

medio ambiente y desarrollo

Análisis de la vulnerabilidad del sector hidroeléctrico frente a escenarios futuros de cambio climático en Chile



NACIONES UNIDAS

CEPAL



UNION EUROPEA



medio ambiente

A

nálisis de la vulnerabilidad del sector hidroeléctrico frente a escenarios futuros de cambio climático en Chile

Santiago, diciembre de 2012



Este documento fue preparado por James McPhee con el apoyo de Eduardo Rubio, Rodrigo Meza y Álvaro Ayala y forma parte de los estudios sectoriales realizados en el marco de las actividades del proyecto CEPAL/Estudio regional de la economía del cambio climático (ERECC) en América Latina y el Caribe, en particular, del estudio de la economía del cambio climático en Chile, coordinado por Sebastián Vicuña a nivel nacional y en la CEPAL por Joseluis Samaniego, Carlos de Miguel, Luis Miguel Galindo y Karina Martínez. El Estudio regional de la economía del cambio climático (ERECC) contó con el apoyo y la colaboración financiera de diversas entidades, como los Gobiernos del Reino Unido, de España, de Dinamarca y de Alemania y la Unión Europea y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), así como por el Programa de la Cuenta del Desarrollo de las Naciones Unidas.

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad del autor y pueden no coincidir con las de la organización.

Publicación de las Naciones Unidas

ISSN: 1564-4189

LC/L.3599

Copyright © Naciones Unidas, diciembre de 2012. Todos los derechos reservados

Impreso en Naciones Unidas, Santiago de Chile

Los Estados miembros y sus instituciones gubernamentales pueden reproducir esta obra sin autorización previa. Solo se les solicita que mencionen la fuente e informen a las Naciones Unidas de tal reproducción.

Índice

I. Introducción	7
A. Antecedentes generales	7
B. Productos entregables.....	8
II. Análisis de generación histórica y relación con variables hidrológicas	9
A. Sistema Maule Alto	9
1. Centrales hidroeléctricas	9
2. Variables hidrológicas de interés.....	11
3. Generación histórica.....	11
4. Relación entre caudal afluente y energía generada.....	14
B. Sistema Laja	15
1. Centrales hidroeléctricas	15
2. Variables hidrológicas de interés.....	16
3. Generación histórica.....	17
4. Relación entre caudal afluente y energía generada.....	19
III. Resultados	25
A. Sistema Maule Alto	26
1. Resultados en escenario A2.....	26
2. Resultados en escenario B2.....	29
3. Comparación de escenarios A2 y B2.....	32
B. Sistema Laja	32
1. Resultados en escenario A2.....	32
2. Resultados en escenario B2.....	37
3. Comparación de escenarios A2 y B2.....	41
C. Extrapolación a otras cuencas con desarrollo hidroeléctrico....	42

IV. Conclusiones	45
Bibliografía	47
Anexos	49
Anexo 1 SERIE DE ENERGÍAS MENSUALES GENERADAS. SISTEMA MAULE-COLBÚN. ESCENARIO A2.....	50
Anexo 2 SERIE DE ENERGÍAS MENSUALES GENERADAS. SISTEMA MAULE-COLBÚN. ESCENARIO B2.....	55
Índice de cuadros	
CUADRO 1 PRINCIPALES CENTRALES HIDROELÉCTRICAS PRESENTES EN EL SISTEMA.....	10
CUADRO 2 PUNTO DE SALIDA DE LAS CUENCAS DE CABECERA DEL SISTEMA MAULE ALTO.....	11
CUADRO 3 CENTRALES HIDROELÉCTRICAS DEL SISTEMA LAJA.....	16
CUADRO 4 CENTRALES HIDROELÉCTRICAS DEL SISTEMA LAJA.....	17
CUADRO 5 RESUMEN DE VARIABLES CONSIDERADAS PARA LA MODELACIÓN DE LA ENERGÍA TOTAL ANUAL GENERADA POR LAS CENTRALES DE PASADA DE LA CUENCA INTERMEDIA.....	17
CUADRO 6 RESUMEN DE PARÁMETROS DEL MODELO POTENCIAL PARA LA GENERACIÓN DE LA CENTRAL EL TORO.....	19
CUADRO 7 RESULTADOS DEL MODELO POTENCIAL PARA LA GENERACIÓN DE..... LA CENTRALEL TORO.....	20
CUADRO 8 PARÁMETROS DEL MODELO LINEAL PARA LA GENERACIÓN EN..... LA CUENCA INTERMEDIA.....	22
CUADRO 9 RESULTADOS DEL MODELO POTENCIAL PARA LA GENERACIÓN EN LA CUENCA INTERMEDIA.....	22
CUADRO 10 PERÍODOS DEFINIDOS PARA FINES DE COMPARACIÓN.....	25
CUADRO 11 COMPARACIÓN DE ENERGÍAS ANUALES OBSERVADAS Y SIMULADAS EN PERÍODO HISTÓRICO. SISTEMA MAULE ALTO-COLBÚN.....	26
CUADRO 12 COMPARACIÓN DE ENERGÍA ANUAL GENERADA EN PERÍODOS FUTUROS EN ESCENARIO A2. SISTEMA MAULE ALTO-COLBÚN.....	26
CUADRO 13 VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA ENERGÍA GENERADA POR EL SISTEMA MAULE ALTO COLBÚN EN ESCENARIO A2.....	28
CUADRO 14 COEFICIENTES DE DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA ENERGÍA GENERADA POR EL SISTEMA MAULE ALTO-COLBÚN EN ESCENARIO A2.....	28
CUADRO 15 COMPARACIÓN DE ENERGÍAS ANUALES OBSERVADAS Y SIMULADAS EN PERÍODO HISTÓRICO. SISTEMA MAULE ALTO-COLBÚN.....	29
CUADRO 16 COMPARACIÓN DE ENERGÍA ANUAL GENERADA EN PERÍODOS FUTUROS. SISTEMA MAULE ALTO-COLBÚN EN ESCENARIO B2.....	29
CUADRO 17 VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA ENERGÍA GENERADA POR EL SISTEMA MAULE ALTO-COLBÚN EN ESCENARIO B2.....	31
CUADRO 18 COEFICIENTES DE DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA ENERGÍA GENERADA POR EL SISTEMA MAULE ALTO-COLBÚN EN ESCENARIO B2.....	31
CUADRO 19 COMPARACIÓN DE ESCENARIOS A2 Y B2.....	32
CUADRO 20 COMPARACIÓN DE ENERGÍAS ANUALES OBSERVADAS Y SIMULADAS EN PERÍODO HISTÓRICO. CENTRAL EL TORO.....	33
CUADRO 21 COMPARACIÓN DE ENERGÍA ANUAL GENERADA EN PERÍODOS FUTUROS. CENTRAL EL TORO EN ESCENARIO A2.....	33
CUADRO 22 COMPARACIÓN DE ENERGÍAS ANUALES OBSERVADAS Y SIMULADAS EN PERÍODO HISTÓRICO. HOYA INTERMEDIA.....	34
CUADRO 23 COMPARACIÓN DE ENERGÍA ANUAL EN PERÍODOS FUTUROS EN ESCENARIO A2 HOYA INTERMEDIA.....	34
CUADRO 24 COMPARACIÓN DE ENERGÍAS ANUALES OBSERVADAS Y SIMULADAS EN PERÍODO HISTÓRICO. SISTEMA LAJA.....	36

CUADRO 25	COMPARACIÓN DE ENERGÍA ANUAL EN PERÍODOS FUTUROS. SISTEMA LAJA EN ESCENARIO A2.....	36
CUADRO 26	COMPARACIÓN DE ENERGÍAS ANUALES OBSERVADAS Y SIMULADAS EN PERÍODO HISTÓRICO. CENTRAL EL TORO	37
CUADRO 27	COMPARACIÓN DE ENERGÍA ANUAL GENERADA EN PERÍODOS FUTUROS. CENTRAL EL TORO EN ESCENARIO B2.....	38
CUADRO 28	COMPARACIÓN DE ENERGÍAS ANUALES OBSERVADAS Y SIMULADAS EN PERÍODO HISTÓRICO. HOYA INTERMEDIA	39
CUADRO 29	COMPARACIÓN DE ENERGÍA ANUAL GENERADA EN PERÍODOS FUTUROS. HOYA INTERMEDIA EN ESCENARIO B2	39
CUADRO 30	COMPARACIÓN DE ENERGÍAS ANUALES OBSERVADAS Y SIMULADAS EN PERÍODO HISTÓRICO. SISTEMA LAJA.....	40
CUADRO 31	COMPARACIÓN DE ENERGÍA ANUAL GENERADA EN PERÍODOS FUTUROS. SISTEMA LAJA EN ESCENARIO B2.....	40
CUADRO 32	COMPARACIÓN DE ESCENARIOS A2 Y B2	41
CUADRO 33	CENTRALES HIDROELÉCTRICAS SIC INCLUIDAS EN EXTENSIÓN ESTUDIO DE IMPACTO CC	42
CUADRO 34	PROYECCIONES DE VARIACIÓN DEL POTENCIAL HIDROELÉCTRICO DEL SIC – ESCENARIO A2.....	44

Índice de gráficos

GRÁFICO 1	SERIES DE TIEMPO CAUDALES MEDIOS ANUALES EN CUENCAS DE CABECERA SISTEMA MAULE ALTO	12
GRÁFICO 2	RELACIÓN ENTRE ENERGÍA BRUTA GENERADA EN LA ZONA DE ESTUDIO Y LA ENERGÍA BRUTA AFLUENTE AL SIC-H	12
GRÁFICO 3	SERIE DE TIEMPO DE ENERGÍA APORTADA AL SISTEMA INTERCONECTADO CENTRAL (SIC)	13
GRÁFICO 4	CURVA DE DURACIÓN DE ENERGÍA AFLUENTE AL SIC Y CAUDAL AFLUENTE AL SISTEMA MAULE ALTO	13
GRÁFICO 5	RELACIÓN ENTRE EL CAUDAL MEDIO MENSUAL PROMEDIO HISTÓRICO AFLUENTE AL SISTEMA MAULE ALTO Y LA ENERGÍA MEDIA MENSUAL PROMEDIO HISTÓRICA PRODUCIDA EN LA ZONA	14
GRÁFICO 6	RELACIÓN ENTRE EL CAUDAL MEDIO ANUAL EFLUENTE DEL SISTEMA MAULE ALTO Y LA ENERGÍA TOTAL ANUAL PRODUCIDA EN LA ZONA	14
GRÁFICO 7	RELACIÓN ENTRE EL CAUDAL MEDIO MENSUAL AFLUENTE AL SISTEMA MAULE ALTO Y LA ENERGÍA MEDIA MENSUAL PRODUCIDA EN LA ZONA, PARA EL PERÍODO CONCURRENTES 1993-2007.....	15
GRÁFICO 8	SERIE DE ENERGÍA TOTAL AFLUENTE AL SIC Y GENERACIÓN CENTRAL EL TORO	18
GRÁFICO 9	CAUDAL MEDIO ANUAL AFLUENTE LAGUNA LAJA Y HOYA INTERMEDIA RÍO LAJA ENTRE LAGUNA LAJA Y TUCAPEL	18
GRÁFICO 10	RESULTADOS DE LA MODELACIÓN PARA LA GENERACIÓN DE LA CENTRAL EL TORO	20
GRÁFICO 11	CORRELACIÓN OBTENIDA PARA EL PERÍODO DE CALIBRACIÓN	21
GRÁFICO 12	CORRELACIÓN ENTRE LA ENERGÍA TOTAL ANUAL GENERADA POR LAS CENTRALES ANTUCO Y RUCÚE.....	21
GRÁFICO 13	RESULTADOS DE LA MODELACIÓN PARA LA GENERACIÓN DE LAS CENTRALES EN LA CUENCA INTERMEDIA	23
GRÁFICO 14	CORRELACIÓN OBTENIDA PARA EL PERÍODO DE CALIBRACIÓN	23
GRÁFICO 15	CURVAS DE DURACIÓN DE ENERGÍA ANUAL.....	27
GRÁFICO 16	SERIE DE ENERGÍA ANUAL GENERADA EN ESCENARIO A2.....	27
GRÁFICO 17	CURVA DE VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA ENERGÍA GENERADA POR EL SISTEMA MAULE ALTO –COLBÚN EN ESCENARIO A2	28

GRÁFICO 18	CURVAS DE DURACIÓN DE ENERGÍA ANUAL. SISTEMA MAULE ALTO-COLBÚN EN ESCENARIO B2.....	30
GRÁFICO 19	SERIE DE ENERGÍA ANUAL GENERADA. SISTEMA MAULE ALTO-COLBÚN EN ESCENARIO B2.....	30
GRÁFICO 20	CURVA DE VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA ENERGÍA GENERADA POR EL SISTEMA MAULE ALTO-COLBÚN EN ESCENARIO B2.....	31
GRÁFICO 21	CURVAS DE DURACIÓN DE ENERGÍA ANUAL EN ESCENARIO A2. CENTRAL EL TORO.....	33
GRÁFICO 22	SERIE DE ENERGÍA ANUAL GENERADA EN ESCENARIO A2. CENTRAL EL TORO.....	34
GRÁFICO 23	CURVAS DE DURACIÓN DE ENERGÍA ANUAL EN ESCENARIO A2. HOYA INTERMEDIA.....	35
GRÁFICO 24	SERIE DE ENERGÍA ANUAL GENERADA EN ESCENARIO A2. HOYA INTERMEDIA.....	35
GRÁFICO 25	CURVAS DE DURACIÓN DE ENERGÍA ANUAL EN ESCENARIO A2. SISTEMA LAJA.....	36
GRÁFICO 26	SERIE DE ENERGÍA ANUAL GENERADA EN ESCENARIO A2. SISTEMA LAJA.....	37
GRÁFICO 27	CURVAS DE DURACIÓN DE ENERGÍA ANUAL EN ESCENARIO B2. CENTRAL EL TORO.....	38
GRÁFICO 28	SERIE DE ENERGÍA ANUAL GENERADA EN ESCENARIO B2. CENTRAL EL TORO.....	38
GRÁFICO 29	CURVAS DE DURACIÓN DE ENERGÍA ANUAL EN ESCENARIO B2. HOYA INTERMEDIA.....	39
GRÁFICO 30	SERIE DE ENERGÍA ANUAL GENERADA EN ESCENARIO B2. HOYA INTERMEDIA.....	40
GRÁFICO 31	CURVAS DE DURACIÓN DE ENERGÍA ANUAL EN ESCENARIO B2. SISTEMA LAJA.....	41
GRÁFICO 32	SERIE DE ENERGÍA ANUAL GENERADA EN ESCENARIO B2. SISTEMA LAJA.....	41

Índice de diagramas

DIAGRAMA 1	ESQUEMA TOPOLÓGICO SISTEMA MAULE ALTO.....	10
DIAGRAMA 2	ESQUEMA TOPOLÓGICO DEL SISTEMA LAJA.....	16

Introducción

A. Antecedentes generales

El presente informe corresponde a una asesoría encargada por la CEPAL al autor, con objeto de evaluar el potencial impacto del cambio climático global sobre el sector hidroeléctrico chileno y con ello contribuir a la elaboración del estudio “La economía del cambio climático en Chile” (CEPAL, 2009 y 2012).

La generación de energía hidroeléctrica es, entre otros factores, función de los caudales disponibles afluentes a las obras de captación de cada central. Sin embargo, la capacidad de almacenamiento asociada a cada sistema induce complejidades adicionales en el análisis. En efecto, la capacidad de regulación varía desde nula en el caso de centrales de pasada, mensual o estacional en el caso de centrales al pie de embalses pequeños y medianos, e interanual en el caso de centrales al pie de embalses de gran magnitud. Los sub-sistemas hidroeléctricos, gracias a sus menores costos marginales, aportan energía de manera preferente al Sistema Interconectado Central (SIC), pero en una escala de tiempo mensual, la energía despachada de cada unidad es función del potencial de generación esperado en todos los subsistemas del SIC. Dicho potencial de generación, para el sistema completo, depende de la disponibilidad de recursos hídricos, y de la configuración presente y futura (potencia instalada, combustible) de las fuentes térmicas del sistema. Por lo tanto, la simulación acoplada de todas las unidades del SIC en escenarios futuros no sólo depende de las proyecciones climáticas, sino de las proyecciones de demanda y planes de expansión de capacidad instalada de fuentes hidroeléctricas y térmicas.

El análisis detallado de todos los factores indicados arriba escapa a los alcances de este estudio. Por consiguiente, se ha adoptado una metodología que relaciona, estadísticamente, la generación histórica de los subsistemas en estudio con variables hidrológicas naturales. De este modo, para condiciones hidrológicas futuras es posible inferir cambios relativos en el potencial de generación de cada sistema, bajo el supuesto de que la participación porcentual de las fuentes hidroeléctricas estudiadas en el SIC se mantiene inalterada en escenarios futuros.

Por supuesto, este es un supuesto fuerte y que condiciona la representatividad de los resultados; sin embargo, en virtud de los alcances y recursos disponibles para realizar este estudio, el autor considera que los resultados sirven como un buen punto de partida para evaluar los impactos de escenarios de cambio climático sobre el sector energético chileno como un todo.

A partir del análisis histórico de la generación de los sistemas Maule Alto, Laja y Bio-Bío se proponen relaciones estadísticas entre la energía generada a nivel mensual y anual, y variables hidrológicas (caudales) de interés. Finalmente, utilizando las series hidrológicas obtenidas a partir de las variables meteorológicas que entrega el modelo de circulación global HadCM3 (Hadley Centre Coupled Model, versión 3), se estiman los potenciales de generación para el período 2010-2100. Los sistemas hídricos indicados más arriba se estudian en detalle por representar el grueso de la potencial hidroeléctrica actualmente instalado en Chile. No obstante lo anterior, al final de este informe se presenta un análisis preliminar de otras cuencas con obras de generación hidroeléctrica, con el fin de contar con una visión más amplia de los impactos posibles del cambio climático global sobre el sector hidroeléctrico nacional.

B. Productos entregables

Como resultado de este estudio se entregan proyecciones de energía mensual y anual generada, para los sistemas eléctricos Maule Alto y Laja. Los resultados se expresan como energía total generada en cada sistema, no individualizando unidades específicas. El período total analizado (1960-2100) se subdivide en cuatro subperíodos:

- Línea base: 1961-2000
- Futuro cercano: 2010-2040
- Futuro medio: 2040-2070
- Futuro: 2070-2100

Las variaciones futuras proyectadas para la energía producida en cada sistema se cuantifican sobre la base de las siguientes métricas, con respecto a la línea base:

- Energía total anual promedio
- Variabilidad (desviación estándar)
- Estacionalidad (semestral invierno/verano)
- Distribución de frecuencias (curva de duración) e indicadores de stress

Adicionalmente, a partir de lo aprendido en cuanto a los sistemas Maule y Laja, se extrapolan los resultados obtenidos a otros sistemas hidroeléctricos de importancia en el país, con el fin de contar con una estimación del impacto del cambio climático sobre el sector hidroeléctrico a nivel nacional. Los sistemas adicionales considerados corresponden a aquellos existentes en las cuencas de Aconcagua, Maipo, Cachapoal, Bio-Bío y Otras-Sur. Estas últimas agrupan algunas centrales existentes en las cuencas de los ríos Bueno y Valdivia.

Los resultados muestran una disminución paulatina del potencial de generación de los sistemas empezando con valores de 3 al 7 % en el período 2010-2040 hasta llegar a aproximadamente de 10 al 17 % en la ventana 2070-2100. La distribución estacional del potencial de generación, por otro lado, parece no tener cambios significativos, al menos en el sistema Maule Alto-Colbún. En el caso del sistema Laja este último indicador no fue calculado, por cuanto la elevada capacidad de regulación de la laguna Laja hace que los caudales mensuales generados dependan en mayor medida de decisiones de operación global del sistema, y menos de condicionantes hidrológicas de corto plazo (caudal medio mensual).

II. Análisis de generación histórica y relación con variables hidrológicas

A. Sistema Maule Alto

Cuenta actualmente con cinco centrales de pasada y una central con control de embalse (Pehuenche). Adicionalmente, una parte de las aguas que pasan por Maule en Armerillo, desembocan en el Embalse Colbún y son generadas en el Sistema Colbún-Machicura, Chiburgo y San Ignacio. Para formalizar un modelo conceptual adecuado es necesario definir los elementos que conforman el Sistema.

1. Centrales hidroeléctricas

El cuadro 1 muestra información relevante respecto a las centrales hidroeléctricas existentes en el Sistema Maule Alto.

