14: Resultados de la Simulación (con y sin RER)

Descripción	Ahorro
Gas Natural	40.605,76 mpc
Petróleo	101.269,90 mgl
Carbón	229.275,95 mkg
Costo Operativo del SEIN	561.402,72 m\$

mpc = millones de pies cúbicos
 mgl = miles de galones
 mkg = miles de kilogramos
 m\$ = miles de dólares

Fuente: Elaboración propia

6.1 Análisis e Interpretación de Resultados

6.1.1 Emisión de Dióxido de Carbono (CO₂) al Medio Ambiente

El Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) utiliza centrales hidráulicas y térmicas para producir energía eléctrica. Las centrales térmicas utilizan combustibles fósiles como el gas natural, el petróleo y el carbón, cuya combustión emite al medio ambiente gases de efecto invernadero: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido de nitrógeno (N₂O).

En el Perú, de acuerdo con el Balance Nacional de Energía 2012 emitido por el Ministerio de Energía y Minas, las emisiones de CO₂ representan alrededor del 99.52 % del total de las emisiones del comercio, la industria

y la generación de electricidad mientras que las emisiones juntas de CH₄ y N₂O representan sólo el 0.476%, es decir menos del 1% del total de emisiones.

Debido a que las emisiones de CH₄ y N₂O son pequeñas, en el presente trabajo de investigación no las hemos tomado en cuenta, y, nos hemos concentrado en cuantificar las emisiones del dióxido de carbono (CO₂).

Existen dos métodos principales para estimar las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) de una fuente de combustión estacionaria como es el caso de las centrales termoeléctricas del SEIN a) la medición directa a través del monitoreo continuo de las emisiones, y b) el análisis del consumo de combustible. En el presente trabajo utilizaremos método del “análisis del consumo de combustible” que se sustenta en el contenido de carbón del combustible utilizado aplicado a la cantidad de combustible quemado para obtener las emisiones de CO₂.

A continuación presentamos la ecuación obtenida de la publicación Climate Leaders [6], que nos permite calcular las emisiones de CO₂, según el método de análisis de combustible, conociendo el tipo de combustible, el poder calorífico, el coeficiente del contenido de carbón y los factores de oxidación.

$$Emisiones_{CO_2} = Comb_i \times PC_i \times CC_i \times FO_i \times \frac{CO_2(m.w.)}{C(m.w.)} \times K$$

Donde:

Emisiones_{CO₂} = Cantidad total de CO₂ emitido por el tipo de combustible (toneladas).

i = Tipo de combustible carbón, gas, diésel.

Comb_i = Cantidad del tipo de combustible consumido (galones, pies cúbicos, kg).

- PC_i** = Poder calorífico del tipo de combustible ($\frac{MMBTU}{Kg}$, $\frac{MMBTU}{pies^3}$, $\frac{MMBTU}{Gtn}$)
- CC_i** = Coeficiente de contenido de carbón del tipo de combustible i
($\frac{KgC}{MMBTU}$)
- FO_i** = Fracción oxidada del tipo de combustible i.
- CO₂ (m.w.)** = Peso molecular del dióxido de carbono (44).
- C(m.w.)** = Peso molecular del carbón (12).
- K** = Factor de conversión de Kg a Tn ($\frac{1}{1000}$)

En la tabla N°15 se muestran las características de: contenido de carbón, fracción de oxidación y poder calorífico de los tres tipos de combustibles utilizados en la generación de energía termoeléctrica en el SEIN.

Tabla N°15: Contenido de Carbón, Fracción de Oxidación, Poder Calorífico

Descripción	Tipo de Combustible		
	Diesel	Gas Natural	Carbón
Contenido de Carbón	21.297 (KgC/MMBTU)	16.132 (KgC/MMBTU)	28.256 (KgC/MMBTU)
Fracción de Oxidación	0.99	0.995	0.98
Poder Calorífico	0.13869 (MMBTU/Gln)	0.001 (MMBTU/pie3)	0.0242 (MMBTU/pie3)

Fuente: OLADE Metodología de Inventario de Gases de Efecto Invernadero.

Con los datos de la tabla N°14, la fórmula de emisiones de CO₂, y los datos de la tabla N°15, se calculó el ahorro de las emisiones de CO₂ al medio ambiente, debido al Despacho de Generación con Energías Renovables, durante el período Mayo 2014 - Agosto 2016. En la tabla N°16 se muestra el ahorro en toneladas de CO₂:



Tabla N°16 Toneladas de CO₂ dejados de emitir al Medio Ambiente

Tipo de Combustible	Ahorro	
	Cantidad Combustible	Toneladas CO ₂
Diesel	101.269,90 mgl	1.085.801,79
Gas Natural	40.605,76 mpc	2.389.847,94
Carbón	229.275,95 mkg	563.354,85
Total =		4.039.004,58

mpc = millones de pies cúbicos

mgl = miles de galones

mkg = miles de kilogramos

Fuente: Elaboración propia

Los resultados muestran que el Despacho de Generación con Energías Renovables, disminuye la emisión de dióxido de carbono al medio ambiente, al reemplazar centrales de generación termoeléctrica. Esta disminución corresponde a 4.039.004,58 toneladas durante el período de estudio, lo que significa una disminución de 1.731.001,96 toneladas de dióxido de carbono por año.

6.1.2 Consumo de Combustible

De acuerdo con la tabla N°13 la entrada al Despacho de Generación con Energías Renovables, durante el período de estudio de Mayo- 2014 a Agosto - 2016, ahorra 101.269,90 miles de galones de petróleo diésel; 40.605,76 millones de pies cúbicos de gas natural, y 229.275,95 miles de kilogramos de carbón. Cuantificando el costo que se incurre en la compra de estos combustibles tenemos un ahorro de US\$ 561.402.720,00 dólares americanos.

6.1.3 Costo de Operación

El costo de operar el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), considerando la entrada al Despacho de Generación con Energías Renovables asciende a US\$ 561.402.720,00, lo cual redunda en un menor costo marginal por barra. Si tomamos en cuenta que la barra de referencia para los costos marginales del SEIN, es la barra Santa Rosa, podemos observar una disminución de los costos marginales promedios por año, para el período de estudio. Ver tabla N° 17.

Tabla N°17: Costo Marginal Promedio Anual

Promedio Anual	Costo Marginal (US\$/MWh)	
	Con RER	Sin RER
Promedio 2014	51,34	83,68
Promedio 2015	55,86	131,28
Promedio 2016	28,91	44,53

Fuente: Elaboración propia



VII. DISCUSIÓN

7.1 Discusión de Resultados

Los resultados obtenidos nos muestran que el Despacho de Generación con Energías Renovables, contribuye a la disminución del impacto ambiental negativo ocasionado por la generación térmica en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional.

Asimismo, el Despacho de Generación con Energías Renovables, contribuye a la disminución de la emisión de dióxido de carbono al medio ambiente ocasionado por la generación térmica en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional; el Despacho de Generación con Energías Renovables, contribuye a la disminución del consumo del combustible fósil ocasionado por la generación térmica en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional; el Despacho de Generación con Energías Renovables, contribuye a la disminución del costo operativo del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional, que a su vez tiene impacto en el costo marginal del sistema.

El presente trabajo se sustenta en los siguientes instrumentos legales, la Ley General del Ambiente N° 28611, la Ley de Evaluación Ambiental para obras y Actividades N° 26821, Ley Orgánica de Aprovechamiento de Recursos Naturales. Estas normas legales nos dan las pautas sobre los niveles de contaminación emitidos a la atmósfera, y son de vital importancia porque entre sus objetivos principales se encuentra evaluar la entrada en operación de nuevos proyectos que tengan viabilidad ambiental, y, que al mismo tiempo no signifique perjudicar los intereses de los inversionistas en materia de generación de electricidad.

La idea es compatibilizar el desarrollo de nuevas inversiones en generación de electricidad, cuidando que no se deteriore el medio



ambiente, y a su vez que las tarifas eléctricas y los costos de operación disminuyan en favor de la sociedad.

7.2 Conclusiones

Realizada la simulación del despacho de carga con y sin la generación con energías renovables, para el período Mayo 2014 - Agosto 2016, en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), se obtuvieron resultados que nos permiten presentar las siguientes conclusiones:

1. Como conclusión general, se determinó que el Despacho de Generación con Energías Renovables, contribuye significativamente a la disminución del impacto ambiental negativo ocasionado por la generación térmica en el SEIN.
2. El Despacho de Generación con Energías Renovables contribuye a la disminución de la emisión del dióxido de carbono (CO_2), contaminante de la atmósfera, en 4.039.004,58 toneladas durante el período de Mayo - 2014 a Agosto - 2016, lo que significa también una disminución de 1.731.001,96 toneladas de dióxido de carbono por año.
3. Con los resultados del despacho de carga hidro-térmico en el SEIN, se concluye que logramos un uso más eficiente de los recursos energéticos existentes en el país. La optimización del recurso energético renovable logra reducir el uso de las energías no renovables como es el combustible fósil (petróleo, gas y carbón) que son la materia prima de las unidades termoeléctricas, en la producción de electricidad.