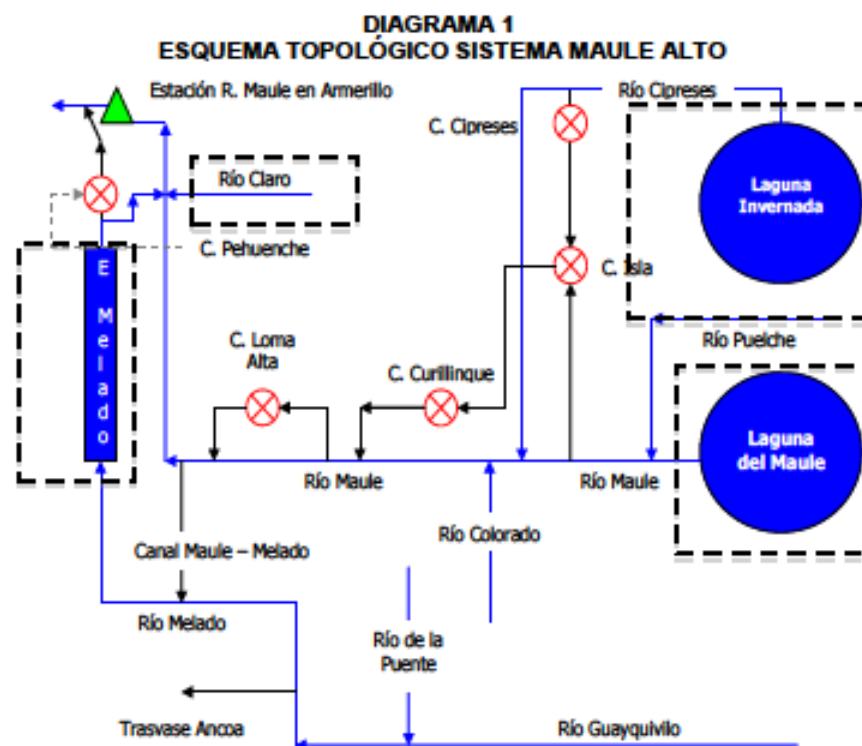
CUADRO 1
PRINCIPALES CENTRALES HIDROELÉCTRICAS PRESENTES EN EL SISTEMA

Central	Latitud [°]	Longitud [°]	Cliente	Año Término	Tipo	Pot. [MW]	EMAG [GWh]	A.P. [m]	Q.C. [m ³ /s]	A.C [m]
Isla	-70 835	-35,81	Endesa	1963	Pasada	68	500	-	84	92
Cipreses	-70 811	-35 788	Endesa	1955	Embalse	106	528	28	36	359
Curillinque	-70 937	-35 807	Pehuenche S.A.	1993	Pasada	89	590		84	112
Pehuenche	-71 087	-35 758	Pehuenche S.A.	1991	Embalse	566	2 500	90	300	188
Loma Alta	-70 998	-35 796	Pehuenche S.A.	1997	Pasada	40	255		84	50
Colbún	-71 373	-35 686	Colbún S.A.	1985	Embalse	474	2 600	118	280	168
Machicura	-71 398	-35 732	Colbún S.A.	1985	Embalse	95	370	32	280	37
San Ignacio	-71 540	-35 615	Colbún S.A.	1996	Pasada	37	190	-	194	21

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Pot = Potencia; EMAG = Energía media anual generable; A.P. = Altura de presa; Q.C. = Caudal de diseño de la central; A.C. = Altura de caída.

Todas las centrales del sistema se encuentran conectadas y reutilizan los caudales de generación sucesivamente, como se indica en el diagrama 1



Fuente: Elaboración propia.

2. Variables hidrológicas de interés

Como se desprende del diagrama 1, sólo los puntos de control de caudales correspondientes a las cabeceras de las cuencas respectivas pueden considerarse como representativos de las condiciones hidrológicas naturales del sistema. En el caso de los puntos interiores, los regímenes están fuertemente alterados por la operación de bocatomas para centrales hidroeléctricas y otros trasvases de cuencas. Por consiguiente, se busca relacionar la energía producida en el sistema con los caudales observados en las cuencas que se indican en el cuadro 2. En el caso de los caudales afluentes al embalse Melado, si bien éstos se encuentran alterados por la operación de la Bocatoma Maule-Melado y el Trasvase Ancoa, existen estadísticas históricas de la operación de ambas obras, de manera que se hace posible reconstruir el régimen natural de la cuenca.

CUADRO 2
PUNTO DE SALIDA DE LAS CUENCAS DE CABECERA DEL
SISTEMA MAULE ALTO

Subcuenca	Latitud S	Longitud W
Afluente Embalse Melado (EM)	35° 53' 13"	71° 1' 4"
Afluente a Laguna La Invernada (LI)	35° 42' 12"	70° 43' 59"
Afluente a Laguna del Maule (LM)	36° 0' 51"	70° 33' 27"
Estero Las Garzas en junta con Maule (LG)	35° 45' 35"	71° 0' 8"
Río Claro en San Carlos (CC)	35° 42' 28"	71° 4' 27"

Fuente: Elaboración propia.

El gráfico 1 muestra la serie de tiempo de caudales medios anuales (m^3/s) en cada una de las cuencas de interés.

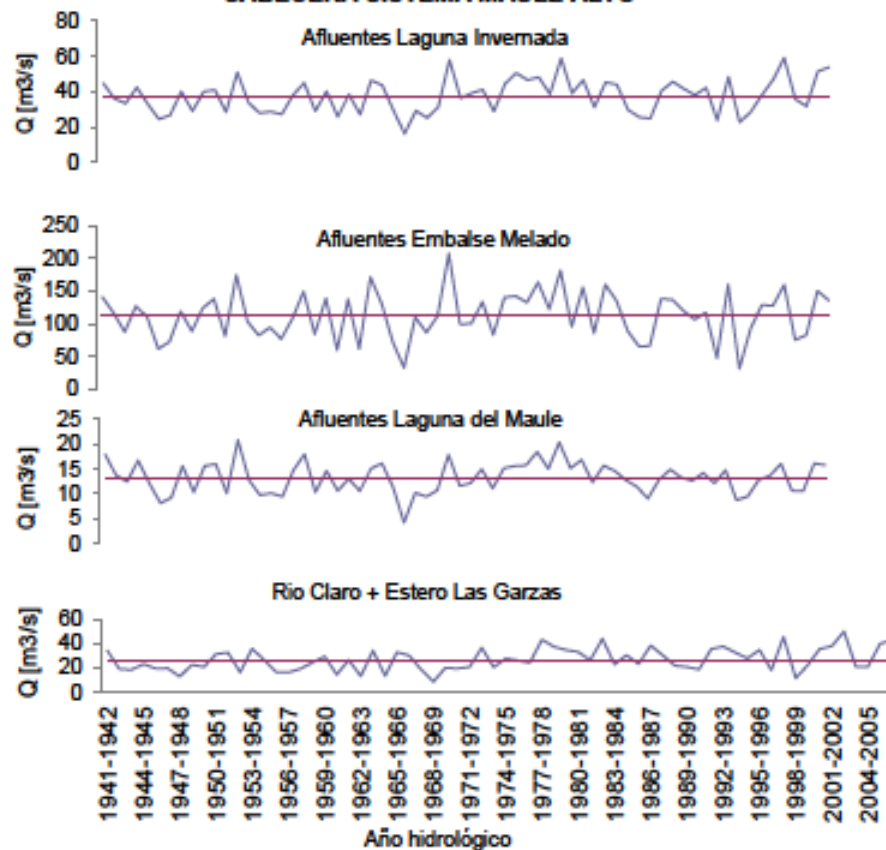
Del gráfico 1 se desprende que entre las décadas de 1940 y 1960 los caudales en todas las cuencas estuvieron por debajo del valor promedio, culminando con la gran sequía que afectó la región de Chile central entre 1966 y 1971. Posteriormente se aprecia un periodo relativamente húmedo que comprende las décadas de 1970 y 1980, para finalizar con los últimos 20 años, donde los caudales han oscilado en torno al promedio de los últimos 60 años.

3. Generación histórica

Basados en la información de energía afluente al SIC proveniente de la Comisión Nacional de Energía (CNE, 2009) y la información de generación bruta mensual extraída de los anuarios de estadísticas de operación del CDEC-SIC (2009) se establece una relación entre la generación bruta del Maule Alto y la energía bruta total afluente al Sistema Interconectado Central (SIC), del cual forman parte las centrales ubicadas en la cuenca. Adicionalmente, sumado a la energía generada en el sistema Maule Alto se considera también la producida por el sistema Colbún, que genera principalmente con los aportes del río Maule e incluye las centrales Colbún, Machicura y San Ignacio. Esta decisión se sustenta en la importancia que posee el embalse Colbún en la generación de hidroelectricidad para el SIC.

La energía hidroeléctrica total afluente al SIC se relaciona fuertemente con aquella generada en el sistema Maule. Esto se aprecia claramente en el gráfico 2, que muestra la energía total anual generada en el SIC (barras) y la energía generada en el sistema Maule Alto y Colbún (línea). Este gráfico se presenta para el período 1993 – 2005, que corresponde al intervalo en que se tiene información concurrente para todos los elementos del sistema.

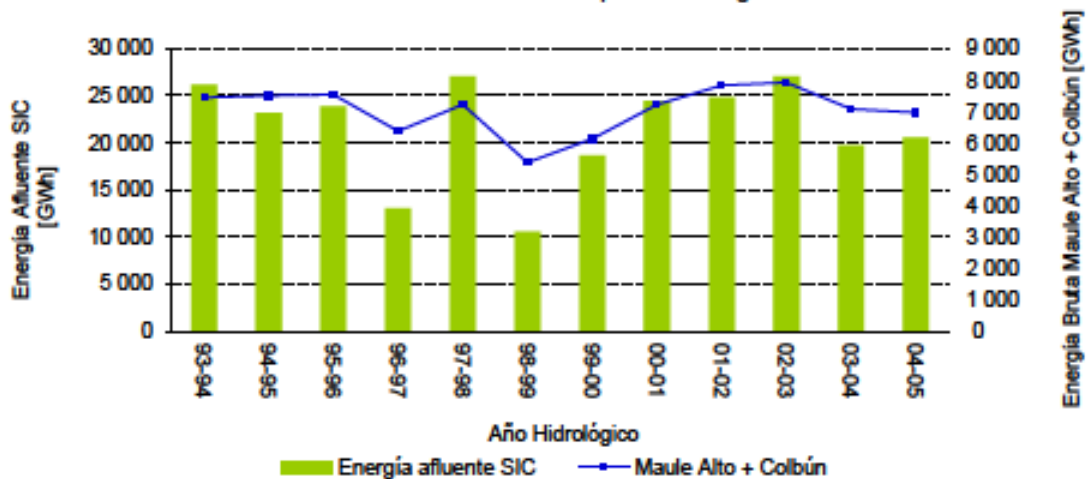
GRÁFICO 1
SERIES DE TIEMPO DE CAUDALES MEDIOS ANUALES EN CUENCAS DE CABECERA SISTEMA MAULE ALTO



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 2
RELACIÓN ENTRE ENERGÍA BRUTA GENERADA EN LA ZONA DE ESTUDIO Y LA ENERGÍA BRUTA AFLUENTE AL SIC-H

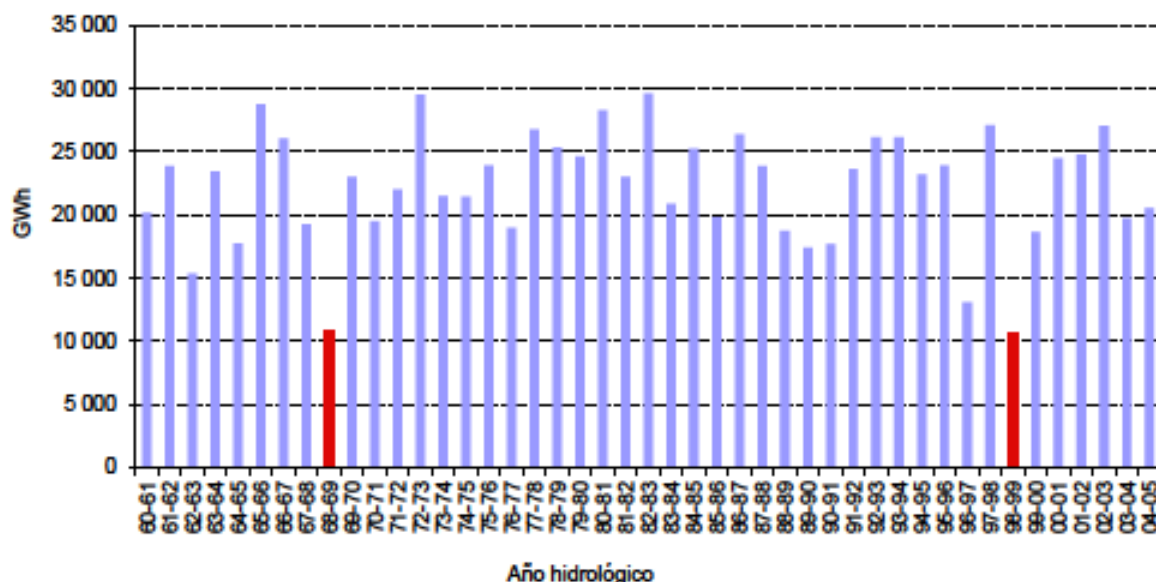
Generación Anual de Maule Alto + Colbún respecto a Energía Afluente Total al SIC



Fuente: Elaboración propia.

En los gráficos 3 y 4 se muestra la serie de tiempo de energía bruta total afluyente al SIC, y la curva de duración de los valores anuales de energía bruta total afluyente y caudal medio anual combinado de los cauces de interés en el sistema Maule Alto, para el período 1961-2008. A partir de estas figuras se puede extraer información relevante. Por una parte, se aprecia cómo la generación de energía alcanza sus mínimos de manera coincidente con los años de menor caudal combinado en Maule Alto (1968 y 1998). Sin embargo, al comparar las curvas de duración de energía y caudal afluyente a Maule Alto, se observa como el SIC emplea su capacidad de regulación, haciendo más “plana” la curva de energía que la de caudal en el rango de probabilidad de excedencia menor que 90%. Para los dos años más secos de la serie, el comportamiento de las curvas vuelve a diferir, y la energía afluyente al SIC es mucho menor que lo que se podría esperar en función de la relación de los caudales de los años 68 y 98 con el resto de la serie.

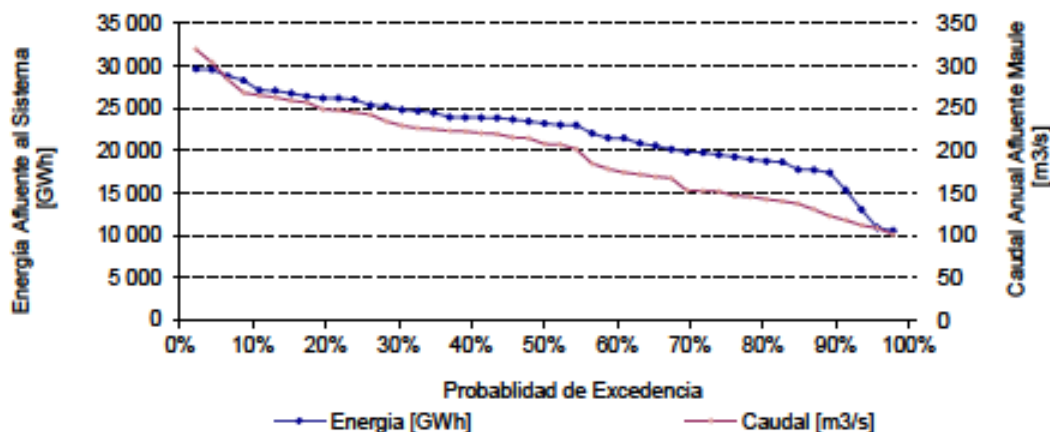
GRÁFICO 3
SERIE DE TIEMPO DE ENERGÍA APORTADA AL SISTEMA INTERCONECTADO CENTRAL (SIC)



Fuente: Elaboración propia.

Nota: Los dos años más desfavorables se indican en otro color más oscuro.

GRÁFICO 4
CURVA DE DURACIÓN DE ENERGÍA AFLUYENTE AL SIC Y CAUDAL AFLUYENTE AL SISTEMA MAULE ALTO



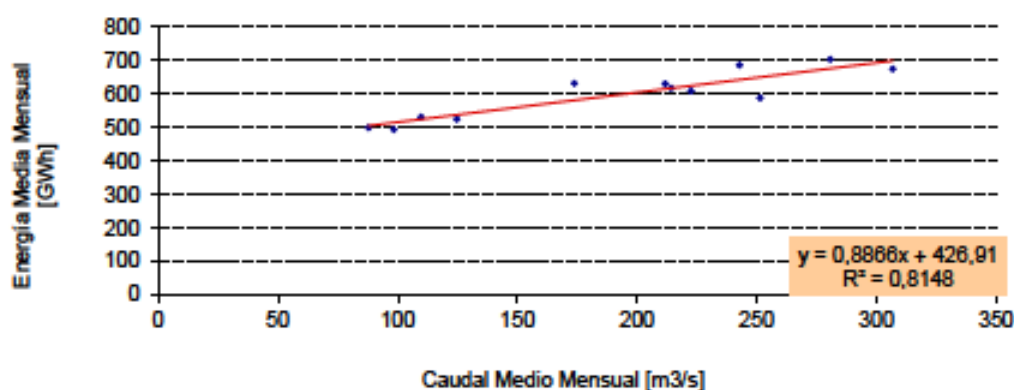
Fuente: Elaboración propia.

Nota: La curva de energía muestra menos variabilidad que la curva de caudales en el rango menor que 90%

4. Relación entre caudal afluente y energía generada

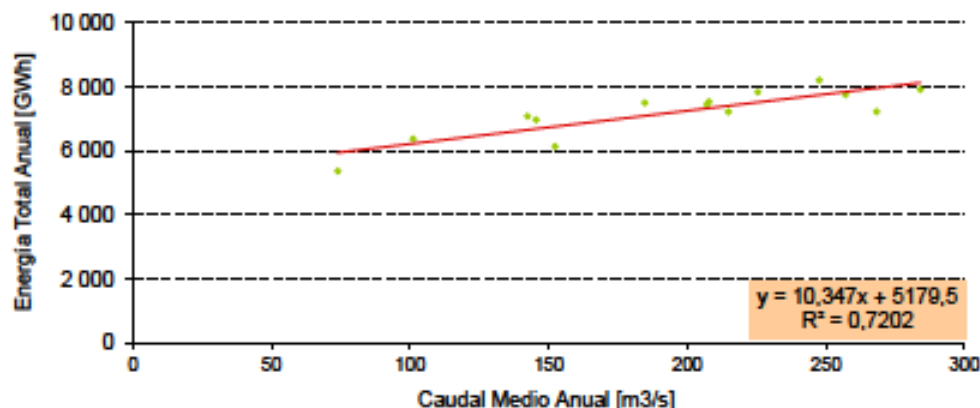
El Sistema Maule Alto-Colbún aporta una fracción de la energía total generada por el SIC, pero existe una clara correspondencia entre el global y lo local. Esto se explica por la fuerte dependencia del Sistema Maule Alto-Colbún con la variabilidad hidrológica instantánea, producto del predominio de las centrales de pasada respecto a aquellos subsistemas que cuentan con regulación mediante embalses. Esto se ve reflejado en la correlación entre la energía generada y los caudales observados a nivel mensual y anual, para el período con información concurrente disponible. Los gráficos 5 y 6 indican las relaciones respectivas obtenidas. Los caudales considerados en todos los casos son: afluente a laguna del Maule, afluente a laguna La Invernada, afluente a Embalse Melado, afluente a Río Claro en San Carlos y efluente del Estero Las Garzas. En el gráfico 5 se muestra la relación entre el caudal medio mensual promedio (1993-2007) y la energía bruta generada en el sistema Maule Alto-Colbún para el mismo período. Se ve que para los meses más secos (caudales menores que 150 m³/s) los valores se ajustan muy bien entre sí, mientras que para meses más húmedos existe más dispersión. En el caso anual (véase gráfico 6), el ajuste en torno a la mejor recta es más parejo, y las dispersiones son aproximadamente equivalentes en todo el rango de caudales medios anuales observado.

GRÁFICO 5
RELACIÓN ENTRE EL CAUDAL MEDIO MENSUAL PROMEDIO HISTÓRICO AFLUENTE AL SISTEMA MAULE ALTO Y LA ENERGÍA MEDIA MENSUAL PROMEDIO HISTÓRICA PRODUCIDA EN LA ZONA



Fuente: Elaboración propia.

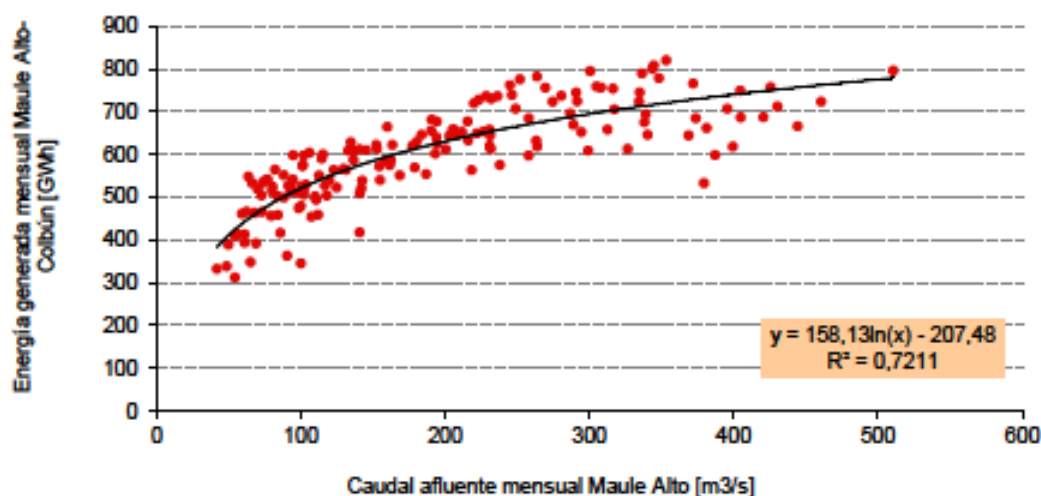
GRÁFICO 6
RELACIÓN ENTRE EL CAUDAL MEDIO ANUAL EFLUENTE DEL SISTEMA MAULE ALTO Y LA ENERGÍA TOTAL ANUAL PRODUCIDA EN LA ZONA



Fuente: Elaboración propia.