4. El Despacho de Generación con Energías Renovables contribuye, durante el período de estudio, a la disminución del combustible fósil, en el presente caso, gas en el orden de 40.605,76 millones de pies cúbicos, petróleo diésel en el orden de 101.269,90 miles de galones, y 229.275,95 miles de kilogramos de carbón, lo cual redundará en un ahorro de combustible energético no renovable.
5. El Despacho de Generación con Energías Renovables contribuye, durante el período de estudio, a la disminución del costo de operación de las centrales hidráulicas y térmicas del SEIN, en US\$ 561,43 millones de dólares, que equivale a un ahorro anual de 240,61 millones de dólares. Este ahorro significa que el país ahorra US\$ 561,43 millones de dólares para satisfacer la demanda de energía eléctrica durante el período de estudio.
6. El Despacho de Generación con Energías Renovables contribuye directamente, durante el período de estudio, a la disminución de los costos marginales del SEIN, con las cuales se fijan las tarifas eléctricas del Servicio Público de Electricidad. El ahorro en la tarifa para el año 2014 es de 0,386%, para el año 2015 de 57,45% y para el año 2016 de 35,07%.
7. Finalmente, la manera más eficiente de generación de energía termoeléctrica en el Perú, es a través de las centrales a gas de ciclo combinado, que es una forma barata de generación de electricidad y además menos costosa en términos de contaminación ambiental.

7.3 Recomendaciones

1. Proponer políticas gubernamentales para propiciar la inversión en generación con energías renovables, que permite disminuir la emisión del dióxido de carbono (CO₂) al medio ambiente ocasionado



por la generación térmica en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional.

2. Proponer políticas gubernamentales para propiciar la inversión en generación con energías renovables que permite ahorrar los combustibles fósiles que son recursos energéticos no renovables (petróleo diésel, gas etc) y a su vez disminuir las emisiones gaseosas negativas en el medio ambiente.
3. Proponer políticas gubernamentales que propicien la inversión en generación eléctrica con recursos energéticos renovables (RER), con la finalidad de desplazar la generación térmica en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional, y por lo tanto contribuir a la disminución de los costos operativos, que tienen impacto directo en las tarifas de energía eléctrica a los consumidores finales.
4. Las centrales hidroeléctricas para generación de electricidad que utilizan recursos energéticos renovables, pueden gestionar la obtención de los Bonos de Carbono que es un mecanismo internacional de descontaminación para reducir las emisiones contaminantes al medio ambiente, propuesto en el Protocolo de Kyoto (1997), mediante el cual las empresas que emiten más dióxido de carbono que el permitido pagan a las empresas que no emiten o disminuyen la emisión.
5. Proponer que los estudios de despacho de carga para satisfacer la energía eléctrica de SEIN, se hagan tomando en cuenta las restricciones medioambientales como son las emisiones gaseosas de efecto invernadero.

6. Realizar muestreos preliminares en la salud de los trabajadores de las centrales de generación termoeléctrica que utilizan combustible fósil para generar electricidad, con la finalidad de tener una idea de cómo se afecta el medio ambiente con la emisión de los gases contaminantes.



VIII. REFERENCIALES

1. SOHRAB ASGARPOOR, Scott Benson. "Production Costing Strategy for Optimal SO₂ Compliance using Monte Carlo Simulation". Electric Power Systems Research, 37 (1996), pp. 159-164.
2. SPENS, William Y., LEE, Fred N. "Interactive Search Approach to Emission Constrained Dispatch". IEE Transactions on Power Systems, Vol. 12, N°2, pp.811-817, May 1997.
3. D. SRIMOVASAN, A. Tettamanzi. "Compliance Options in View of the Clean Air Act Amendments". IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 12, N° 1, pp. 336-341, February 1997.
4. LAMONT, J.W. y E. V. Obessis. "Emission Dispatch Models and Algorithms for the 1990's". IEE Transactions on Power Systems, Vol. 10, n° 2, pp. 941-945, May 1995.
5. SEPÚLVEDA, L., H. Rudnick Obessis. "Impacto de Costos Ambientales en el Despacho del Sistema Inteconectado Central". Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile. Dic 2000.
6. Climate Leaders GHG Inventory Protocol. "Direct Emissions from Stationary Combustion Sources-Guidance". US. Environmental Protection Agency. Mayo 2008
7. S. REBENNACK, M. F. Pereira, P. M. Pardalos. "Stochastic Hydro-Thermal Scheduling Under CO₂ Emissions Constraints". IEE Transactions on Power Systems, 2011.