Un análisis a distinta escala temporal muestra que existe una relación no lineal entre los caudales afluentes al Sistema Maule Alto y la energía generada mensualmente por dicho Sistema. Esta relación es realista desde un punto de vista físico, por cuanto se espera que para caudales muy pequeños, la energía generada debiera tender a anularse en este sistema con poca regulación; al contrario, la limitación impuesta por la capacidad de generación instalada hace que la energía generada no crezca a la misma tasa que el caudal, sino que se aproxime a un valor anual límite en torno a 800 GWh. El gráfico 7 indica dicha relación, la cual se evalúa junto con aquella establecida en el gráfico 5.

GRÁFICO 7
RELACIÓN ENTRE EL CAUDAL MEDIO MENSUAL AFLUENTE AL SISTEMA MAULE ALTO Y LA ENERGÍA MEDIA MENSUAL PRODUCIDA EN LA ZONA, PARA EL PERÍODO CONCURRENTE 1993-2007



Fuente: Elaboración propia.

Las expresiones matemáticas encontradas en esta sección, relacionan los caudales observados en las cabeceras de las cuencas y valores de generación bruta del sistema hidroeléctrico Maule Alto-Colbún. Así, se encuentra una expresión logarítmica que se ajusta adecuadamente a los valores observados, y que da cuenta de las limitaciones físicas existentes en el sistema de generación, las que impiden que la energía mensual generada crezca a la misma tasa que lo hace el caudal.

B. Sistema Laja

1. Centrales hidroeléctricas

El sistema hidroeléctrico del Laja puede dividirse en dos partes claramente diferenciadas en cuanto a su operación. En la parte alta de la cuenca se encuentra ubicada la laguna Laja que, con más de 5600 Hm³, posee la capacidad de regulación más grande de todos los subsistemas hídricos del Sistema Interconectado Central (SIC). La generación de los caudales almacenados en la laguna Laja se efectúa a través de la central El Toro.

Por otro lado, a lo largo de los cauces de los ríos Laja y Rucúe existen varias centrales de pasada que dependen tanto de la hidrología afluente como del mismo caudal turbinado por la central El Toro y las filtraciones naturales existentes en la laguna Laja que dan origen al río del mismo nombre.

En el cuadro 3 se detallan las centrales hidroeléctricas del sistema. Además se incluye el esquema topológico del sistema (véase diagrama 2).

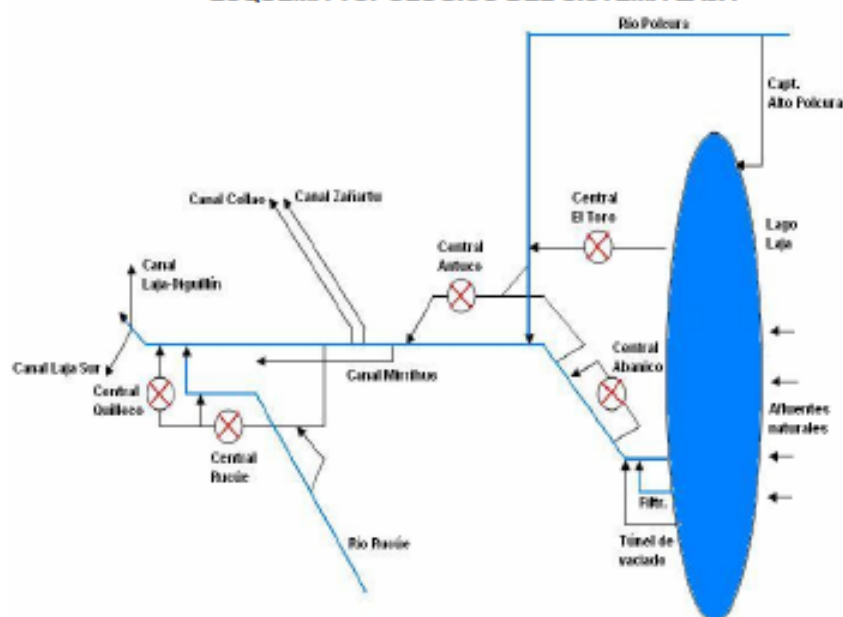
CUADRO 3
CENTRALES HIDROELÉCTRICAS DEL SISTEMA LAJA

Central	Lat. [°]	Long [°]	Cliente	Año Término	Tipo	Pot. [MW]	EMAG [GWh]	Q.C [m ³ /s]	A.C. [m]
El Toro	-37, 27	-71, 46	Endesa	1973	Embalse	450	1.510	97	545
Abanico	-37, 36	-71, 49	Endesa	1948-1959	Pasada	136	360	107	147
Antuco	-37, 31	-71, 62	Endesa	1981	Pasada	320	1.610	190	190
Rucúe	-37, 36	-71, 87	Colbún	1998	Pasada	170	980	65	140
Quilleco	-37, 35	-71, 90	Colbún	2007	Pasada	70	450	130	60

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Pot = Potencia; EMAG = Energía media anual generable; A.P. = Altura de presa; Q.C. = Caudal de diseño de la central; A.C. = Altura de caída.

DIAGRAMA 2
ESQUEMA TOPOLOGICO DEL SISTEMA LAJA



Fuente: Elaboración propia

2. Variables hidrológicas de interés

Debido a la diferencia de operación de la central El Toro con las de pasada se decidió determinar las variables hidrológicas que influyen en cada tipo de central.

a) Central El Toro

La laguna Laja posee una capacidad de 5600 millones de metros cúbicos mientras que los caudales afluentes naturales suman alrededor de 57 m³/s como promedio histórico. Esto es suficiente para llenar el lago en poco más de dos años. Para modelar la generación de la central El Toro, se utilizó este argumento para suponer que la variable Energía Anual Generada por la central depende de la hidrología afluente hasta dos años previos. Cabe señalar que la captación Alto Polcura, que representa alrededor del 15% de los caudales afluentes a la laguna Laja, fue desestimada como predictor de la energía generada para efectos de este estudio, debido a que se trata de una captación artificial cuyo caudal es función de decisiones operacionales y no depende de manera directa de las variables hidrológicas seleccionadas.

En el cuadro 4 se muestra un resumen de las variables consideradas para el análisis.

CUADRO 4
CENTRALES HIDROELÉCTRICAS DEL SISTEMA LAJA

Variable	Descripción	Símbolo
Afluente a la laguna Laja	Caudal medio anual en régimen natural afluente a la laguna	X1
Afluente a la laguna Laja (t = -1)	Caudal medio anual en régimen natural afluente a la laguna (año anterior)	X3
Afluente a la laguna Laja (t = -2)	Caudal medio anual en régimen natural afluente a la laguna (dos años previos)	X5

Fuente: Elaboración propia.

Es necesario mencionar que no es posible medir directamente el caudal afluente a la laguna Laja, ya que corresponde al caudal aportado por una gran cantidad de pequeños cauces hacia la hoya de la laguna. Por esta razón es determinada a nivel mensual mediante un balance hídrico considerando los volúmenes inicial y final de la laguna y los caudales de salida (filtraciones naturales hacia el río Laja y regulación de la central El Toro) y de entrada (captación Alto Polcura).

La única variable no considerada de manera independiente en el balance hídrico es la evaporación del lago, que queda incluida en la variable afluente natural. Esta decisión se basa en el hecho de que la magnitud de la evaporación es de alrededor de 3 m³/s como promedio anual, representando menos de un 5% del caudal natural afluente total.

b) Cuenca intermedia

Las centrales situadas en la cuenca intermedia son de pasada, es decir, no poseen ninguna capacidad de regulación. Es por esto que para el análisis de la energía anual generada no fue considerado ningún tipo de desfase temporal en sus variables independientes. Sin embargo, sí fue considerada una dependencia con la energía anual generada por la central El Toro, ya que esta última variable representa una medida directa del caudal turbinado por aquella central que luego es utilizado por las centrales de pasada de aguas abajo.

Los modelos probados para la generación de energía en la cuenca intermedia mostraron un mejor comportamiento considerando una dependencia directa con la energía generada por la central El Toro que con los caudales afluentes a la laguna. Sin embargo, la generación de El Toro sí depende de estos últimos, por lo que se creó una dependencia indirecta de las condiciones hidrológicas con un desfase de tres años. En el Cuadro se resumen las variables utilizadas en el análisis.

CUADRO 5
RESUMEN DE VARIABLES CONSIDERADAS PARA LA MODELACIÓN DE LA ENERGÍA TOTAL ANUAL GENERADA POR LAS CENTRALES DE PASADA DE LA CUENCA INTERMEDIA

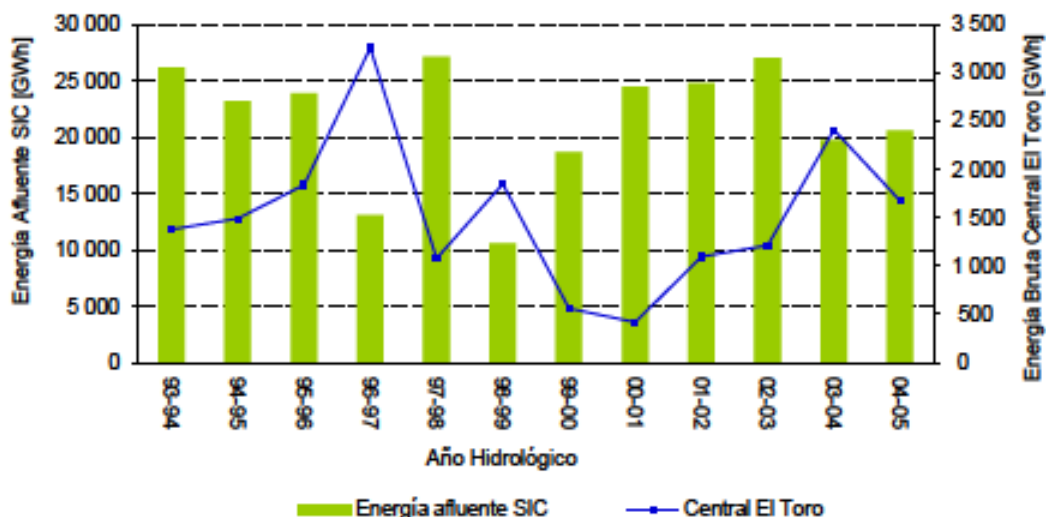
Variable	Descripción	Símbolo
Caudal cuenca intermedia	Caudal medio anual en régimen natural generado en la cuenca intermedia entre la laguna Laja y la bocatoma Tucapele	X1
Generación de central El Toro	Energía total anual generada por la central El Toro	X2

Fuente: Elaboración propia.

3. Generación histórica

La gran capacidad de embalse de la laguna Laja permite que la central El Toro cumpla un papel regulador en todo el SIC, de manera tanto anual como estacional, permitiendo generar energía en épocas de escasez de recursos hídricos y ahorrar en épocas de abundancia. Esta regulación se ve claramente cuando se comparan los máximos y mínimos de generación del SIC con los de la central (véase gráfico 8).

GRÁFICO 8
SERIE DE ENERGÍA TOTAL AFLUENTE AL SIC Y GENERACIÓN CENTRAL EL TORO

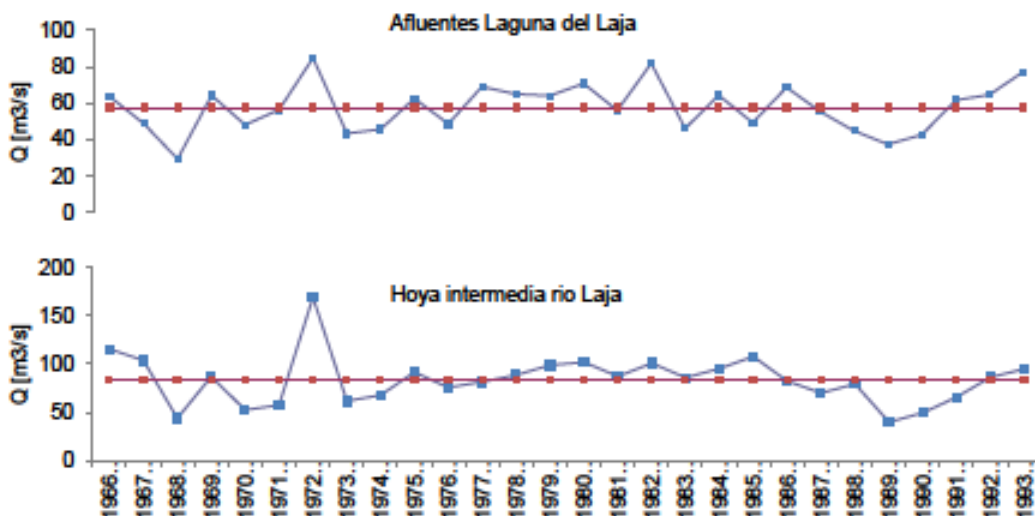


Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, las centrales de pasada de la parte baja de la cuenca poseen una situación privilegiada respecto a las demás centrales del SIC de su mismo tipo, ya que además de generar en épocas de abundancia hídrica, también pueden generar en épocas de estrés hídrico, mediante el caudal liberado desde la laguna Laja, ya sea el turbinado por la central El Toro como por las filtraciones naturales de la laguna.

En el gráfico 9 se muestra la serie de caudales medios anuales de la hoya afluente natural a la laguna Laja (principal variable de entrada para la laguna) y el generado en la hoya intermedia (principal variable de entrada para las centrales de pasada). Ambos caudales son estimados mediante un balance hídrico.

GRÁFICO 9
CAUDAL MEDIO ANUAL AFLUENTE LAGUNA LAJA Y HOYA INTERMEDIA RÍO LAJA ENTRE LAGUNA LAJA Y TUCAPEL



Fuente: Elaboración propia.

4. Relación entre caudal afluente y energía generada

Se realizó un análisis de regresión multivariado para la series de tiempo de energía anual generada por las distintas centrales hidroeléctricas de la cuenca. Como ya se ha mencionado, dadas las características de generación de cada central se optó por hacer dos análisis. El primero de ellos, para la central El Toro, que posee capacidad de regulación y depende principalmente de los afluentes a la laguna Laja, y el segundo para las centrales de pasada de la parte más baja de la cuenca, que además dependen de la hidrología de la cuenca intermedia entre la salida de la laguna Laja y la bocatoma de riego Tucapel al final de la cuenca.

En resumen, se definen dos producciones de energía fundamentales: la regulada por la central El Toro y la no regulada de la cuenca intermedia.

Debido al poco tiempo que lleva operando la central Quilleco, no se cuenta con suficiente información para realizar un análisis consistente con las demás unidades generadoras; por lo tanto se decidió eliminar esta central del análisis. Asimismo, para la central Rucúe fue necesario expandir la información de energía generada mediante regresión con la central Antuco.

En función de los datos recopilados, se seleccionó para ambas variables, un período de calibración correspondiente a los años hidrológicos de 1986 a 2006.

a) Central El Toro

Para esta variable fueron probados diversos desfases temporales y modelos del tipo potencial y lineal multivariados. Realizadas estas pruebas, se concluyó que los mejores resultados los entrega un modelo lineal. Los resultados obtenidos son resumidos en el cuadro 6 y la siguiente ecuación, donde las variables denotadas X_i son aquellas indicadas en la sección B.2.

$$y = p_1 + p_2 \cdot X_1 + p_3 \cdot X_2 + p_4 \cdot X_3$$

CUADRO 6
RESUMEN DE PARÁMETROS DEL MODELO POTENCIAL PARA LA
GENERACIÓN DE LA CENTRAL EL TORO

Parámetros	Valor
p1	843,97
p2	-25,76
p3	20,15
p4	17,54

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la modelación se muestran en el cuadro 7.

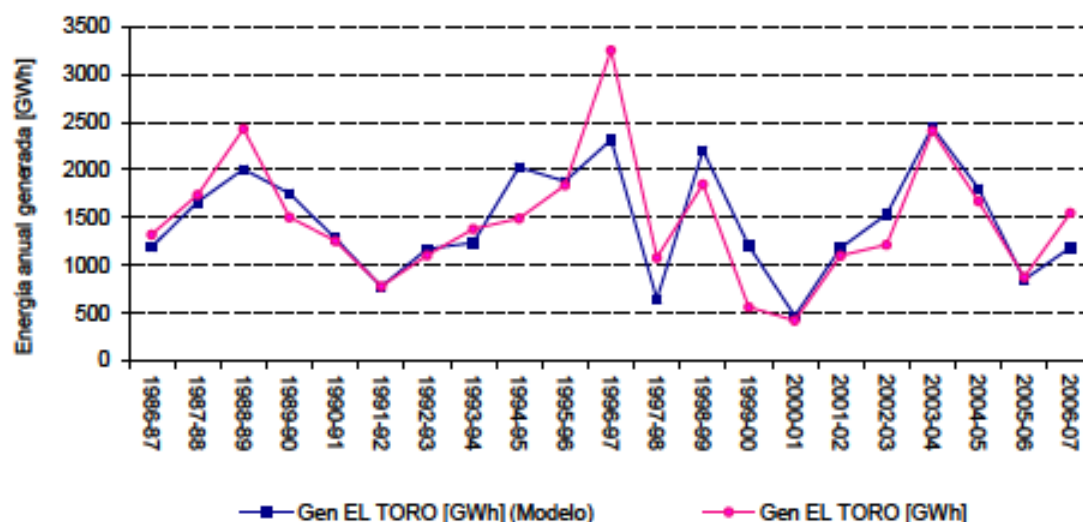
CUADRO 7
RESULTADOS DEL MODELO POTENCIAL PARA LA GENERACIÓN DE LA CENTRAL EL TORO

Año	Generación Central El Toro [GWh]	Generación Central El Toro [GWh] (Modelo)
1986-1987	1 320	1 191
1987-1988	1 737	1 663
1988-1989	2 428	2 005
1989-1990	1 502	1 751
1990-1991	1 253	1 281
1991-1992	777	774
1992-1993	1 103	1 170
1993-1994	1 379	1 233
1994-1995	1 489	2 027
1995-1996	1 838	1 879
1996-1997	3 253	2 313
1997-1998	1 079	645
1998-1999	1 848	2 203
1999-2000	560	1 204
2000-2001	420	466
2001-2002	1 098	1 181
2002-2003	1 214	1 533
2003-2004	2 408	2 446
2004-2005	1 671	1 804
2005-2006	874	847
2006-2007	1 547	1 182

Fuente: Elaboración propia.

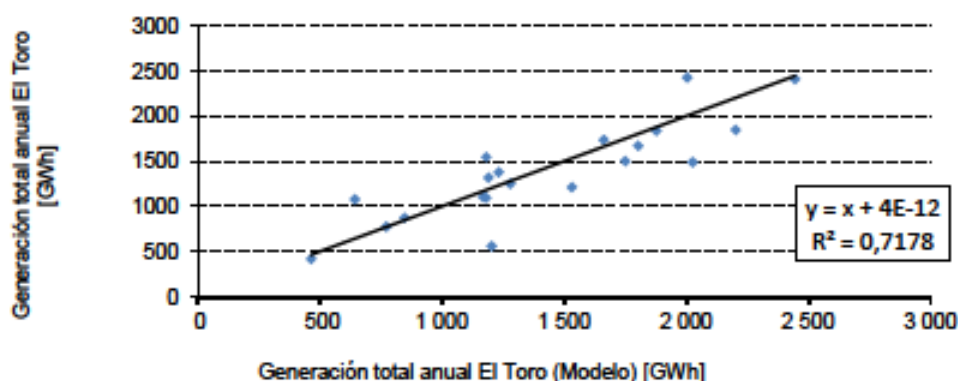
En el gráfico 10 se muestran la comparación de las series de tiempo estimadas y observadas mientras que en el gráfico 11 se muestran las correlaciones observadas.

GRÁFICO 10
RESULTADOS DE LA MODELACIÓN PARA LA GENERACIÓN DE LA CENTRAL EL TORO



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 11
CORRELACIÓN OBTENIDA PARA EL PERÍODO DE CALIBRACIÓN



Fuente: Elaboración propia.

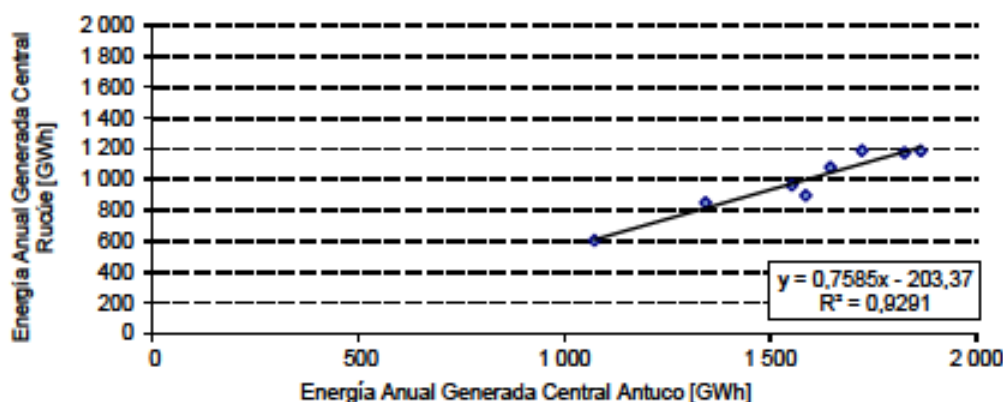
En el gráfico 12 se aprecia que el mayor error de estimación se produce en el año hidrológico 1996-1997, en el cual se subestima de gran manera la energía generada por la central. Esto se explica debido a que en aquel período existieron diferencias respecto a la operación histórica de la central. En particular, se realizó una excepción al acuerdo entre ENDESA y la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) de 1958 que permitió extraer volúmenes de agua pertenecientes al colchón de reserva de 500 Hm³ propiedad de los regantes correspondientes a los canales de riego de la primera sección del río Laja (canales Zañartu, Mirihue, Collao y Laja-Sur). De esta manera, la generación de ese año no fue función de los parámetros usuales, afectando de hecho, la modelación de los años del período siguiente.

En resumen, la capacidad de regulación interanual que otorga la laguna Laja fue representada incorporando desfases de uno y dos años a una ecuación de tipo lineal. Esta relación fue calibrada en el período histórico, y se observa una buena representación de la energía generada.

b) Cuenca intermedia

Previo a la calibración de un modelo matemático para esta variable, fue necesario realizar una regresión entre las energías anuales generadas por las centrales Rucúe y Antuco, ya que la central Rucúe fue puesta en operación durante el año 1998. Por lo tanto, no se contaba con información en todo el período de calibración y validación. Los resultados de esta regresión se muestran en el gráfico 12.

GRÁFICO 12
CORRELACIÓN ENTRE LA ENERGÍA TOTAL ANUAL GENERADA POR LAS CENTRALES ANTUCO Y RUCÚE



Fuente: Elaboración propia.

De manera análoga a la modelación de la energía generada por la central El Toro, se escogió un modelo lineal especificado en el cuadro 8.

La ecuación del modelo queda definida como:

$$y = p_1 + p_2 \cdot X_1 + p_3 \cdot X_2$$

CUADRO 8
PARÁMETROS DEL MODELO LINEAL PARA LA GENERACIÓN
EN LA CUENCA INTERMEDIA

Parámetros	Valor
p1	315,27
p2	14,99
p3	0,71

Fuente: Elaboración propia

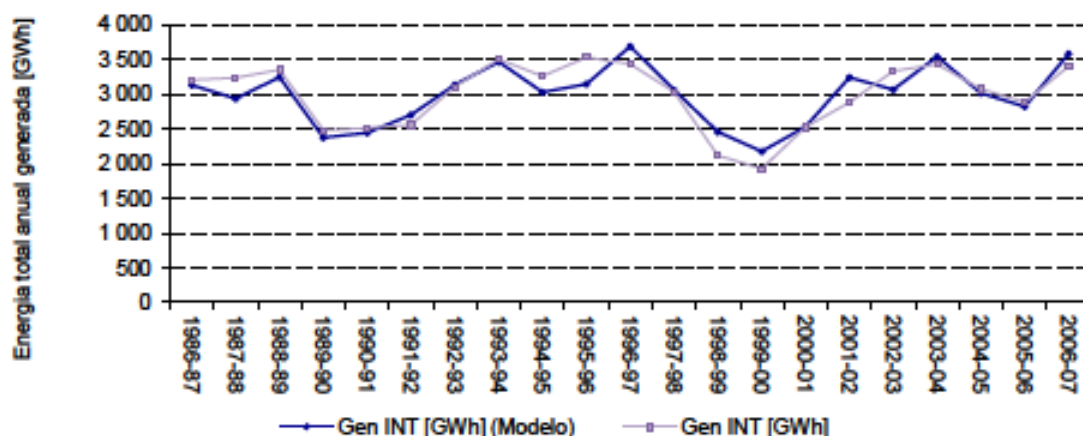
Los resultados de la modelación se muestran en el cuadro 9.

CUADRO 9
RESULTADOS DEL MODELO POTENCIAL PARA LA GENERACIÓN
EN LA CUENCA INTERMEDIA

Año	Generación cuenca intermedia [GWh]	Generación cuenca intermedia [GWh] (Modelo)
1986-1987	3 201	3 131
1987-1988	3 234	2 936
1988-1989	3 350	3 245
1989-1990	2 480	2 373
1990-1991	2 511	2 441
1991-1992	2 556	2 699
1992-1993	3 106	3 132
1993-1994	3 502	3 467
1994-1995	3 259	3 026
1995-1996	3 531	3 143
1996-1997	3 433	3 687
1997-1998	3 033	3 058
1998-1999	2 117	2 454
1999-2000	1 925	2 175
2000-2001	2 523	2 530
2001-2002	2 878	3 240
2002-2003	3 331	3 065
2003-2004	3 430	3 540
2004-2005	3 073	3 012
2005-2006	2 883	2 822
2006-2007	3 399	3 581

Fuente: Elaboración propia.

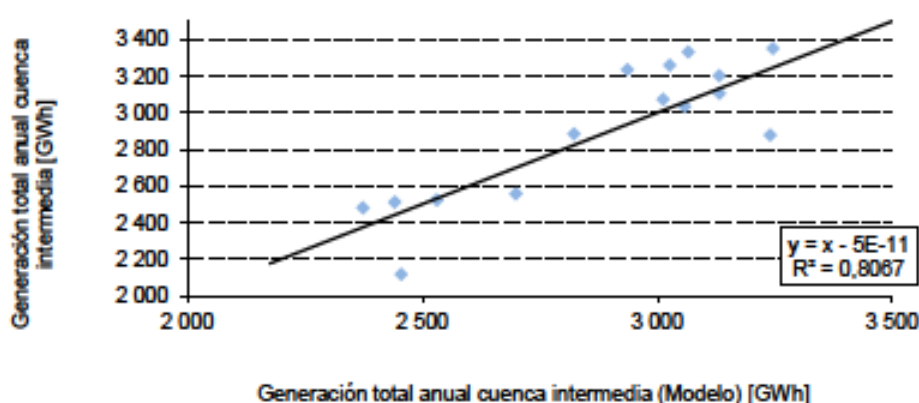
GRÁFICO 13
RESULTADOS DE LA MODELACIÓN PARA LA GENERACIÓN DE LAS CENTRALES
EN LA CUENCA INTERMEDIA



Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico 14 se muestran las correlaciones entre el modelo ajustado y lo observado para los periodos de calibración y validación.

GRÁFICO 14
CORRELACIÓN OBTENIDA PARA EL PERÍODO DE CALIBRACIÓN



Fuente: Elaboración propia.

Cabe mencionar, que para esta cuenca se observa una dispersión relativamente baja en los resultados. Esto es debido a que por un lado, la energía generada depende de la hidrología del año actual, generando en años húmedos y por otro lado depende de la regulación efectuada por la central El Toro, generando en años secos.

En la parte final de este estudio, se muestran los resultados de la combinación entre las relaciones propuestas en esta parte con los resultados de la modelación hidrológica para periodos futuros.

III. Resultados

En este capítulo se muestran las proyecciones de generación hidroeléctrica futura a partir de las variables hidrológicas obtenidas de los modelos WEAP construidos en el estudio de vulnerabilidad hidrológica, tomando como variables de entrada las series meteorológicas del modelo HadCM3 corregido. Para realizar una correcta comparación de las series de energía se definieron distintas ventanas de tiempo. Éstas se definen con dos conjuntos distintos de variables meteorológicas de entrada, que corresponden al modelo HadCM3 en periodo histórico (1970-2000) y en escenario de simulación (en este caso A2 y B2). En el cuadro 10 se muestran los periodos elegidos y el tipo de variable de entrada utilizado.

CUADRO 10
PERÍODOS DEFINIDOS PARA FINES DE COMPARACIÓN

Período	Tipo de variable meteorológica de entrada
1970-2000	Had-histórico
2010-2039	Had-A2-B2
2040-2069	Had-A2-B2
2070-2099	Had-A2-B2

Fuente: Elaboración propia.

Ahora bien, para validar las energías futuras encontradas, se contrastaron las series de energía creadas a partir de los datos HadCM3 en el período histórico, es decir hasta el año 2000, con las energías efectivamente generadas por los sistemas. En el caso del Maule este período resulta de 1993-2000 y en el Laja de 1986-2000.

A. Sistema Maule Alto

Una vez determinados los caudales medios mensuales para el período 2010-2100 del río Claro, estero Las Garzas y los afluentes a las lagunas Invernada, Maule y Melado, se procedió a calcular la energía generada por el sistema a nivel anual y mensual.

1. Resultados en escenario A2

a) Resultados a nivel anual

El cuadro 11 muestra una comparación entre los valores de energía anual generada históricamente, y los valores estimados mediante el modelo estadístico usando caudales simulados con la serie climática sintética para el período con datos. Se puede ver que la serie sintética sobreestima en aproximadamente 500 GWh-año la energía generada en el período histórico, y que además subestima levemente la variación de la serie de energías. El cuadro 12 muestra los promedios de energía anual generada para las distintas ventanas de tiempo definidas, y la variación porcentual equivalente tomando como referencia la energía estimada a partir del clima sintético para el período 1976-2000. Se aprecia una disminución de un 11% para la ventana 2071-2099, así como un “aplanamiento” de la serie de energías, con desviaciones estándar que se reducen aproximadamente en un 50% con respecto al período base. Es importante señalar, que dada la gran importancia en términos de energía generada del sistema, una reducción de un 11% equivale aproximadamente a 800 GWh menos de energía anual.

CUADRO 11
COMPARACIÓN DE ENERGÍAS ANUALES OBSERVADAS Y SIMULADAS EN PERÍODO HISTÓRICO.
SISTEMA MAULE ALTO-COLBÚN

Período	Generación promedio anual [GWh]	Desviación [GWh]	Máximo [GWh]	Mínimo [GWh]
1986-2000 (observado)	6 797,3	847,3	7 534,4	5 367,7
1986-2000 (simulado)	7 306,2	702,4	8 361,2	6 493,7

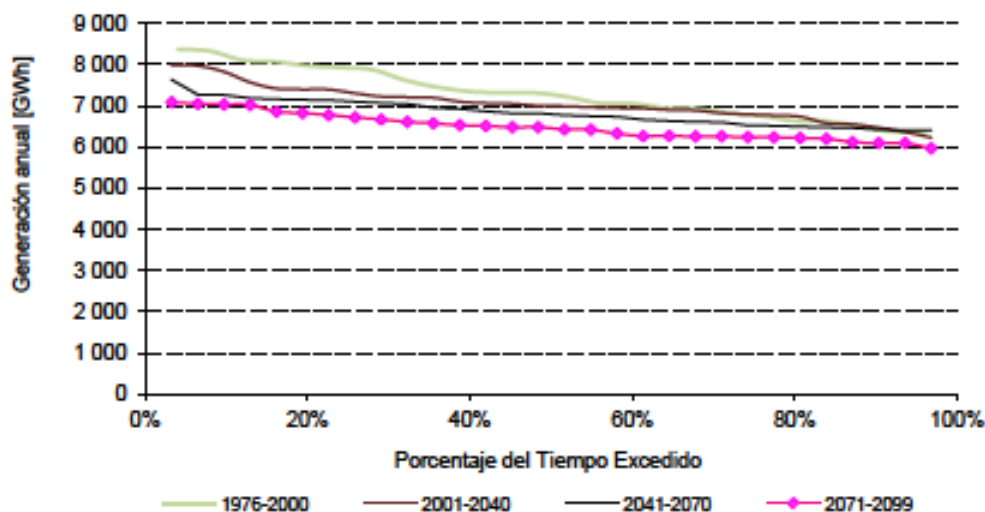
Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 12
COMPARACIÓN DE ENERGÍA ANUAL GENERADA EN PERÍODOS FUTUROS
EN ESCENARIO A2. SISTEMA MAULE ALTO-COLBÚN

Período	Generación promedio anual [GWh]	Variación [%]	Desviación [GWh]	Máximo [GWh]	Mínimo [GWh]
1976-2000	7 281,5	0	622,4	8 361,2	6 357,0
2010-2040	7 044,5	-3,3	433,6	7 982,1	6 219,4
2040-2070	6 819,7	-6,3	317,6	7 621,1	6 397,3
2070-2100	6 479,8	-11,0	316,7	7 080,9	5 960,3

Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 15
CURVAS DE DURACIÓN DE ENERGÍA ANUAL. SISTEMA MAULE ALTO-COLBÚN EN ESCENARIO A2

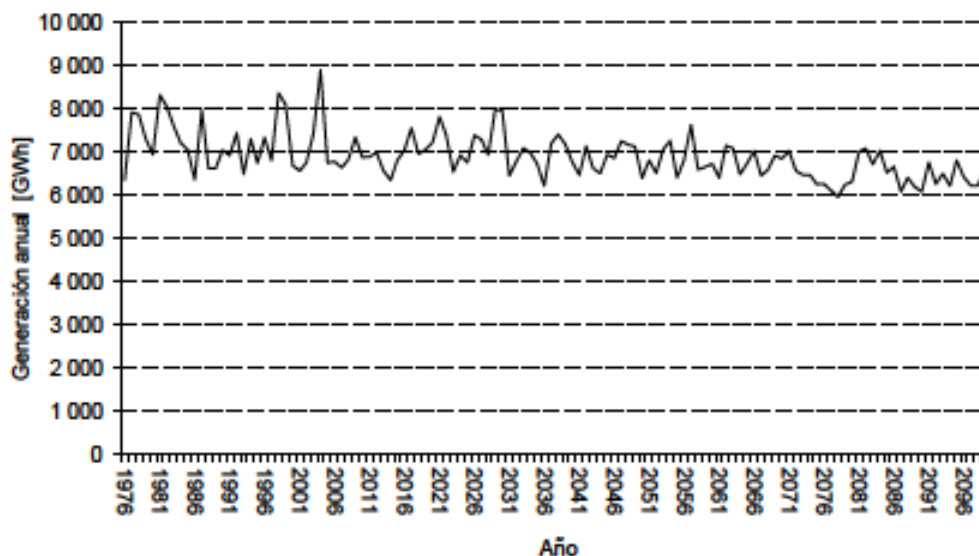


Fuente:Elaboración propia.

Nota: La reducción de las energías mínimas tiende a ser menor que la de los máximos.

Los gráficos 15 y 16 muestran las curvas de duración de la energía proyectada para cada subperíodo, y la serie de tiempo de energía anuales, respectivamente. El gráfico 15 en particular, ratifica lo indicado en el cuadro 12, en cuanto a la disminución promedio de las energías generables, así como un aplanamiento de la distribución de los valores.

GRÁFICO 16
SERIE DE ENERGÍA ANUAL GENERADA EN ESCENARIO A2. SISTEMA MAULE ALTO-COLBÚN



Fuente: Elaboración propia.

Nota: A partir de la mitad del siglo 21 se observa una clara disminución tanto de máximos como de mínimos anuales.

b) Resultados a nivel mensual

Los resultados a nivel mensual por período se muestran a partir del cuadro 13.

CUADRO 13
VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA ENERGÍA GENERADA POR EL SISTEMA
MAULE-ALTO COLBÚN EN ESCENARIO A2

Período	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Promedio
1976-2000	511,4	577,1	637,7	638,8	613,2	616,6	654,6	712,7	701,1	609,2	561,2	509,8	611,9
2010-2040	502,2	505,4	592,4	629,5	601,6	608,4	638,9	697,1	689,4	598,3	555,7	507,6	593,9
2040-2070	499,5	543,2	593,4	619,7	589,9	592,8	616,3	668,1	644,6	558,7	520,9	487,7	577,9
2070-2100	446,1	499,9	582,0	558,6	541,3	555,4	585,0	636,4	608,3	523,1	479,6	431,6	537,3

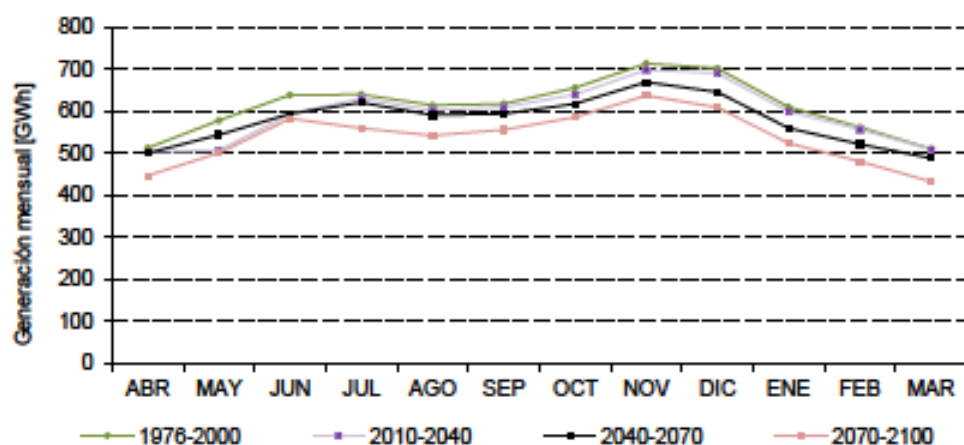
Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 14
COEFICIENTES DE DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA ENERGÍA GENERADA POR EL SISTEMA
MAULE ALTO-COLBÚN EN ESCENARIO A2

Período	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dec	Ene	Feb	Mar
1976-2000	0,84	0,94	1,04	1,04	1,00	1,01	1,07	1,16	1,15	1,00	0,92	0,83
2010-2040	0,85	0,85	1,00	1,06	1,01	1,02	1,08	1,17	1,16	1,01	0,94	0,85
2040-2070	0,86	0,94	1,03	1,07	1,02	1,03	1,07	1,16	1,12	0,97	0,90	0,84
2070-2100	0,83	0,93	1,08	1,04	1,01	1,03	1,09	1,18	1,13	0,97	0,89	0,80

Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 17
CURVA DE VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA ENERGÍA GENERADA POR EL SISTEMA
MAULE ALTO - COLBÚN EN ESCENARIO A2



Fuente: Elaboración propia.

Nota: La reducción de energía tiende a ser uniforme durante el año, sin producirse mayores variaciones de carácter estacional.

La reducción de energía tiende a ser uniforme durante al año, sin producirse mayores variaciones de carácter estacional. Esto es consistente con los resultados de vulnerabilidad hidrológica presentados en el informe correspondiente de este estudio.

2. Resultados en escenario B2

a) Resultados a nivel anual

El cuadro 15 muestra una comparación entre los valores de energía anual generada históricamente, y los valores estimados mediante el modelo estadístico usando caudales simulados con la serie climática sintética para el período con datos. El cuadro 16 muestra los promedios de energía anual generada para las distintas ventanas de tiempo definidas, y la variación porcentual equivalente tomando como referencia la energía estimada a partir del clima sintético para el período 1976-2000. De manera similar al escenario A2, en esta serie se aprecia una disminución de un 8% para la ventana 2071-2099, así como un “aplanamiento” de la serie de energías, con desviaciones estándar que se reducen aproximadamente en un 50% con respecto al periodo base.