8. S. REBENNACK, N. Iliadis, M. Pereira, P. Pardalos. "Electricity and CO₂ Emissions System Price Modelign". IEE Power Tech, 2009.
9. M. BELNES, A. Haugstad, B. Mo, P. Markussen. "Quota modeling in hydrothermal systems" Proc. IEEE Power Tech., 2003.
10. IOZZI, Louis A. The Environmental Issues Test (EIT): a new assesment instrument for environmental education. In C. Davis and A. Sacks Eds., *Current Issues in Environmental Education IV*. 1978.
11. Arrogo, Gonzalo [2002] Diseño de mercados eléctricos competitivos: aspectos conceptuales. Banco Interamericano de Desarrollo. San José, Costa Rica.
12. Arroyo S., José Manuel [2000] Modelos y algoritmos para la explotación óptima de la generación en sistemas eléctricos centralizados y competitivos mediante algoritmos genéticos y programación lineal entera mixta. Universidad de Castilla-La Mancha. Ciudad Real, España.
13. Camac G., Daniel Javier [1994] Programación dinámica dual determinista en el despacho hidrotérmico. Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile, Chile.
14. Granada Lopez G, Martínez Miranda R., Zldivar Mendez M. [2004] "Análisis del despacho del sistema de generación de El Salvador.



IX. APÉNDICES

Tabla N°18: Generación Total (GWh)

	GENERACIÓN TOTAL (GWh)		
	Sin RER	Con RER	Diferencia
05/2014	3.612,82	3.607,52	5,30
06/2014	3.537,84	3.533,02	4,82
07/2014	3.636,56	3.633,01	3,55
08/2014	3.702,58	3.699,95	2,63
09/2014	3.627,38	3.624,47	2,91
10/2014	3.765,80	3.764,50	1,30
11/2014	3.727,04	3.725,36	1,68
12/2014	3.854,17	3.849,74	4,42
01/2015	3.931,14	3.928,38	2,76
02/2015	3.662,18	3.663,84	-1,65
03/2015	4.023,15	4.022,53	0,62
04/2015	3.889,10	3.886,13	2,97
05/2015	4.004,88	4.003,56	1,32
06/2015	3.928,50	3.925,66	2,84
07/2015	4.013,22	4.016,85	-3,63
08/2015	4.097,72	4.107,28	-9,56
09/2015	4.066,68	4.078,23	-11,56
10/2015	4.227,38	4.240,36	-12,98
11/2015	4.189,06	4.197,25	-8,19
12/2015	4.323,04	4.331,61	-8,57
01/2016	4.476,42	4.476,33	0,09
02/2016	4.302,35	4.303,24	-0,89
03/2016	4.593,23	4.592,43	0,80
04/2016	4.451,80	4.454,42	-2,63
05/2016	4.576,42	4.576,44	-0,02
06/2016	4.469,90	4.468,74	1,16
07/2016	4.582,49	4.582,10	0,39
08/2016	4.639,41	4.644,20	-4,79
Total	113.912,28	113.937,19	-24,91



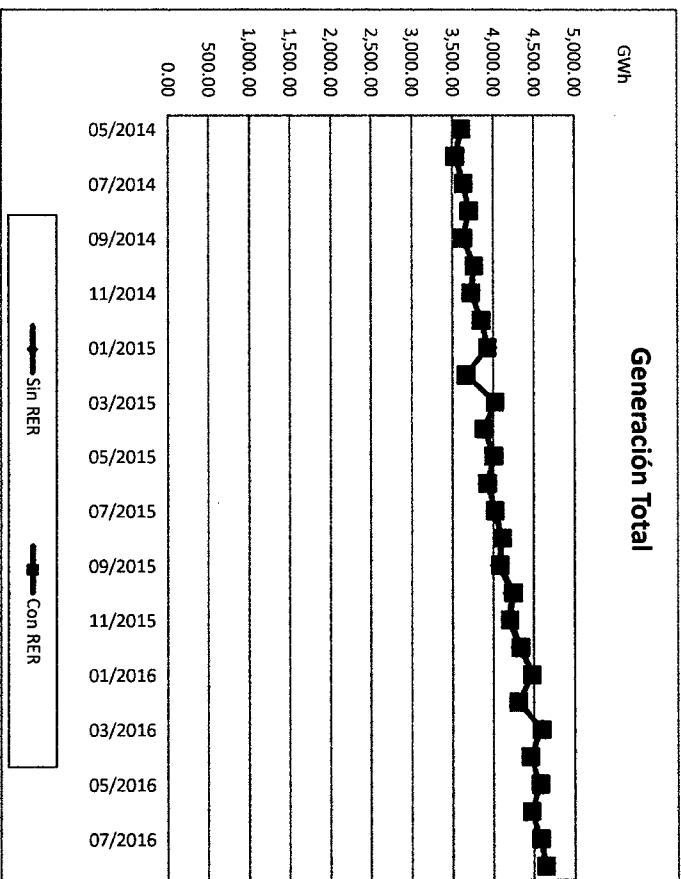


Figura N°10 Generación Total (GWh)