CUADRO 15
COMPARACIÓN DE ENERGÍAS ANUALES OBSERVADAS Y SIMULADAS EN PERÍODO HISTÓRICO.
SISTEMA MAULE ALTO-COLBÚN

Período	Generación promedio anual [GWh]	Desviación [GWh]	Máximo [GWh]	Mínimo [GWh]
1986-2000 (observado)	6 797,3	847,3	7 534,4	5 367,7
1986-2000 (simulado)	7 322,9	674,8	8 343,3	6 626,9

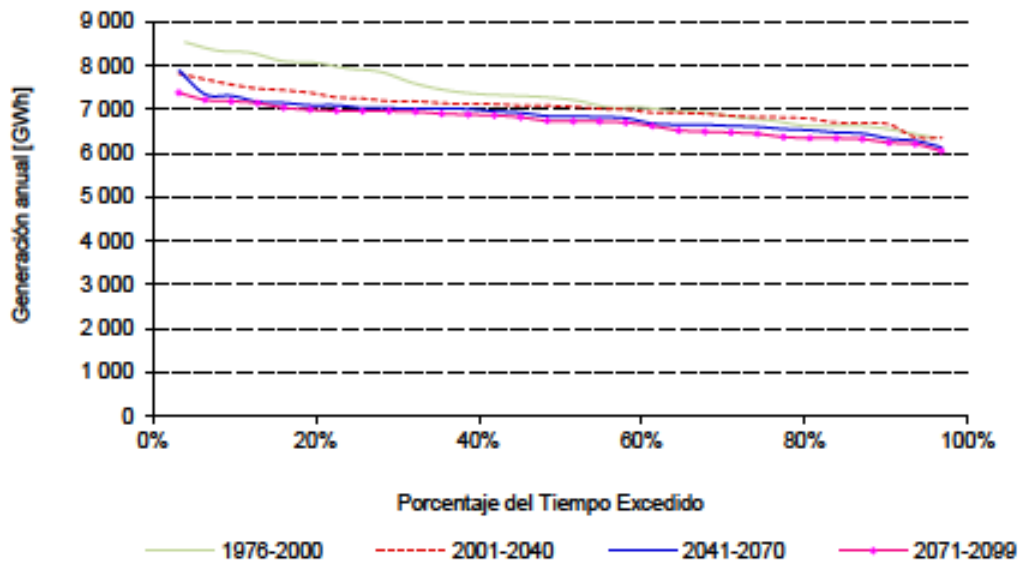
Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 16
COMPARACIÓN DE ENERGÍA ANUAL GENERADA EN PERÍODOS FUTUROS.
SISTEMA MAULE ALTO-COLBÚN EN ESCENARIO B2

Período	Generación promedio anual [GWh]	Variación [%]	Desviación [GWh]	Máximo [GWh]	Mínimo [GWh]
1976-2000	7 314,4		644,3	8 534,4	6 348,3
2010-2040	7 054,2	-3,6	346,5	7 815,5	6 350,0
2040-2070	6 841,1	-6,5	363,2	7 887,5	6 134,6
2070-2100	6 719,5	-8,1	338,4	7 379,8	6 049,0

Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 18
CURVAS DE DURACIÓN DE ENERGÍA ANUAL. SISTEMA MAULE ALTO-COLBÚN EN ESCENARIO B2

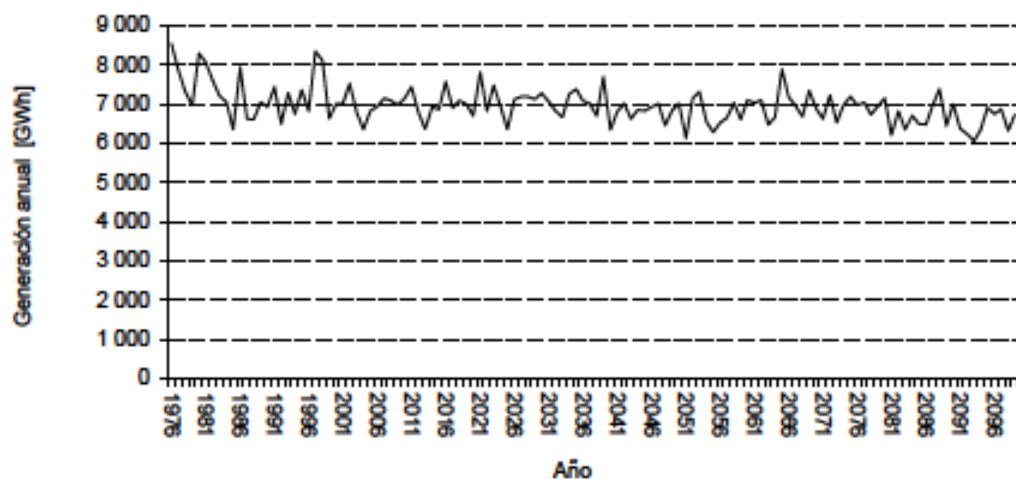


Fuente: Elaboración propia.

Nota: La reducción de las energías mínimas tiende a ser menor que la de los máximos.

Los gráficos 19 y 20 muestran las curvas de duración de la energía proyectada para cada subperíodo, y la serie de tiempo de energía anuales, respectivamente. El gráfico 19, en particular, ratifica lo indicado en el cuadro 16, en cuanto a la disminución promedio de las energías generables, así como un aplanamiento de la distribución de los valores.

GRÁFICO 19
SERIE DE ENERGÍA ANUAL GENERADA. SISTEMA MAULE ALTO-COLBÚN EN ESCENARIO B2



Fuente: Elaboración propia.

b) Resultados a nivel mensual

Los resultados a nivel mensual por período se muestran a partir del cuadro 17.

CUADRO 17
VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA ENERGÍA GENERADA POR EL SISTEMA MAULE ALTO-COLBÚN EN ESCENARIO B2

Período	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Promedio
1976-2000	524,0	583,9	642,6	637,6	611,8	618,7	651,0	713,5	702,7	613,5	585,9	515,0	615,0
2010-2040	507,1	518,7	605,5	624,3	605,7	614,2	646,3	699,7	684,9	593,6	551,1	509,6	596,7
2040-2070	487,1	537,5	595,1	614,3	586,8	592,1	622,5	672,9	656,3	566,9	525,2	472,6	577,4
2070-2100	457,7	518,7	611,3	590,6	565,0	585,7	620,2	659,7	628,8	541,2	503,3	453,4	561,3

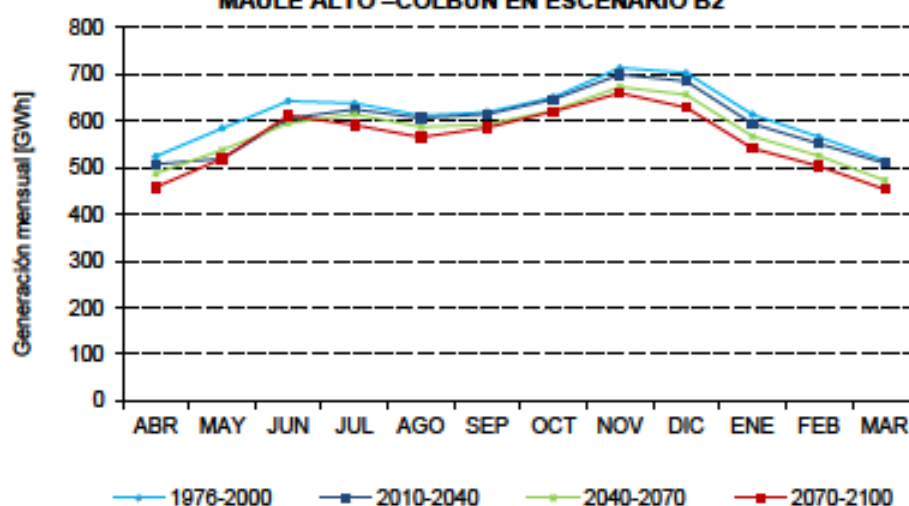
Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 18
COEFICIENTES DE DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA ENERGÍA GENERADA POR EL SISTEMA MAULE ALTO-COLBÚN EN ESCENARIO B2

Período	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dec	Ene	Feb	Mar
1976-2000	0,85	0,95	1,04	1,04	0,99	1,01	1,06	1,16	1,14	1,00	0,92	0,84
2010-2040	0,85	0,87	1,01	1,05	1,02	1,03	1,08	1,17	1,15	0,99	0,92	0,85
2040-2070	0,84	0,93	1,03	1,06	1,02	1,03	1,08	1,17	1,14	0,98	0,91	0,82
2070-2100	0,82	0,92	1,09	1,05	1,01	1,04	1,10	1,18	1,12	0,96	0,90	0,81

Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 20
CURVA DE VARIACIÓN ESTACIONAL DE LA ENERGÍA GENERADA POR EL SISTEMA MAULE ALTO-COLBÚN EN ESCENARIO B2



Fuente: Elaboración propia.

Nota: La reducción de energía tiende a ser uniforme durante el año, sin producirse mayores variaciones de carácter estacional.

Al igual que en el escenario A2, la reducción de energía tiende a ser uniforme durante al año, sin producirse mayores variaciones de carácter estacional. Esto es consistente con los resultados de vulnerabilidad hidrológica presentados en el informe correspondiente de este estudio.

3. Comparación de escenarios A2 y B2

En el cuadro 19, se muestra una comparación entre las reducciones de los valores promedio correspondientes a los escenarios A2 y B2. Es posible apreciar que el escenario B2 muestra disminuciones menores de energía generada al largo plazo. Sin embargo, las magnitudes alcanzadas no difieren en gran medida para ambos escenarios, siendo la diferencia máxima de 3% en el futuro lejano. Vale la pena recalcar en este punto, que las variaciones porcentuales indicadas en el cuadro 19 lo son respecto del valor simulado en el período 1976-2000 utilizando como dato de entrada el clima correspondiente a la línea base del modelo HadCM3.

CUADRO 19
COMPARACIÓN DE ESCENARIOS A2 Y B2

Período	Variación [%]	
	Escenario A2	Escenario B2
1976-2000	-	-
2010-2040	-3,3	-3,6
2040-2070	-6,3	-6,5
2070-2100	-11,0	-8,1

Fuente: Elaboración propia.

B. Sistema Laja

Después de encontrar las series de caudales medios mensuales para el período 1970-2100, estimadas a partir de las series de precipitación HadCM3 corregidas, se procedió a encontrar, mediante las relaciones matemáticas obtenidas anteriormente, las series anuales de energía total anual generada, tanto por la central El Toro como por las centrales de pasada de la cuenca intermedia. Al igual que para el caso del sistema Maule, se presenta primero una comparación de las energías históricas y los valores que resultan de aplicar los modelos estadísticos propuestos a la serie de caudales obtenida con el clima base simulado. Luego se presenta la variación futura proyectada de energía potencialmente generable, para las tres ventanas temporales ya indicadas.

1. Resultados en escenario A2

a) Resultados para la central El Toro

En este punto se muestran los resultados a nivel anual de energía generada por la central El Toro para el período 1970-2100 en el escenario A2.

Es posible apreciar una disminución de la energía generada hacia el futuro (véase gráfico 21 y gráfico 22). Ahora bien, la disminución en el primer período del siglo 21 (2010-2040) es relativamente baja en relación al período histórico (véase cuadro 20) y se acerca al 2%. Sin embargo, en los períodos siguientes (2041-2070 y 2071-2100) la disminución es de alrededor de un 10% (véase cuadro 21).

Es importante mencionar que, históricamente, la operación de la central El Toro posee una dispersión importante (más de 600 GWh-año). Por otro lado, el modelo forzado con la serie climatológica sintética subestima esta dispersión (aproximadamente 300 GWh-año), por lo que es posible que en el futuro se sucedan períodos críticos de sobre- o sub-producción aún más importantes de los que se aprecian en la serie de valores proyectados. Esto concuerda con el papel regulatorio del SIC que cumple la central El Toro.

CUADRO 20
COMPARACIÓN DE ENERGÍAS ANUALES OBSERVADAS Y SIMULADAS EN PERÍODO HISTÓRICO.
CENTRAL EL TORO

Período	Generación promedio anual [GWh]	Desviación [GWh]	Máximo [GWh]	Mínimo [GWh]
1986-2000 (observado)	1 540,4	682,3	3 252,9	559,8
1986-2000 (simulado)	1 425,6	316,8	1 921,8	909,8

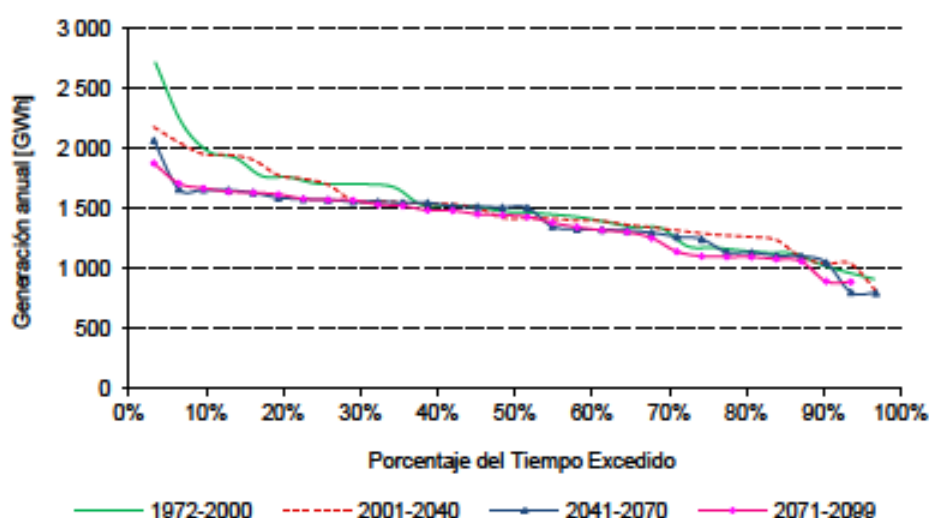
Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 21
COMPARACIÓN DE ENERGÍA ANUAL GENERADA EN PERÍODOS FUTUROS. CENTRAL EL TORO EN ESCENARIO A2

Período	Generación promedio anual [GWh]	Variación [%]	Desviación [GWh]	Máximo [GWh]	Mínimo [GWh]
1972-2000	1 508,4	0	395,1	2 714,5	909,8
2010-2039	1 487,2	-1,4	317,3	2 177,7	811,4
2040-2069	1 395,6	-7,5	273,8	2 065,3	793,4
2070-2099	1 362,1	-9,7	276,0	1 874,9	739,9

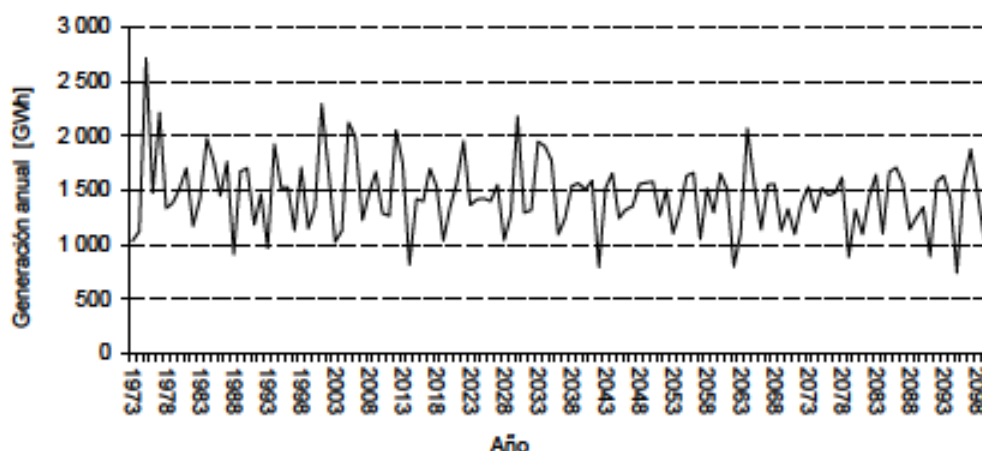
Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 21
CURVAS DE DURACIÓN DE ENERGÍA ANUAL EN ESCENARIO A2. CENTRAL EL TORO



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 22
SERIE DE ENERGÍA ANUAL GENERADA EN ESCENARIO A2. CENTRAL EL TORO



Fuente: Elaboración propia.

b) Resultados para las centrales de pasada de la hoyá intermedia

Las centrales de pasada de la hoyá intermedia presentan disminuciones en su energía anual generada mayores a las estimadas para la central El Toro. Esto puede explicarse por la nula capacidad de regulación que poseen en su operación. Así, la disminución en el primer periodo es de casi un 10% mientras que en la última ventana supera el 20% (véase cuadro 22 y cuadro 23).

También es posible apreciar claramente una fuerte disminución de los máximos y los mínimos a partir del año 2035 (véase gráfico 24).

CUADRO 22
COMPARACIÓN DE ENERGÍAS ANUALES OBSERVADAS Y SIMULADAS EN PERÍODO HISTÓRICO. HOYA INTERMEDIA

Período	Generación promedio anual [GWh]	Desviación [GWh]	Máximo [GWh]	Mínimo [GWh]
1988-2000 (observado)	2 946,0	527,6	3 531,5	1 925,1
1988-2000 (simulado)	2 848,4	189,6	3 248,4	2 603,4

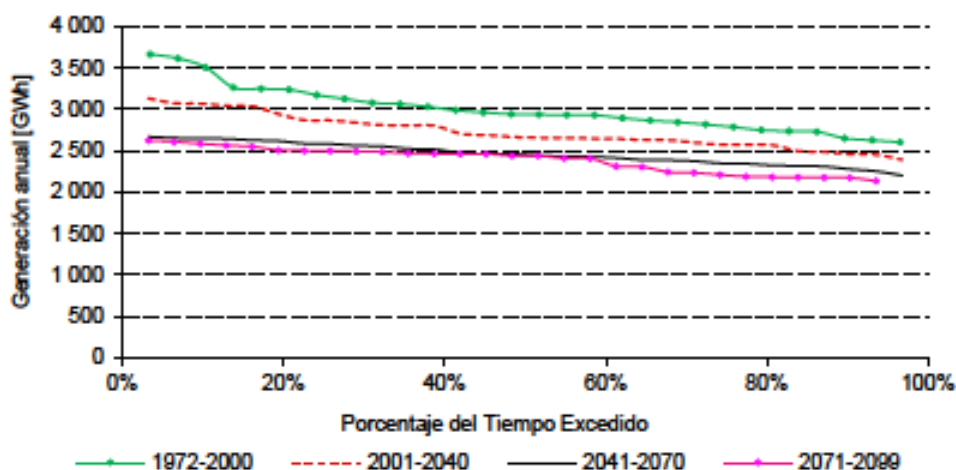
Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 23
COMPARACIÓN DE ENERGÍA ANUAL EN PERÍODOS FUTUROS EN ESCENARIO A2. HOYA INTERMEDIA

Período	Generación promedio anual [GWh]	Variación [%]	Desviación [GWh]	Máximo [GWh]	Mínimo [GWh]
1972-2000	3 000,1	0	278,7	3 664,9	2 603,4
2010-2040	2 727,1	-9,1	205,8	3 133,4	2 390,1
2041-2070	2 460,4	-18,0	133,0	2 668,0	2 201,2
2071-2099	2 378,7	-20,7	159,0	2 623,4	2 109,6

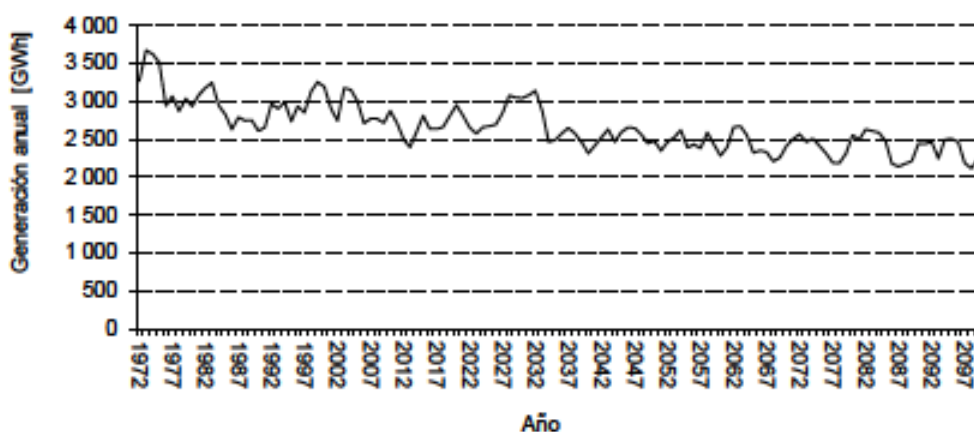
Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 23
CURVAS DE DURACIÓN DE ENERGÍA ANUAL EN ESCENARIO A2. HOYA INTERMEDIA



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 24
SERIE DE ENERGÍA ANUAL GENERADA EN ESCENARIO A2. HOYA INTERMEDIA



Fuente: Elaboración propia.

c) Energía generada para todo el sistema

En primer lugar se obtiene que el modelo de generación propuesto subestima la energía generada históricamente en aproximadamente 200 GWh anuales, lo que representa menos del 5%. La dispersión de los valores, por otro lado, es mucho menor cuando se aplica el modelo de generación propuesto, lo que refleja las limitaciones de un modelo de regresión, determinado únicamente por la hidrología, para representar las complejas decisiones de operación que determinan la entrada de unidades en el sistema Laja (véase cuadro 24).

Los resultados totales muestran de manera general la tendencia encontrada en los puntos anteriores, es decir, disminuciones moderadas (6,6%) para el período 2010-2040 y fuertes (superando el 15%) en los períodos 2041-2070 y 2071-2100 (véase cuadro 25).

Los gráficos 25 y 26 muestran estos resultados de manera gráfica.

CUADRO 24
COMPARACIÓN DE ENERGÍAS ANUALES OBSERVADAS Y SIMULADAS EN PERÍODO HISTÓRICO. SISTEMA LAJA

Período	Generación promedio anual [GWh]	Desviación [GWh]	Máximo [GWh]	Mínimo [GWh]
1986-2000 (observado)	4 486,4	1 050,5	6 685,9	2 484,7
1986-2000 (simulado)	4 274,0	322,5	4 816,5	3 696,2

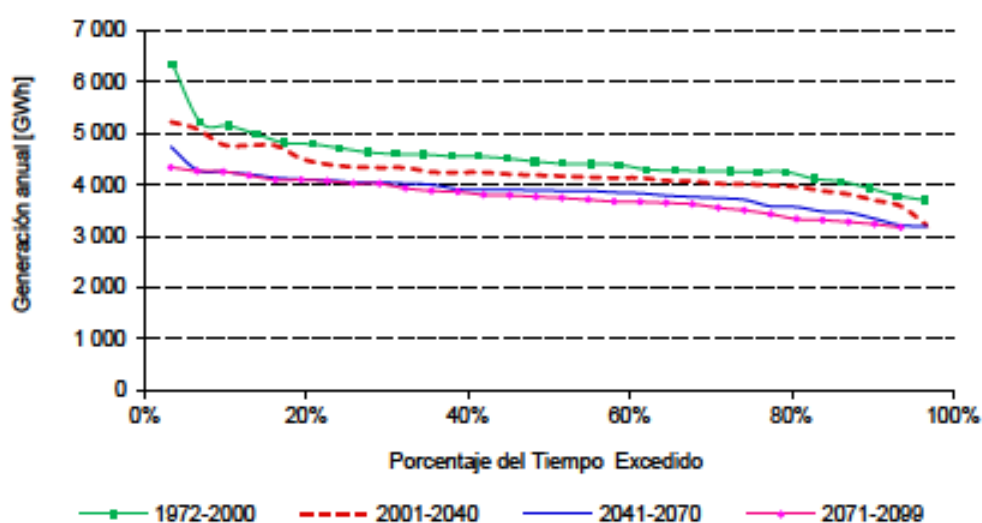
Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 25
COMPARACIÓN DE ENERGÍA ANUAL EN PERÍODOS FUTUROS. SISTEMA LAJA EN ESCENARIO A2

Período	Generación promedio anual [GWh]	Variación [%]	Desviación GWh]	Máximo [GWh]	Mínimo [GWh]
1972-2000	4 508,5	0	507,7	6 329,9	3 696,2
2010-2040	4 214,3	-6,5	418,2	5 220,1	3 201,6
2041-2070	3 856,0	-14,5	332,2	4 733,3	3 188,0
2071-2099	3 740,8	-17,0	347,8	4 334,6	3 064,3

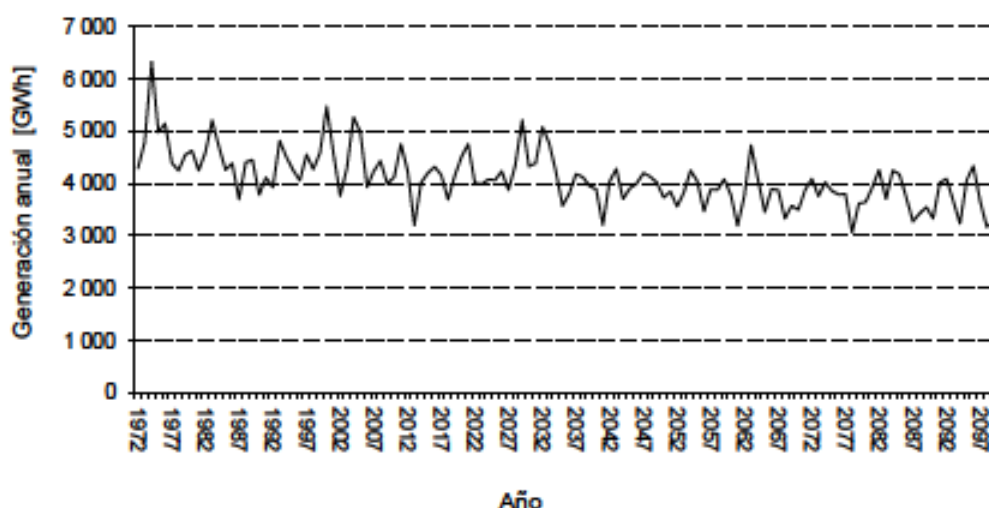
Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 25
CURVAS DE DURACIÓN DE ENERGÍA ANUAL EN ESCENARIO A2. SISTEMA LAJA



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 26
SERIE DE ENERGÍA ANUAL GENERADA EN ESCENARIO A2. SISTEMA LAJA



Fuente: Elaboración propia.

2. Resultados en escenario B2

a) Resultados para la central El Toro

En este punto se muestran los resultados a nivel anual de energía generada por la central El Toro para el período 1970-2100 en el escenario B2. En primer lugar se destaca el buen ajuste del modelo de generación con respecto a la energía producida históricamente (1986-2000), que se observa en el cuadro 26. Como en casos anteriores, el sesgo en el valor promedio es bajo, pero la amplitud de los valores simulados es menor que la observada.

Es posible apreciar una disminución de la energía generada hacia el futuro (véase gráficos 27 y 28). Ahora bien, tal como en el escenario A2, la disminución en el primer período del siglo XXI (2010-2040) es relativamente baja en relación al período histórico y se acerca al 4%. Sin embargo, en los períodos siguientes (2041-2070 y 2071-2100) la disminución es de alrededor de un 10% (véase cuadro 27).

CUADRO 26
COMPARACIÓN DE ENERGÍAS ANUALES OBSERVADAS Y SIMULADAS EN PERÍODO HISTÓRICO. CENTRAL EL TORO

Período	Generación promedio anual [GWh]	Desviación [GWh]	Máximo [GWh]	Mínimo [GWh]
1986-2000 (observado)	1 540,4	682,3	3.252,9	559,6
1986-2000 (simulado)	1 472,3	410,0	2.408,7	908,2

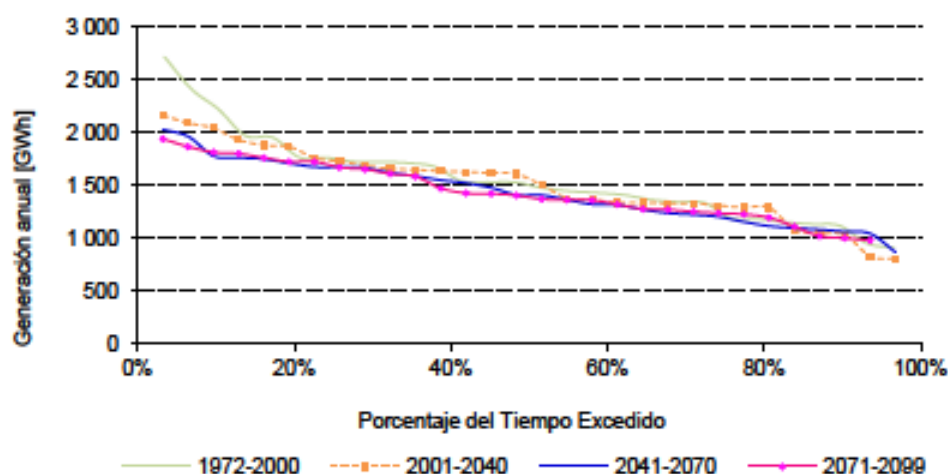
Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 27
COMPARACIÓN DE ENERGÍA ANUAL GENERADA EN PERÍODOS FUTUROS. CENTRAL EL TORO EN ESCENARIO B2

Período	Generación promedio anual [GWh]	Variación [%]	Desviación [GWh]	Máximo [GWh]	Mínimo [GWh]
1972-2000	1 556,6		421,3	2 710,5	908,2
2010-2039	1 503,3	-3,4	352,6	2 160,1	802,0
2040-2069	1 427,6	-8,3	293,5	2 023,0	865,5
2070-2099	1 421,8	-8,7	284,6	1 935,4	904,7

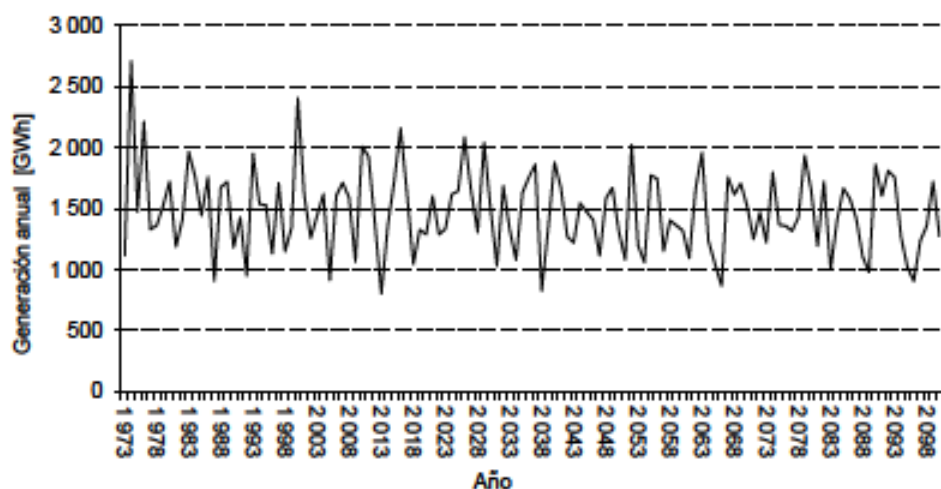
Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 27
CURVAS DE DURACIÓN DE ENERGÍA ANUAL EN ESCENARIO B2. CENTRAL EL TORO



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 28
SERIE DE ENERGÍA ANUAL GENERADA EN ESCENARIO B2. CENTRAL EL TORO



Fuente: Elaboración propia.

b) Resultados para las centrales de pasada de la hoya intermedia

De forma parecida a lo que se aprecia para el escenario A2, las centrales de pasada de la hoya intermedia presentan disminuciones en su energía anual generada mayores a las alcanzadas por la central El Toro. Esto puede explicarse por la mala capacidad de regulación que poseen en su operación. Así, la disminución en el primer período es de casi un 7% mientras que en la última ventana supera el 14% (véase cuadro 29).

También es posible apreciar claramente una fuerte disminución de los máximos y los mínimos a partir del año 2035 (véase gráfico 29). Este último resultado debe ser tomado con cautela, debido a las limitaciones de la metodología para representar las variaciones más extremas de la serie de energías observadas (véase cuadro 28).

CUADRO 28
COMPARACIÓN DE ENERGÍAS ANUALES OBSERVADAS Y SIMULADAS EN PERÍODO HISTÓRICO. HOYA INTERMEDIA

Período	Generación promedio anual [GWh]	Desviación [GWh]	Máximo [GWh]	Mínimo [GWh]
1986-2000 (observado)	2 946,0	527,6	3 531,5	1 925,1
1986-2000 (simulado)	2 888,2	197,1	3 247,8	2 593,9

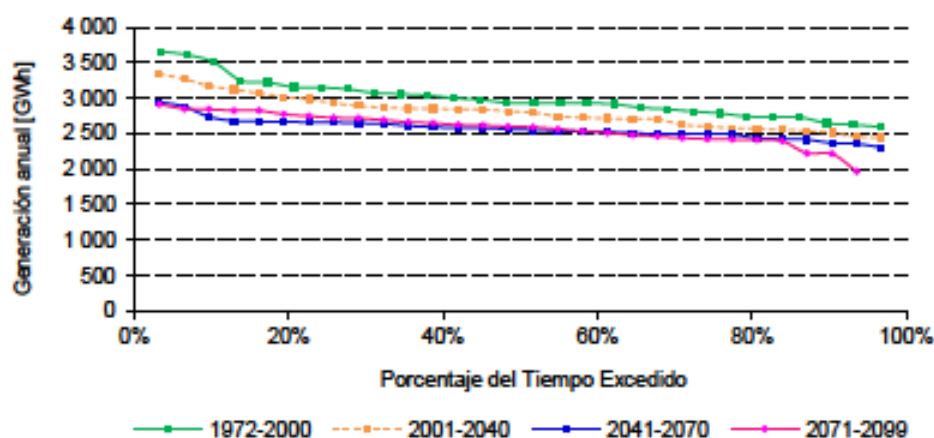
Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 29
COMPARACIÓN DE ENERGÍA ANUAL EN PERÍODOS FUTUROS. HOYA INTERMEDIA EN ESCENARIO B2

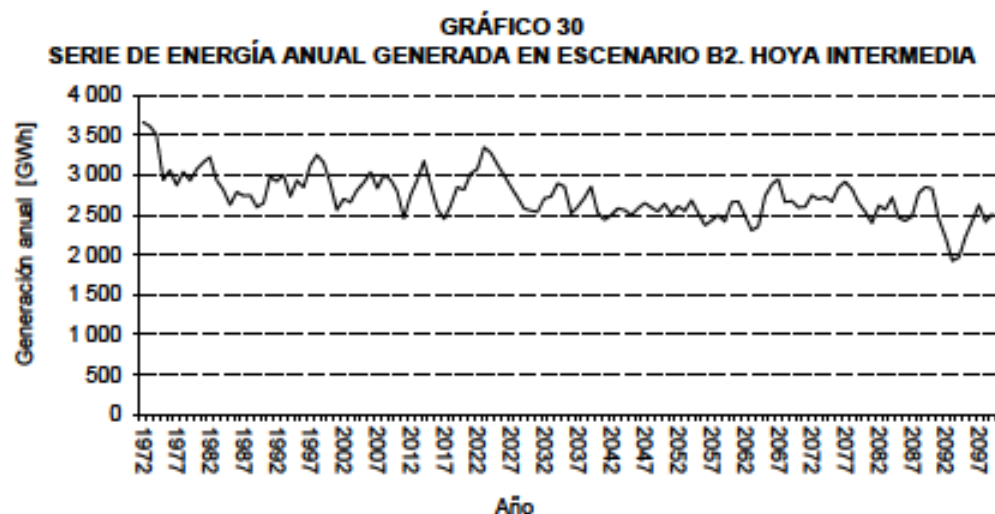
Período	Generación promedio anual [GWh]	Variación [%]	Desviación [GWh]	Máximo [GWh]	Mínimo [GWh]
1972-2000	2 994,8		274,1	3 658,9	2 593,9
2010-2040	2 805,5	6,3	236,5	3 344,5	2 447,2
2041-2070	2 586,6	14,3	141,3	2 943,6	2 303,9
2071-2099	2 553,4	14,7	243,5	2 913,4	1 919,8

Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 29
CURVAS DE DURACIÓN DE ENERGÍA ANUAL EN ESCENARIO B2. HOYA INTERMEDIA



Fuente: Elaboración propia.



c) Energía generada para todo el sistema

Al agregar la energía generada en todos los subsistemas, se corrobora el buen ajuste de los promedios anuales, con menos de 100 GWh de sesgo del modelo con respecto a los valores observados. Las desviaciones, por otro lado, son bastante disímiles, por lo que los resultados en cuanto a valores extremos deben ser interpretados con cautela (véase cuadro 30).

Los resultados totales muestran de manera general la tendencia encontrada en los puntos anteriores, es decir, disminuciones moderada (5,3%) para el período 2010-2040 y algo más fuerte (superando el 10%) en los períodos 2041-2070 y 2071-2100 (véase cuadro 31).

CUADRO 30
COMPARACIÓN DE ENERGÍAS ANUALES OBSERVADAS Y SIMULADAS EN PERÍODO HISTÓRICO. SISTEMA LAJA

Período	Generación promedio anual [GWh]	Desviación [GWh]	Máximo [GWh]	Mínimo [GWh]
1988-2000 (observado)	4 486,4	1 050,5	6 685,9	2 484,7
1988-2000 (simulado)	4 380,5	479,5	5 557,3	3 694,3

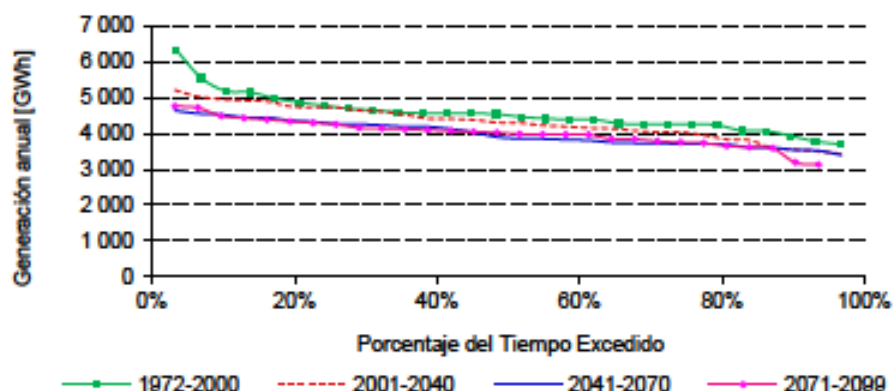
Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 31
COMPARACIÓN DE ENERGÍA ANUAL EN PERÍODOS FUTUROS. SISTEMA LAJA EN ESCENARIO B2

Período	Generación promedio anual [GWh]	Variación [%]	Desviación [GWh]	Máximo [GWh]	Mínimo [GWh]
1972-2000	4 551,3		543,6	6 320,3	3 694,3
2010-2040	4 308,9	5,3	482,1	5 209,6	3 427,3
2041-2070	3 994,2	12,2	354,7	4 639,0	3 395,6
2071-2099	3 975,1	12,7	419,8	4 760,6	2 982,0

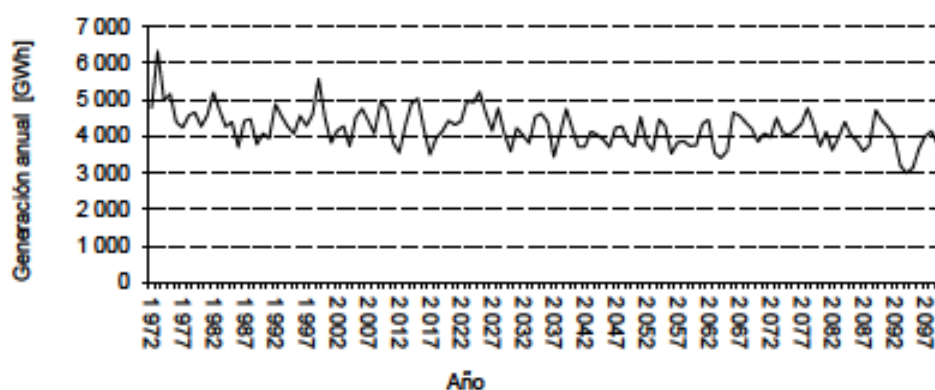
Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 31
CURVAS DE DURACIÓN DE ENERGÍA ANUAL EN ESCENARIO B2. SISTEMA LAJA



Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO 32
SERIE DE ENERGÍA ANUAL GENERADA EN ESCENARIO B2. SISTEMA LAJA



Fuente: Elaboración propia.

3. Comparación de escenarios A2 y B2

En el cuadro 32 se puede apreciar una comparación entre las reducciones de los valores promedio correspondientes a los escenarios A2 y B2. Es posible apreciar que el escenario B2 muestra disminuciones menores de energía generada al largo plazo. Sin embargo, las magnitudes alcanzadas no difieren en gran medida para ambos escenarios, siendo la diferencia máxima de 5% para el período 2070-2100.

CUADRO 32
COMPARACIÓN DE ESCENARIOS A2 Y B2

Período	Variación [%]	
	Escenario A2	Escenario B2
1972-2000		
2010-2040	-8,5	-5,3
2040-2070	-14,5	-12,2
2070-2100	-17,0	-12,7

Fuente: Elaboración propia.

C) Extrapolación a otras cuencas con desarrollo hidroeléctrico

Con el fin de obtener una estimación del impacto de escenarios de cambio climático sobre el potencial de generación hidroeléctrica en el SIC, dada su configuración actual, se estudió la generación histórica en todas las centrales hidroeléctricas del sistema y se la relacionó con las proyecciones de energía ya desarrolladas para las cuencas de Maule y Laja. Adicionalmente, se desarrolló una relación específica Caudal vs. Energía para la cuenca del río Maipo, dado que en dicho caso se calcularon caudales futuros como parte del estudio de vulnerabilidad del sector Agua Potable. Las centrales hidroeléctricas incluidas en el análisis se agruparon por cuenca hidrográfica, y son las que se presentan en el cuadro 33.

CUADRO 33
CENTRALES HIDROELÉCTRICAS SIC INCLUIDAS EN EXTENSIÓN ESTUDIO DE IMPACTO CC

Central	Cuenca	Central	Cuenca
Aconcagua	Aconcagua	El Toro	Laja
Chacabuquito	Aconcagua	Quilleco	Laja
Hornitos	Aconcagua	Rucue	Laja
Los Quilos	Aconcagua	Alfalfal	Maipo
Sauce Andes	Aconcagua	Florida	Maipo
Mampil	Biobio	Maitenes	Maipo
Palmucho	Biobio	Queltehues	Maipo
Pangue	Biobio	Volcan	Maipo
Peuchen	Biobio	Chiburgo	Maule
Ralco	Biobio	Cipreses	Maule
Coya	Cachapoal-Teno	Colbun	Maule
Rapel	Cachapoal-Teno	Curillinque	Maule
Sauzal	Cachapoal-Teno	Isla	Maule
Sauzalito	Cachapoal-Teno	Lircay	Maule
Pullinque	Panguipulli	Loma Alta	Maule
Capullo	Puyehue	Machicura	Maule
Pilmaiquén	Puyehue	Ojos de Agua	Maule
Abanico	Laja	Pehuenche	Maule
Antuco	Laja	San Ignacio	Maule

Fuente: Elaboración propia.

A partir del valor de energía anual generada obtenido de la CNE y de los datos de caudal observado fue posible construir relaciones estadísticas entre las variables de interés. Estas relaciones se indican a continuación:

- $EACN=0,88*EMPO - 655$
- $EMPO=356*Ln(QMPO)$
- $ECPL=2,17*EMPO - 2.010$
- $EBB=1,2*EMLE - 5.226$
- $EOS=0,0423*EMLE + 142,9$

Donde EACN=energía anual centrales Aconcagua (GWh); EMPO=energía anual centrales Maipo (GWh); QMPO=caudal medio anual Maipo en San Alfonso (m^3/s); ECPL=energía anual centrales Cachapoal (GWh); EMLE=energía anual centrales Maule (GWh); EBB=energía anual centrales Alto Bio-Bio a partir de 2004; EOS=energía anual centrales Panguipulli y Puyehue (GWh).

En el caso de la cuenca del río Maipo, se contó con caudales y energías históricas, así como proyecciones de caudal futuro desarrolladas en este estudio. Las mejores relaciones para Aconcagua y Cachapoal resultaron ser con la energía generada en Maipo, lo que no debe sorprender si se considera que las centrales existentes en estos sistemas son, al igual que en el Maipo, principalmente de pasada. En el caso de la cuenca del Bío-Bío, el mejor ajuste resultó ser aquél con la energía generada en el sistema Maule. Es necesario puntualizar que sólo se contó con cinco años de estadísticas de generación para el sistema Bío-Bío en su configuración actual, esto es, a partir de la puesta en marcha de la central Ralco. El ajuste de estas relaciones se presenta en Anexo.