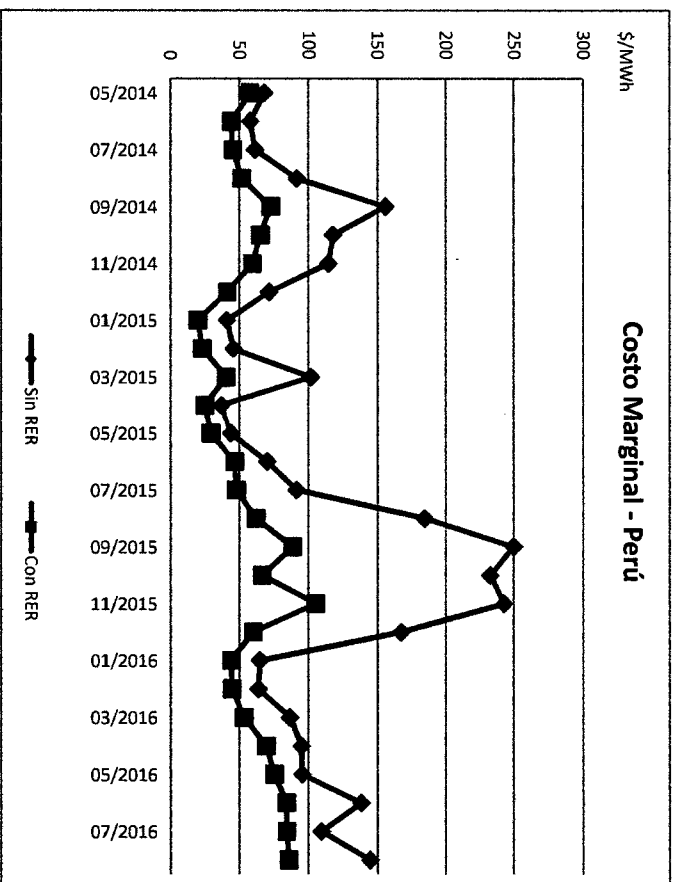


Figura N°11 Costo Marginal Perú (\$/MWh)

Tabla N°19: Costo Marginal Perú (\$/MWh)

	COSTO MARGINAL PERU (\$/MWh)	
	Sin RER	Con RER
05/2014	68,29	58,07
06/2014	58,168	44,33
07/2014	61,679	45,477
08/2014	91,686	52,055
09/2014	156,29	72,676
10/2014	117,99	65,313
11/2014	114,52	59,75
12/2014	71,781	41,238
01/2015	41,128	19,952
02/2015	46,009	23,203
03/2015	101,82	40,39
04/2015	36,973	24,992
05/2015	44,005	29,439
06/2015	70,46	46,467
07/2015	91,518	47,986
08/2015	184,82	62,122
09/2015	249,95	88,558
10/2015	232,65	66,714
11/2015	243,16	105,26
12/2015	167,63	60,136
01/2016	65,117	44,235
02/2016	63,988	44,706
03/2016	86,704	53,455
04/2016	95,057	69,584
05/2016	95,461	75,422
06/2016	138,53	84,184
07/2016	109,56	84,38
08/2016	145,17	85,778



X. ANEXOS

A handwritten signature or mark, possibly a stylized 'D' or 'B', located in the bottom right corner of the page.

ANEXO 1: PROGRAMA DE DESPACHO DE CARGA

A handwritten signature or mark, possibly initials, located in the bottom right corner of the page.

“STHOCASTIC DUAL DYNAMIC PROGRAMMING (SDDP)”

El programa de despacho de carga “Programación Dinámica Dual Estocástica” (en castellano) es un modelo de despacho hidrotérmico estocástico con representación de la red de transmisión para estudios de operación de sistemas eléctricos de largo, mediano y corto plazo.