Utilizando las relaciones arriba indicadas y combinándolas con las variaciones de caudal en las cuencas de Maipo, Maule y Laja presentadas en el estudio de vulnerabilidad hidrológica, se obtienen las proyecciones de generación que se muestran en el cuadro 34. Las variaciones de caudal utilizadas como referencia fueron a su vez corregidas para reflejar el hecho de que las variaciones climáticas (precipitación y temperatura) no son uniformes a lo largo de todas las cuencas estudiadas. Las variaciones en el potencial de generación hidroeléctrica para todo el SIC en su configuración actual van desde 11% en el período cercano hasta un 22% en el período futuro lejano en el escenario A2. En el caso del escenario B2 estos valores varían en el rango 10% a 16%. Esta variación porcentual está en línea con los cambios porcentuales estimados para la variable caudal, obtenidos en el estudio de vulnerabilidad hidrológica. Entre las cuencas individuales, la cuenca del río Bío-Bío aparece como la más sensible, pero este resultado debe ser tomado con cautela debido a la escasa información histórica disponible y a posibles diferencias entre el régimen hidrológico del alto Bío-Bío y el de la cuenca alta del río Maule. Por otro lado, la cuenca del río Maipo presenta pequeñas variaciones porcentuales, que resultan de una curva E vs Q relativamente plana en el rango de caudal observado.

CUADRO 34
PROYECCIONES DE VARIACIÓN DEL POTENCIAL HIDROELÉCTRICO DEL SIC - ESCENARIO A2

	Aconcagua	Maipo	Cachapoal	Biobio	Maule	Laja	Otras Sur	Total Sistema
Periodo referencia	1996-2008	1996-2008	1996-2008	2004-2008	1976-2008	1973-2000	1996-2008	-
Energía Anual Referencia	756	1 584	1 555	4 798	7 282	4 508	455	20 938
Escenario A2								
	Aconcagua	Maipo	Cachapoal	Biobio	Maule	Laja	Otras Sur	Total
2011-2040	711	1 572	1 429	4 238	7 045	4 214	438	19 647
2041-2070	598	1 458	1 216	4 017	6 820	3 858	441	18 406
2071-2099	602	1 448	1 194	3 217	6 480	3 741	429	17 110
Variaciones porcentuales								
2011-2040	6%	1%	8%	12%	3%	7%	4%	6%
2041-2070	21%	8%	22%	16%	6%	14%	3%	12%
2071-2099	20%	9%	23%	33%	11%	17%	6%	18%
Escenario B2								
	Aconcagua	Maipo	Cachapoal	Biobio	Maule	Laja	Otras Sur	Total
2011-2040	667	1 529	1 528	4 346	7 054	4 309	440	19 873
2041-2070	631	1 457	1 304	4 081	6 841	3 994	439	18 748
2071-2099	683	1 448	1 410	3 629	6 719	3 975	428	18 293
Variaciones porcentuales								
2011-2040	12%	3%	2%	9%	3%	4%	3%	5%
2041-2070	16%	8%	16%	15%	6%	11%	3%	10%
2071-2099	10%	9%	9%	24%	8%	12%	6%	13%

Fuente: Elaboración propia.

IV. Conclusiones

Este informe presenta los valores proyectados de energía hidroeléctrica generables en los subsistemas del SIC ante los escenarios de cambio climático A2 y B2. Las proyecciones se basan en proyecciones de caudales naturales obtenidos mediante simulación hidrológica, y en modelos estadísticos que relacionan los valores históricos de caudales en puntos clave y la energía generada en cada subsistema. Por lo tanto, las proyecciones de energía que se presentan tienen implícita la suposición de que el sistema hidroeléctrico actualmente en operación no variará sus criterios de operación de manera sustantiva en el futuro.

Las variaciones en generación potencial de cada sistema no necesariamente son proporcionales con las reducciones proyectadas de precipitación y caudal. En efecto, las características de cada instalación generadora y sus capacidades para aprovechar caudales altos indican en la forma de la relación energía vs caudal, y arrojan sensibilidades dispares en cada caso.

A partir de los resultados obtenidos, se aprecia que las variaciones porcentuales energía generable proyectadas están en el rango de 8% a 27% en los periodos Futuro Medio y Lejano, con la excepción del sistema Ralco-Pangue que ve descensos de hasta 33% en el escenario A2. Esta última estimación está sujeta a un nivel mayor de incertidumbre dado lo reciente de la puesta en marcha de la central Ralco. Para periodos temporales cercanos los descensos son mucho más moderados. Cabe mencionar que los resultados sintéticos tienden a subestimar la variabilidad observada en la generación anual de cada sistema.

No se aprecia, en el caso del sistema Maule, variación significativa de la distribución estacional de la energía generable. Lo anterior resulta, en gran medida, de la combinación de cuencas de régimen hidrológico tanto nival y pluvial en el modelo estadístico que relaciona energías y caudales.

Para el sistema Laja, por otro lado, sólo se realizaron análisis a nivel anual, debido a la importancia del efecto regulador de la laguna del Laja.

Finalmente, a nivel de todo el SIC, las reducciones promedio en energía generable atribuibles al cambio climático, en escenario A2, son de 6, 12 y 18% en los periodos cercano, medio y lejano, respectivamente. En términos absolutos, esto equivale aproximadamente a perder la energía anual promedio generada por la combinación de las centrales del Aconcagua y Maipo hacia el período 2071-2100. Para el escenario B2, las reducciones son similares en el período cercano pero luego se estabilizan en el futuro lejano, con valores de 5, 10 y 13%.

Las estimaciones presentadas en este informe son de naturaleza cuantitativa, pero no obstante están sujetas a fuentes de incertidumbre importantes, que se pueden clasificar en:

- Incertidumbre en las proyecciones climáticas
- Incertidumbre en escalamiento de clima futuro a nivel local
- Incertidumbre en la modelación hidrológica
- Incertidumbre en la relación caudal/energía generada

La primera fuente de incertidumbre proviene en parte de utilizar proyecciones de un único modelo climático, el HadCM3, para llevar a cabo los análisis. En función de los alcances, plazo y recursos disponibles para efectuar este trabajo, la anterior fue la única opción factible. Sin embargo, es importante notar que de todos los modelos climáticos de circulación general disponibles en la actualidad, ninguno proyecta aumentos de precipitación en la zona de estudio.

La segunda fuente de incertidumbre es ineludible, por cuanto la escala espacial de las cuencas hidrográficas de interés hace imprescindible llevar los resultados de la grilla del modelo de circulación general a una escala regional de menor tamaño. El procedimiento de escalamiento se presenta en un informe aparte, pero se puede comentar que los ajustes realizados son adecuados en un rango no extremo de valores. Una suposición fuerte en este caso es que la distribución de frecuencias de las variables climáticas en el futuro se mantendrá inalterada respecto a los valores observados. No existen antecedentes que permitan invalidar este supuesto.

La tercera fuente de incertidumbre se compone a su vez de varios elementos, que incluyen la selección del modelo hidrológico, la distribución espacial de las variables climáticas forzantes, y la calibración del modelo para ajustar sus salidas a los caudales observados. En parte debido a que los resultados que se entregan en este informe se concentran en variaciones de los caudales anuales promedio a lo largo de ventanas de tiempo extensas, varias de las fuentes de incertidumbre nombradas arriba disminuyen en relevancia, respecto de las primeras dos categorías.

En último lugar, la incertidumbre respecto de la relación caudal/energía puede cuantificarse como el error estándar de las regresiones utilizadas en los modelos estadísticos implementados en todos los casos. Sin embargo, los escenarios futuros de composición de la matriz energética no han sido tomados en cuenta para este informe, y serán de importancia en la cuantificación de costos totales futuros. Ante la dificultad de desarrollar dichos escenarios en el plazo asignado para este estudio, los resultados que se muestran aquí sólo corresponden a un potencial hidroeléctrico estimado sobre la base de operaciones históricas, y no a una proyección de operaciones del sistema hidroeléctrico chileno en el futuro.

Bibliografía

- CNE (Comisión Nacional de Energía) (2009), base de datos de CNE [en línea] www.cne.cl/.
- CDEC-SIC (Centro de Despacho Económico de Carga-Sistema Interconectado Central) (2009), base de datos de CDEC-SIC [en línea] www.cdec-sic.cl/.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2012). La economía del cambio climático en Chile. LC/W.472. Santiago, Chile.
- (2009). La economía del cambio climático en Chile: Síntesis. LC/W.288. Santiago, Chile.

Anexos

ANEXO 1
SERIE DE ENERGÍAS MENSUALES GENERADAS. SISTEMA MAULE-COLBÚN. ESCENARIO A2

	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
1976	447,8	471,0	529,9	518,3	534,9	536,9	570,3	623,0	637,2	554,4	497,2	436,1
1977	416,0	504,4	727,5	698,1	678,9	679,1	706,4	780,8	748,1	644,5	593,8	529,1
1978	501,1	561,9	670,9	693,1	639,2	645,6	701,4	794,2	763,9	665,3	614,6	568,6
1979	571,6	569,9	611,9	641,8	622,0	627,3	677,5	730,2	714,5	622,8	575,3	513,7
1980	491,5	560,7	644,6	633,1	622,0	611,1	640,3	684,0	657,7	570,3	526,2	466,0
1981	524,5	688,2	741,9	709,1	664,9	676,1	720,7	795,8	777,1	670,6	618,7	553,6
1982	527,5	592,6	701,6	726,3	666,5	667,9	723,9	776,9	771,0	661,4	610,6	548,8
1983	525,9	529,5	594,2	683,4	653,4	656,0	694,2	743,1	769,2	653,1	602,0	547,3
1985	478,6	539,0	558,4	624,7	626,8	639,5	654,8	702,2	700,1	618,3	556,0	499,9
1986	488,9	514,3	528,7	539,8	550,5	544,7	562,1	629,8	602,0	527,3	490,3	428,6
1987	503,7	570,4	684,6	731,7	662,8	672,4	740,1	780,5	747,2	646,5	598,5	535,1
1988	517,9	532,8	629,1	576,4	551,1	539,7	568,5	631,7	618,6	574,2	508,2	572,9
1989	589,4	610,0	615,3	582,1	565,0	557,7	568,9	627,6	608,2	526,5	490,0	434,7
1990	438,4	472,0	655,3	630,9	590,9	609,0	658,9	714,9	701,9	598,8	551,3	496,7
1991	543,8	602,2	631,2	610,3	566,5	580,9	627,2	687,6	672,0	580,2	535,6	492,8
1992	533,4	624,5	667,7	692,3	643,5	641,9	681,1	720,0	705,2	604,9	563,5	504,7
1993	490,0	515,1	531,8	538,1	525,8	517,2	576,4	659,9	658,9	569,4	519,0	458,8
1994	437,1	609,6	688,2	666,6	617,3	619,0	666,4	716,4	701,3	607,1	568,4	526,8
1995	504,2	506,7	622,1	615,8	578,8	568,1	587,4	642,7	693,1	571,1	531,3	467,8
1996	474,5	558,3	638,7	637,4	620,7	643,9	683,2	736,4	719,4	634,3	574,5	534,0
1997	558,7	594,4	603,9	601,5	578,5	576,8	595,5	657,3	673,1	575,2	528,0	469,2

(continúa)

Anexo 1 (continuación)

	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
1998	631,7	715,2	680,7	642,9	639,6	679,8	723,5	806,0	792,0	691,2	638,4	575,5
1999	545,9	625,0	672,5	671,1	690,3	690,1	737,6	781,2	745,8	673,0	646,9	588,3
2000	560,0	549,9	625,1	589,1	567,6	572,0	582,2	622,1	664,2	566,8	517,1	465,1
2001	462,0	447,2	546,8	528,0	508,6	546,0	609,8	686,9	658,5	597,6	532,1	469,4
2002	458,4	507,3	579,7	616,9	597,8	573,2	612,8	663,7	689,7	583,2	530,1	471,3
2003	458,9	440,5	507,8	660,6	636,0	634,2	680,5	751,3	773,4	651,2	626,1	555,6
2004	585,0	596,7	687,3	697,7	689,1	738,2	801,7	836,9	821,4	705,3	653,7	600,4
2005	592,0	568,4	569,7	604,6	591,5	596,6	608,7	649,2	641,3	555,1	517,5	460,7
2006	441,1	479,7	562,2	561,8	526,9	517,1	541,4	637,6	760,3	651,1	588,4	523,7
2007	533,1	518,3	639,6	595,0	577,1	577,0	591,4	644,1	625,0	537,5	494,1	457,6
2008	460,6	446,9	520,9	632,6	605,7	584,1	614,3	677,9	716,2	592,3	546,2	493,5
2009	483,7	537,7	636,3	638,5	647,8	653,0	691,3	738,2	706,3	632,3	571,4	508,8
2010	495,8	474,8	511,7	593,9	573,3	598,7	616,1	705,6	708,8	628,1	564,4	500,6
2011	488,7	468,5	508,1	598,9	583,2	586,7	623,8	714,1	715,4	613,4	564,3	501,3
2012	494,7	476,1	534,9	581,9	575,6	559,5	590,2	698,1	766,2	646,9	582,7	533,2
2013	506,8	517,1	593,4	597,5	582,5	574,7	597,9	646,5	612,0	527,0	486,1	452,3
2014	461,1	489,7	547,3	589,1	562,9	542,9	558,7	615,8	604,5	511,9	466,2	406,6
2015	399,2	386,6	550,5	592,4	548,1	584,0	658,2	711,6	691,5	618,4	547,2	497,5
2016	499,3	482,9	519,7	645,7	618,8	602,4	647,1	712,0	722,7	610,0	560,1	512,6
2017	495,9	527,9	644,0	705,1	665,2	669,1	685,8	742,0	721,9	627,9	596,3	550,2
2018	530,8	521,4	616,8	659,0	619,8	608,9	636,4	682,3	659,0	568,0	525,0	527,5
2019	500,0	486,3	509,4	662,0	615,8	604,1	638,2	704,4	727,4	627,9	564,7	499,9
2020	489,3	469,7	593,6	680,2	634,3	629,9	650,2	705,2	741,2	621,9	569,9	504,7

(continúa)

Anexo 1 (continuación)

	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
2021	478,9	474,4	605,1	689,6	668,7	695,1	741,8	765,9	788,4	656,1	605,4	558,4
2022	529,4	564,6	698,0	668,2	633,5	627,1	688,4	739,1	687,6	603,2	560,2	500,0
2020	489,3	469,7	593,6	680,2	634,3	629,9	650,2	705,2	741,2	621,9	569,9	504,7
2021	478,9	474,4	605,1	689,6	668,7	695,1	741,8	765,9	788,4	656,1	605,4	558,4
2022	529,4	564,6	698,0	668,2	633,5	627,1	688,4	739,1	687,6	603,2	560,2	500,0
2023	478,2	505,4	541,1	582,0	541,1	535,2	544,4	602,5	700,3	588,8	524,4	478,5
2024	469,5	536,9	556,3	623,4	605,4	655,6	658,3	690,1	661,3	595,3	538,4	477,6
2025	452,4	455,7	579,7	619,1	578,0	571,0	621,3	695,4	680,8	598,5	533,9	491,9
2026	536,0	585,8	613,3	609,8	619,3	667,5	688,3	725,1	693,8	611,9	561,1	663,1
2027	641,2	585,6	654,0	640,7	610,0	630,5	649,5	690,8	720,8	608,1	562,0	500,1
2028	479,1	456,0	677,0	631,9	581,4	564,0	598,9	677,5	714,8	610,0	547,4	483,6
2029	467,6	474,8	681,3	663,4	628,1	710,1	756,3	787,8	746,8	671,6	658,4	587,3
2030	597,5	590,6	663,8	706,2	668,3	687,3	733,3	778,8	739,9	645,7	600,3	542,0
2031	518,3	492,0	533,2	555,3	580,1	581,3	587,9	629,3	610,5	525,0	485,6	454,4
2032	463,4	450,6	518,1	636,9	605,2	601,7	637,7	696,9	666,4	574,8	528,4	466,0
2033	442,1	419,9	528,3	632,3	615,4	625,2	675,5	740,7	712,9	617,9	563,3	515,6
2034	608,3	601,8	708,9	638,3	598,4	598,9	608,3	647,3	637,8	547,7	506,9	447,9
2035	493,8	563,4	620,8	571,1	563,5	559,7	566,8	641,3	622,7	568,2	628,0	553,1
2036	509,4	508,4	514,3	526,4	512,6	498,9	549,4	607,2	579,3	497,0	457,0	406,1
2037	483,7	506,6	684,8	620,8	581,9	618,1	635,7	720,9	691,3	613,6	633,7	559,7
2038	528,0	551,9	679,0	697,8	656,1	639,6	677,4	723,4	681,6	591,6	582,2	551,0
2039	529,0	537,5	585,6	667,2	620,6	625,6	645,1	717,1	714,9	621,8	568,5	504,8
2040	490,6	500,7	604,5	591,9	576,0	594,3	621,6	680,8	657,3	579,9	525,4	507,3
2041	554,8	576,9	566,5	610,6	574,1	556,7	565,4	607,0	570,5	493,6	456,4	438,4
2042	461,4	664,6	656,3	639,3	606,0	615,0	653,6	704,3	675,6	584,3	538,4	476,4
2043	501,4	578,7	573,5	625,4	575,8	565,8	579,3	617,9	656,1	548,4	499,4	442,2

(continúa)

Anexo 1 (continuación)

	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
2044	419,6	467,8	530,3	577,5	545,7	550,7	574,6	672,5	658,1	560,3	512,9	449,4
2045	547,3	565,6	558,8	632,8	596,2	609,5	619,1	701,9	675,6	586,8	553,7	489,2
2046	480,4	508,5	572,6	598,2	585,3	578,5	592,6	639,2	672,4	560,5	667,2	606,2
2047	556,9	534,9	543,0	632,7	614,0	682,1	694,5	712,7	675,4	589,5	553,5	640,5
2048	613,4	586,7	602,6	657,4	615,4	609,4	658,2	695,5	698,1	600,6	550,9	489,7
2049	490,1	501,3	566,6	658,1	604,1	651,8	689,3	717,4	689,9	617,0	556,4	493,7
2050	470,6	536,2	605,6	570,0	564,2	559,0	572,7	615,9	576,5	495,7	456,9	400,3
2051	396,6	453,1	664,4	612,6	579,9	591,2	624,5	692,5	659,2	564,1	543,2	477,4
2052	477,7	497,2	512,9	609,1	590,3	592,8	595,2	634,1	587,9	521,7	537,8	471,9
2053	462,5	572,9	686,3	611,7	597,3	588,2	645,9	702,0	690,2	590,3	557,1	501,6
2054	618,8	663,7	622,6	690,0	651,4	633,4	640,4	682,3	655,0	587,6	532,7	486,4
2055	464,0	565,0	623,0	564,0	544,3	530,4	542,7	588,8	607,2	535,7	470,0	437,0
2056	478,8	514,5	533,1	644,9	595,5	593,0	643,1	700,5	654,2	576,3	524,7	462,7
2057	442,6	469,1	661,6	696,6	653,5	673,9	737,1	759,9	721,7	624,6	577,9	544,2
2058	593,7	632,6	636,2	598,2	589,4	569,7	571,3	598,2	563,3	493,0	459,5	430,1
2059	418,3	511,0	563,6	635,6	604,7	590,4	615,7	672,7	629,9	540,6	496,8	435,5
2060	413,5	419,2	546,7	641,8	604,8	594,8	637,1	696,0	650,4	560,4	515,5	454,8
2061	561,3	579,9	579,2	538,6	529,2	518,7	519,8	614,9	595,7	516,6	476,5	460,4
2062	503,5	581,9	686,6	646,8	621,5	620,4	657,6	696,3	690,7	581,3	535,3	472,8
2063	481,3	654,5	683,3	665,4	616,4	612,7	647,3	681,6	634,4	565,5	515,6	485,7
2064	485,0	516,1	556,0	576,7	548,6	546,3	551,2	654,9	626,1	553,4	500,8	462,0
2065	451,9	464,8	531,9	576,4	558,6	584,1	598,0	660,8	691,0	575,1	528,0	632,0
2066	605,3	589,4	640,0	647,9	608,6	605,5	622,3	689,5	657,4	582,3	529,9	470,2
2067	503,7	560,5	574,1	578,8	551,2	562,3	588,3	630,7	590,8	510,4	471,1	413,9
2068	442,9	458,1	493,0	633,1	593,1	586,8	598,5	648,8	596,8	518,1	476,3	618,5
2069	595,9	570,2	625,9	629,4	622,6	615,5	631,4	674,7	632,1	548,3	508,1	480,2
2070	455,3	506,9	521,6	638,3	600,5	593,1	633,8	713,6	674,9	582,6	536,8	476,0
2071	501,4	599,4	651,8	617,8	589,2	600,5	620,3	702,6	687,7	588,7	543,8	505,9

(continúa)

Anexo 1 (conclusión)