1.1 Descripción del modelo

El modelo calcula la política de operación de mínimo costo de un sistema hidrotérmico, tomando en consideración los siguientes aspectos:

- Detalles operativos de las centrales hidroeléctricas;
- Detalles operativos o comerciales de las centrales térmicas;
- Considera la incertidumbre hidrológica;
- Considera la red de transmisión en forma detallada;
- Representa la demanda de energía por bloque y por barra a etapas mensuales o semanales;
- Representa el mercado spot y los contratos de energía.

Además, presenta características particulares que facilitan su utilización en el ingreso y salidas de información y en el desarrollo de la programación para los diferentes horizontes de análisis (largo, mediano y corto plazo).



1.2 Características particulares del SDDP

Entre las principales características del programa SDDP, se pueden citar las siguientes:

- A diferencia de los programas de despacho hidrotérmico clásicos que no toman en cuenta la red de transmisión o que la consideran en una forma simplificada, el SDDP considera la red de transmisión completa del sistema eléctrico bajo análisis, teniendo en cuenta, entre otros, el balance eléctrico definido por las leyes de Kirchhoff, los límites en los flujos de potencia de cada circuito, las restricciones de seguridad, las pérdidas y los límites de exportación e importación entre áreas eléctricas.
- El SDDP considera no sólo la representación detallada de la red de transmisión, sino también la de las centrales hidráulicas y su hidrología. En efecto, además de tomar en cuenta, entre otros, el balance hídrico, los límites de almacenamiento y los límites en caudales turbinados, vertidos y filtrados de las centrales hidroeléctricas, el SDDP considera modelos estocásticos de los caudales que representan las características del sistema hidrológico (estacionalidad, dependencia temporal y espacial, sequías severas, etc.) así como el efecto de fenómenos climáticos específicos como El Niño.
- El SDDP permite desarrollar el programa de optimización de la operación de un sistema eléctrico enlazando fácilmente los análisis de largo, mediano y corto plazo; es decir, que los resultados de la optimización de largo plazo sirven para la optimización de mediano plazo y estos, a su vez, para los de corto plazo. De esta manera, se logra optimizar sucesivamente, por ejemplo, en el largo plazo por



años o meses, en el mediano plazo por meses o semanas y en el corto plazo por días u horas.

- El SDDP puede trabajar con sistemas eléctricos de gran tamaño para estudios de largo plazo que involucra varios años. En este sentido, la última versión del SDDP permite realizar estudios de 30 años, con sistemas de hasta 300 centrales hidroeléctricas, 300 centrales termoeléctricas, 600 barras y 900 circuitos. Como ejemplo a citar, es que el SDDP ha sido utilizado para el sistema eléctrico brasileño en un estudio de 10 años, representando 105 centrales hidroeléctricas, 97 centrales termoeléctricas, 3,300 barras y 4,972 circuitos; Asimismo, ha sido utilizado para estudiar la Interconexión de los Sistemas Eléctricos de Colombia, Ecuador y Perú por el Grupo de Trabajo formado por ISA de Colombia, CENACE de Ecuador y COES SINAC de Perú. El conjunto de los tres sistemas fue analizado en un horizonte de 10 años y fue representado por 101 centrales hidroeléctricas, 209 centrales termoeléctricas, 442 barras y 695 circuitos.
- El programa SDDP realiza la optimización de la operación de las centrales hidráulicas y térmicas de un sistema eléctrico, considerando la red de transmisión. A diferencia de los otros métodos de solución, basados únicamente en la Programación Dinámica o en la Programación Lineal, el SDDP utiliza una combinación de ellos adoptando lo mejor de cada uno.

En este sentido, el SDDP considera este tipo de problema como un problema de multietapa y toma en cuenta la incertidumbre hidrológica como en la Programación Dinámica Estocástica; Pero, la Función Esperada de Costo Futuro, que se establece en cada etapa, es aproximada por una función linealizada por partes que es

determinada por la solución Dual del problema de programación lineal de cada etapa. Con ello se evita el elevado número de casos por analizar en cada etapa, que se produce en la Programación Dinámica Estocástica por la combinación de los estados discretos correspondientes al almacenamiento de agua en cada uno de los embalses del sistema.

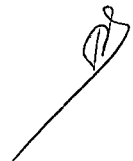
- El SDDP, en su última versión, utiliza para la solución del problema de programación lineal de cada etapa el programa ("solver") Xpress de la firma Dash Optimization Inc.

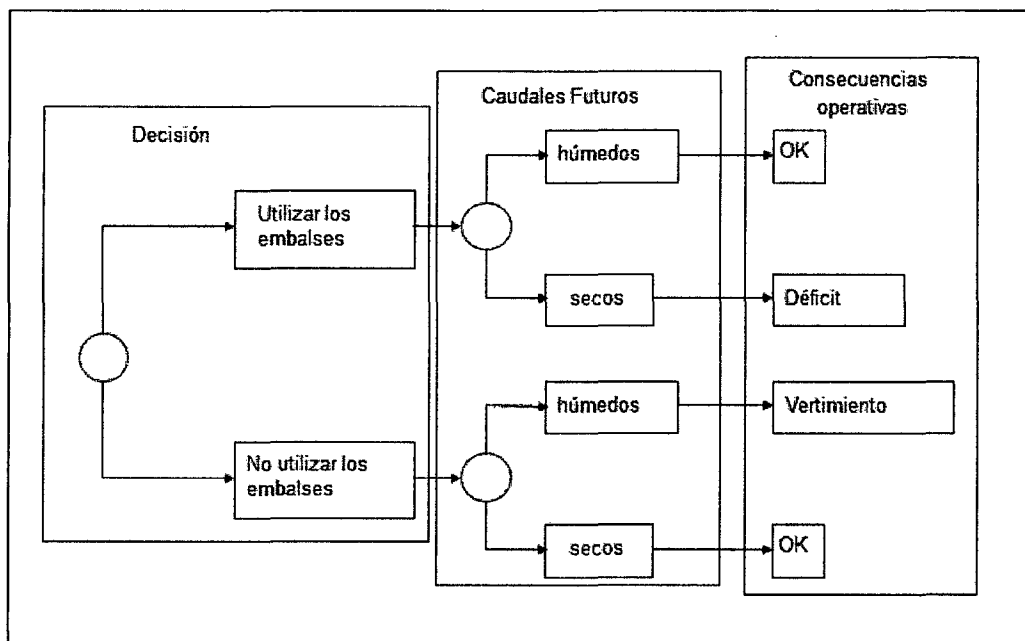
La ventaja de usar un solver moderno, como el Xpress, se aprecia en la velocidad de procesamiento que permite ganancias en la solución de problemas tres veces más rápido, en tiempo de CPU, para la solución de casos como el sistema brasileño y la interconexión Colombia, Ecuador y Perú.

a) Despacho Hidrotérmico Determinístico

Presenta las siguientes características:

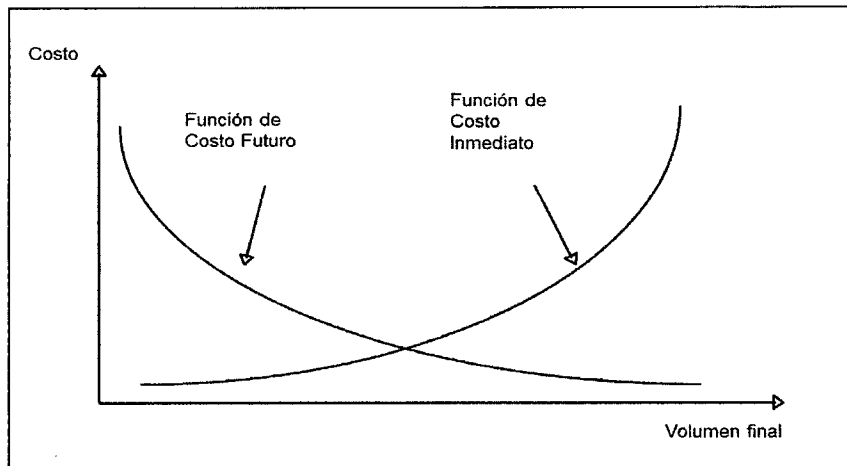
- Acoplado en el tiempo: Una decisión operativa hoy afecta el costo operativo del futuro.
- Costo indirecto: Asociado a la oportunidad de economizar combustible desplazando una unidad de generación térmica hoy o en el futuro.
- Despacho: De una central hidroeléctrica afecta la disponibilidad de agua para las centrales aguas abajo.
- Incertidumbre hidrológica y la dependencia temporal:





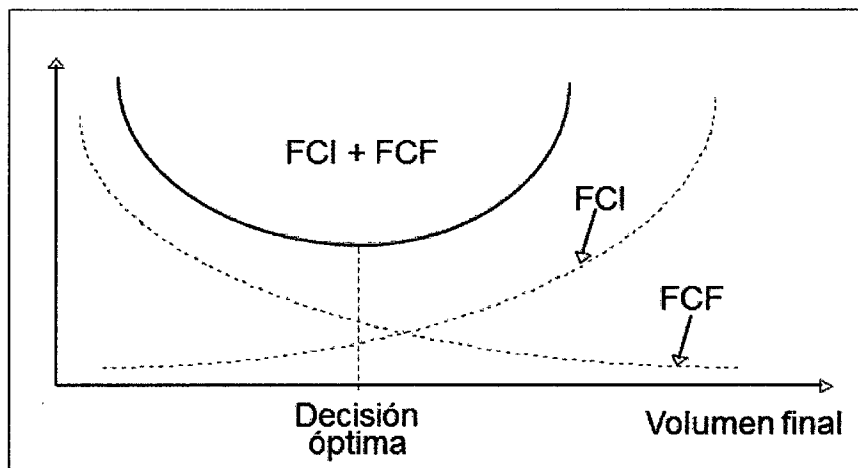
Fuente: Curso SDDP – 2009

- El despacho hidrotérmico óptimo es aquel que minimiza la suma total del costo total = costo inmediato + costo futuro.
- La solución óptima no es agotar toda la generación hidroeléctrica luego en la primera etapa, aunque ella presente un costo operativo igual a cero. Esto en razón de que la central hidroeléctrica puede "transportar el agua (que es energía eléctrica) de una etapa a otra, por lo tanto la generación con agua tiene un costo de oportunidad.
- La solución del problema es un trade-off entre el uso del agua hoy o en el futuro.



Fuente: Curso SDDP – 2009

- La decisión óptima es el almacenamiento que minimiza la suma de la función de costo futuro y la función de costo inmediato.



Fuente: Curso SDDP – 2009

Handwritten signature or mark.

ANEXO 2: MATRIZ DE CONSISTENCIA



**“DESPACHO DE GENERACIÓN CON ENERGÍAS RENOVABLES Y SU IMPACTO EN EL MEDIO AMBIENTE
CASO PERUANO”**

	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	MÉTODOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN
<p>GENERAL</p> <p>¿El despacho de generación con energías renovables contribuirá a disminuir el impacto ambiental negativo ocasionado por la generación térmica en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional?</p> <p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</p> <ol style="list-style-type: none"> ¿En qué medida el despacho de generación con energías renovables, contribuirá a disminuir la emisión de dióxido de carbono al medio ambiente, ocasionado por la generación térmica en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional? ¿En qué medida el despacho de generación con energías renovables contribuirá a disminuir el consumo de combustible fósil (petróleo, gas, carbón), ocasionado por la generación térmica en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional? ¿En qué medida el despacho de generación con energías renovables contribuirá a disminuir el costo operativo en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional? 	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Determinar el nivel de contribución de la operación de las centrales que utilizan recursos energéticos renovables, en la disminución del impacto ambiental negativo ocasionado por la generación térmica en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional.</p> <p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <ol style="list-style-type: none"> Identificar el nivel de contribución de la operación de las centrales que utilizan recursos energéticos renovables, en la disminución de la emisión del dióxido de carbono al medio ambiente ocasionado por la generación térmica en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional. Identificar el nivel de contribución de la operación de las centrales que utilizan recursos energéticos renovables, en la disminución del consumo de combustible fósil (petróleo, gas, carbón), ocasionado por la generación térmica en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional. Identificar el nivel de contribución de la operación de las centrales que utilizan recursos energéticos renovables, en la disminución del costo operativo en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional. 	<p>HIPÓTESIS PRINCIPAL</p> <p>El despacho de generación con energías renovables, contribuirá a la disminución del impacto ambiental negativo ocasionado por la generación térmica en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional.</p> <p>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</p> <ol style="list-style-type: none"> El despacho de generación con energías renovables, contribuirá a disminuir la emisión del dióxido de carbono al medio ambiente ocasionado por la generación térmica en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional. El despacho de generación con energías renovables contribuirá a disminuir el consumo de combustible fósil (petróleo, gas, carbón), ocasionado por la generación térmica en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional. El despacho de generación con energías renovables, contribuirá a disminuir el costo operativo en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional. 	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE</p> <p>Despacho de generación con energías renovables en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional.</p> <p><u>Indicadores:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> Emisión de dióxido de carbono al medio ambiente. Consumo de combustible (petróleo, gas, carbón). Costo operativo. <p>VARIABLE DEPENDIENTE</p> <p>Disminución del impacto ambiental negativo ocasionado por la generación térmica en el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional.</p> <p><u>Indicadores:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> Disminución de la emisión de dióxido de carbono al medio ambiente. Disminución del consumo de petróleo y gas para generación de electricidad. Disminución del costo operativo. 	<p>MÉTODOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> Inductivo Deductivo Analítico <p>TÉCNICAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> Observación Directa. Revisión Documentaria.