	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
2072	511,7	511,8	614,0	611,3	578,3	589,6	599,8	634,8	599,7	518,9	480,5	423,2
2073	413,2	452,4	617,3	544,4	558,5	570,0	597,8	653,9	614,8	526,2	482,4	447,1
2074	422,9	588,9	616,5	598,0	564,1	562,1	578,5	626,8	576,1	495,1	457,2	415,1
2075	473,3	508,9	561,6	516,2	493,1	482,9	488,5	522,8	655,6	563,5	482,5	443,6
2076	450,2	483,1	559,3	512,3	481,9	556,8	598,4	628,1	562,0	485,5	445,4	418,8
2077	413,0	441,0	507,3	556,6	517,4	512,3	528,5	594,8	561,8	472,7	429,6	365,6
2078	390,2	456,3	498,4	462,1	470,1	497,2	517,1	540,5	538,5	474,6	408,4	348,9
2079	416,3	480,2	604,1	559,1	543,2	539,0	558,0	601,4	560,7	472,1	426,9	368,3
2080	356,0	460,8	504,9	541,7	526,3	536,3	551,5	658,6	626,2	535,2	486,2	421,0
2081	401,6	416,6	640,3	556,7	529,9	610,8	671,9	736,4	719,7	614,7	563,8	501,3
2082	570,7	655,3	691,1	606,2	589,8	638,4	649,7	677,0	640,5	559,5	519,5	460,4
2083	458,8	491,5	619,3	601,1	565,0	622,6	639,9	674,1	629,2	544,1	502,6	464,9
2084	589,6	663,1	638,8	586,2	576,6	629,6	644,4	688,2	649,2	570,6	530,0	470,4
2085	454,0	464,9	596,9	572,6	530,3	552,7	608,7	669,9	619,3	553,2	499,4	442,3
2086	596,8	620,9	606,8	554,2	582,8	573,6	602,0	641,1	589,2	537,0	486,2	438,9
2087	455,3	500,4	528,3	483,2	495,5	518,4	543,7	583,4	531,0	460,9	419,3	375,4
2088	407,8	501,2	552,3	560,7	520,4	523,3	599,5	661,0	612,6	526,9	489,2	464,0
2089	443,8	466,7	473,2	519,4	521,4	513,2	540,0	604,5	560,4	481,6	526,6	495,9
2090	467,4	472,7	604,4	526,9	494,0	507,6	509,7	562,0	516,6	442,9	399,1	336,0
2091	326,5	372,8	677,9	563,9	563,0	554,8	631,8	699,5	683,4	573,3	522,6	497,5
2092	564,1	604,0	587,2	555,3	532,8	533,6	529,7	549,2	500,5	434,0	401,3	382,7
2093	378,4	409,8	660,3	600,1	563,7	565,2	600,7	656,2	594,2	507,1	463,1	418,8
2094	451,4	474,1	470,2	482,6	489,8	480,2	544,0	608,4	647,5	534,3	481,8	416,6
2095	399,3	484,8	656,1	621,9	575,8	585,9	609,7	665,8	692,4	580,0	534,8	475,0
2096	446,4	568,6	539,6	580,4	543,5	579,5	603,6	632,9	573,6	499,2	459,6	432,6
2097	410,5	477,6	536,4	502,8	565,0	555,7	577,3	615,1	563,7	480,4	440,8	379,3
2098	366,1	433,7	517,5	541,1	517,7	510,2	536,3	597,2	647,4	524,0	471,2	404,7
2099	390,8	428,2	606,2	585,1	560,6	566,1	636,4	691,4	621,0	552,8	497,8	458,3

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 2

SERIE DE ENERGÍAS MENSUALES GENERADAS. SISTEMA MAULE-COLBÚN. ESCENARIO B2

	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
1976	447,8	471,0	529,9	518,3	534,9	536,9	570,3	623,0	637,2	554,4	497,2	436,1
1977	416,0	504,4	727,5	698,1	678,9	679,1	706,4	780,8	748,1	644,5	593,8	529,1
1978	501,1	561,9	670,9	693,1	639,2	645,6	701,4	794,2	763,9	665,3	614,6	568,6
1979	571,6	569,9	611,9	641,8	622,0	627,3	677,5	730,2	714,5	622,8	575,3	513,7
1980	491,5	560,7	644,6	633,1	622,0	611,1	640,3	684,0	657,7	570,3	526,2	466,0
1981	524,5	688,2	741,9	709,1	664,9	676,1	720,7	795,8	777,1	670,6	618,7	553,6
1982	527,5	592,6	701,6	726,3	666,5	667,9	723,9	776,9	771,0	661,4	610,6	548,8
1983	525,9	529,5	594,2	683,4	653,4	656,0	694,2	743,1	769,2	653,1	602,0	547,3
1984	530,6	692,3	674,2	665,8	627,1	617,8	644,8	682,9	648,6	580,8	530,5	485,7
1985	478,6	539,0	558,4	624,7	626,8	639,5	654,8	702,2	700,1	618,3	556,0	499,9
1986	488,9	514,3	528,7	539,8	550,5	544,7	562,1	629,8	602,0	527,3	490,3	428,6
1987	503,7	570,4	684,6	731,7	662,8	672,4	740,1	780,5	747,2	646,5	598,5	535,1
1988	517,9	532,8	629,1	576,4	551,1	539,7	568,5	631,7	618,6	574,2	508,2	572,9
1989	589,4	610,0	615,3	582,1	565,0	557,7	568,9	627,6	608,2	526,5	490,0	434,7
1990	438,4	472,0	655,3	630,9	590,9	609,0	658,9	714,9	701,9	598,8	551,3	496,7
1991	543,8	602,2	631,2	610,3	566,5	580,9	627,2	687,6	672,0	580,2	535,6	492,8
1992	533,4	624,5	667,7	692,3	643,5	641,9	681,1	720,0	705,2	604,9	563,5	504,7
1993	490,0	515,1	531,8	538,1	525,8	517,2	576,4	659,9	658,9	569,4	519,0	458,8
1994	437,1	609,6	688,2	666,6	617,3	619,0	666,4	716,4	701,3	607,1	568,4	526,8
1995	504,2	506,7	622,1	615,8	578,8	568,1	587,4	642,7	693,1	571,1	531,3	467,8
1996	474,5	558,3	638,7	637,4	620,7	643,9	683,2	736,4	719,4	634,3	574,5	534,0
1997	558,7	594,4	603,9	601,5	578,5	576,8	595,5	657,3	673,1	575,2	528,0	469,2

(continúa)

Anexo 2 (continuación)

	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
1998	631,7	715,2	680,7	642,9	639,6	679,8	723,5	806,0	792,0	691,2	638,4	575,5
1999	545,9	625,0	672,5	671,1	690,3	690,1	737,6	781,2	745,8	673,0	646,9	588,3
2000	560,0	549,9	625,1	589,1	567,6	572,0	582,2	622,1	664,2	566,8	517,1	465,1
2001	462,0	447,2	546,8	528,0	508,6	546,0	609,8	686,9	658,5	597,6	532,1	469,4
2002	458,4	507,3	579,7	616,9	597,8	573,2	612,8	663,7	689,7	583,2	530,1	471,3
2003	458,9	440,5	507,8	660,6	636,0	634,2	680,5	751,3	773,4	651,2	626,1	555,6
2004	585,0	596,7	687,3	697,7	689,1	738,2	801,7	836,9	821,4	705,3	653,7	600,4
2005	592,0	568,4	569,7	604,6	591,5	596,6	608,7	649,2	641,3	555,1	517,5	460,7
2006	441,1	479,7	562,2	561,8	526,9	517,1	541,4	637,6	760,3	651,1	588,4	523,7
2007	533,1	518,3	639,6	595,0	577,1	577,0	591,4	644,1	625,0	537,5	494,1	457,6
2008	460,6	446,9	520,9	632,6	605,7	584,1	614,3	677,9	716,2	592,3	546,2	493,5
2009	483,7	537,7	636,3	638,5	647,8	653,0	691,3	738,2	706,3	632,3	571,4	508,8
2010	495,8	474,8	511,7	593,9	573,3	598,7	616,1	705,6	708,8	628,1	564,4	500,6
2011	488,7	468,5	508,1	598,9	583,2	586,7	623,8	714,1	715,4	613,4	564,3	501,3
2012	494,7	476,1	534,9	581,9	575,6	559,5	590,2	698,1	766,2	646,9	582,7	533,2
2013	506,8	517,1	593,4	597,5	582,5	574,7	597,9	646,5	612,0	527,0	486,1	452,3
2014	461,1	489,7	547,3	589,1	562,9	542,9	558,7	615,8	604,5	511,9	466,2	406,6
2015	399,2	386,6	550,5	592,4	548,1	584,0	658,2	711,6	691,5	618,4	547,2	497,5
2016	499,3	482,9	519,7	645,7	618,8	602,4	647,1	712,0	722,7	610,0	560,1	512,6
2017	495,9	527,9	644,0	705,1	665,2	669,1	685,8	742,0	721,9	627,9	596,3	550,2
2018	530,8	521,4	616,8	659,0	619,8	608,9	636,4	682,3	659,0	568,0	525,0	527,5
2019	500,0	486,3	509,4	662,0	615,8	604,1	638,2	704,4	727,4	627,9	564,7	499,9
2020	489,3	469,7	593,6	680,2	634,3	629,9	650,2	705,2	741,2	621,9	569,9	504,7
2021	478,9	474,4	605,1	689,6	668,7	695,1	741,8	765,9	768,4	656,1	605,4	558,4

(continúa)

Anexo 2 (continuación)

	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
2022	529,4	564,6	608,0	668,2	633,5	627,1	688,4	739,1	687,6	603,2	560,2	500,0
2023	478,2	505,4	541,1	582,0	541,1	535,2	544,4	602,5	700,3	588,8	524,4	478,5
2026	536,0	585,8	613,3	609,8	619,3	667,5	688,3	725,1	693,8	611,9	561,1	663,1
2027	641,2	585,6	654,0	640,7	610,0	630,5	649,5	690,8	720,8	608,1	562,0	500,1
2028	479,1	456,0	677,0	631,9	581,4	564,0	598,9	677,5	714,8	610,0	547,4	483,6
2013	506,8	517,1	593,4	597,5	582,5	574,7	597,9	646,5	612,0	527,0	486,1	452,3
2014	461,1	489,7	547,3	589,1	562,9	542,9	558,7	615,8	604,5	511,9	466,2	406,6
2015	399,2	386,6	550,5	592,4	548,1	584,0	658,2	711,6	691,5	618,4	547,2	497,5
2016	499,3	482,9	519,7	645,7	618,8	602,4	647,1	712,0	722,7	610,0	560,1	512,6
2017	495,9	527,9	644,0	705,1	665,2	669,1	685,8	742,0	721,9	627,9	596,3	550,2
2018	530,8	521,4	616,8	659,0	619,8	608,9	636,4	682,3	659,0	568,0	525,0	527,5
2019	500,0	486,3	509,4	662,0	615,8	604,1	638,2	704,4	727,4	627,9	564,7	499,9
2020	489,3	469,7	593,6	680,2	634,3	629,9	650,2	705,2	741,2	621,9	569,9	504,7
2021	478,9	474,4	605,1	689,6	668,7	695,1	741,8	765,9	768,4	656,1	605,4	558,4
2023	478,2	505,4	541,1	582,0	541,1	535,2	544,4	602,5	700,3	588,8	524,4	478,5
2026	536,0	585,8	613,3	609,8	619,3	667,5	688,3	725,1	693,8	611,9	561,1	663,1
2027	641,2	585,6	654,0	640,7	610,0	630,5	649,5	690,8	720,8	608,1	562,0	500,1
2028	479,1	456,0	677,0	631,9	581,4	564,0	598,9	677,5	714,8	610,0	547,4	483,6
2026	536,0	585,8	613,3	609,8	619,3	667,5	688,3	725,1	693,8	611,9	561,1	663,1
2027	641,2	585,6	654,0	640,7	610,0	630,5	649,5	690,8	720,8	608,1	562,0	500,1
2028	479,1	456,0	677,0	631,9	581,4	564,0	598,9	677,5	714,8	610,0	547,4	483,6
2023	478,2	505,4	541,1	582,0	541,1	535,2	544,4	602,5	700,3	588,8	524,4	478,5
2026	536,0	585,8	613,3	609,8	619,3	667,5	688,3	725,1	693,8	611,9	561,1	663,1

(continúa)

Anexo 2 (continuación)

	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
2027	641,2	585,6	654,0	640,7	610,0	630,5	649,5	690,8	720,8	608,1	582,0	500,1
2028	479,1	456,0	677,0	631,9	581,4	564,0	598,9	677,5	714,8	610,0	547,4	483,6
2029	467,6	474,8	681,3	663,4	628,1	710,1	756,3	787,8	746,8	671,6	658,4	587,3
2030	597,5	590,6	663,8	706,2	668,3	687,3	733,3	778,8	739,9	645,7	600,3	542,0
2031	518,3	482,0	533,2	555,3	580,1	581,3	587,9	629,3	610,5	525,0	485,6	454,4
2032	463,4	450,6	518,1	636,9	605,2	601,7	637,7	696,9	666,4	574,8	528,4	466,0
2033	442,1	419,9	528,3	632,3	615,4	625,2	675,5	740,7	712,9	617,9	563,3	515,6
2034	608,3	601,8	708,9	638,3	598,4	598,9	608,3	647,3	637,8	547,7	506,9	447,9
2035	493,8	563,4	620,8	571,1	563,5	559,7	566,8	641,3	622,7	568,2	628,0	553,1
2036	509,4	508,4	514,3	526,4	512,6	498,9	549,4	607,2	579,3	497,0	457,0	406,1
2037	483,7	506,6	684,8	620,8	581,9	618,1	635,7	720,9	691,3	613,6	633,7	559,7
2038	528,0	551,9	679,0	697,8	656,1	639,6	677,4	723,4	681,6	591,6	582,2	551,0
2039	529,0	537,5	585,6	667,2	620,6	625,6	645,1	717,1	714,9	621,8	568,5	504,8
2040	490,6	500,7	604,5	591,9	576,0	594,3	621,6	680,8	657,3	579,9	525,4	507,3
2041	554,8	576,9	566,5	610,6	574,1	556,7	565,4	607,0	570,5	493,6	456,4	438,4
2042	461,4	664,6	656,3	639,3	606,0	615,0	653,6	704,3	675,6	584,3	538,4	476,4
2043	501,4	578,7	573,5	625,4	575,8	565,8	579,3	617,9	656,1	548,4	499,4	442,2
2044	419,6	467,8	530,3	577,5	545,7	550,7	574,6	672,5	658,1	560,3	512,9	449,4
2045	547,3	565,6	558,8	632,8	596,2	609,5	619,1	701,9	675,6	586,8	553,7	489,2
2046	480,4	508,5	572,6	598,2	585,3	578,5	592,6	639,2	672,4	560,5	667,2	606,2
2047	556,9	534,9	543,0	632,7	614,0	682,1	694,5	712,7	675,4	589,5	553,5	640,5
2048	613,4	586,7	602,6	657,4	615,4	609,4	658,2	695,5	698,1	600,6	550,9	489,7
2049	490,1	501,3	566,6	658,1	604,1	651,8	689,3	717,4	689,9	617,0	556,4	493,7
2050	470,6	536,2	605,6	570,0	564,2	559,0	572,7	615,9	576,5	495,7	456,9	400,3
2051	396,6	453,1	664,4	612,6	579,9	591,2	624,5	692,5	659,2	564,1	543,2	477,4

(continúa)

Anexo 2 (continuación)

	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
2052	477,7	497,2	512,9	609,1	590,3	592,8	595,2	634,1	587,9	521,7	537,8	471,9
2053	462,5	572,9	686,3	611,7	597,3	588,2	645,9	702,0	690,2	590,3	557,1	501,6
2054	618,8	663,7	622,6	690,0	651,4	633,4	640,4	682,3	655,0	587,6	532,7	486,4
2055	464,0	565,0	623,0	564,0	544,3	530,4	542,7	588,8	607,2	535,7	470,0	437,0
2056	478,8	514,5	533,1	644,9	595,5	593,0	643,1	700,5	654,2	576,3	524,7	462,7
2057	442,6	469,1	661,6	696,6	653,5	673,9	737,1	759,9	721,7	624,6	577,9	544,2
2058	593,7	632,6	636,2	598,2	569,4	569,7	571,3	598,2	563,3	493,0	459,5	430,1
2059	418,3	511,0	563,6	635,6	604,7	590,4	615,7	672,7	629,9	540,6	496,8	435,5
2060	413,5	419,2	546,7	641,8	604,8	594,8	637,1	696,0	650,4	560,4	515,5	454,8
2061	561,3	579,9	579,2	538,6	529,2	518,7	519,8	614,9	595,7	516,6	476,5	460,4
2062	503,5	581,9	686,6	646,8	621,5	620,4	657,6	696,3	690,7	581,3	535,3	472,8
2063	481,3	654,5	683,3	665,4	616,4	612,7	647,3	681,6	634,4	565,5	515,6	485,7
2064	485,0	516,1	556,0	576,7	548,6	546,3	551,2	654,9	626,1	553,4	500,8	462,0
2065	451,9	464,8	531,9	576,4	558,6	584,1	598,0	660,8	691,0	575,1	528,0	632,0
2066	605,3	589,4	640,0	647,9	608,6	605,5	622,3	689,5	657,4	582,3	529,9	470,2
2067	503,7	560,5	574,1	578,8	551,2	562,3	588,3	630,7	590,8	510,4	471,1	413,9
2068	442,9	458,1	493,0	633,1	593,1	586,8	598,5	648,8	596,8	518,1	476,3	618,5
2069	595,9	570,2	625,9	629,4	622,6	615,5	631,4	674,7	632,1	548,3	508,1	480,2
2070	455,3	506,9	521,6	638,3	600,5	593,1	633,8	713,6	674,9	582,6	536,8	476,0
2071	501,4	599,4	651,8	617,8	589,2	600,5	620,3	702,6	687,7	588,7	543,8	505,9
2072	511,7	511,8	614,0	611,3	578,3	589,6	599,8	634,8	599,7	518,9	480,5	423,2
2073	413,2	452,4	617,3	544,4	558,5	570,0	597,8	653,9	614,8	526,2	482,4	447,1
2074	422,9	588,9	616,5	598,0	564,1	562,1	578,5	626,8	576,1	495,1	457,2	415,1
2075	473,3	508,9	561,6	516,2	493,1	482,9	488,5	522,8	655,6	563,5	482,5	443,6
2076	450,2	483,1	559,3	512,3	481,9	556,8	598,4	628,1	562,0	485,5	445,4	418,8
2077	413,0	441,0	507,3	556,6	517,4	512,3	528,5	594,8	561,8	472,7	429,6	365,6
2078	390,2	456,3	498,4	462,1	470,1	497,2	517,1	540,5	538,5	474,6	408,4	348,9

(continúa)

Anexo 2 (conclusión)

	Abr	Mayo	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
2079	416,3	480,2	604,1	559,1	543,2	539,0	558,0	601,4	560,7	472,1	426,9	368,3
2080	356,0	460,8	504,9	541,7	526,3	536,3	551,5	658,6	626,2	535,2	486,2	421,0
2081	401,6	416,6	640,3	556,7	529,9	610,8	671,9	736,4	719,7	614,7	563,8	501,3
2082	570,7	655,3	691,1	606,2	589,8	638,4	649,7	677,0	640,5	559,5	519,5	460,4
2083	458,8	491,5	619,3	601,1	565,0	622,6	639,9	674,1	629,2	544,1	502,6	464,9
2084	589,6	663,1	638,8	586,2	576,6	629,6	644,4	688,2	649,2	570,6	530,0	470,4
2085	454,0	464,9	596,9	572,6	530,3	552,7	608,7	669,9	619,3	553,2	499,4	442,3
2086	596,8	620,9	606,8	554,2	582,8	573,6	602,0	641,1	589,2	537,0	486,2	438,9
2087	455,3	500,4	528,3	483,2	495,5	518,4	543,7	583,4	531,0	460,9	419,3	375,4
2088	407,8	501,2	552,3	560,7	520,4	523,3	599,5	661,0	612,6	526,9	489,2	464,0
2089	443,8	466,7	473,2	519,4	521,4	513,2	540,0	604,5	560,4	481,6	526,6	495,9
2090	467,4	472,7	604,4	526,9	494,0	507,6	509,7	562,0	516,6	442,9	399,1	336,0
2091	326,5	372,8	677,9	563,9	563,0	554,8	631,8	699,5	683,4	573,3	522,6	497,5
2092	564,1	604,0	587,2	555,3	532,8	533,6	529,7	549,2	500,5	434,0	401,3	382,7
2093	378,4	409,8	660,3	600,1	563,7	565,2	600,7	656,2	594,2	507,1	463,1	418,8
2094	451,4	474,1	470,2	482,6	489,8	480,2	544,0	608,4	647,5	534,3	481,8	416,6
2095	399,3	484,8	656,1	621,9	575,8	585,9	609,7	665,8	692,4	580,0	534,8	475,0
2096	446,4	568,6	539,6	580,4	543,5	579,5	603,6	632,9	573,6	499,2	459,6	432,6
2097	410,5	477,6	536,4	502,8	565,0	555,7	577,3	615,1	563,7	480,4	440,8	379,3
2098	366,1	433,7	517,5	541,1	517,7	510,2	536,3	597,2	647,4	524,0	471,2	404,7
2099	390,8	428,2	606,2	585,1	560,6	566,1	636,4	691,4	621,0	552,8	497,8	458,3

Fuente: Elaboración propia.



NACIONES UNIDAS

Serie

CEPAL

medio ambiente y desarrollo

Números publicados

Un listado completo así como los archivos pdf están disponibles en

www.cepal.org/publicaciones

145. Análisis de la vulnerabilidad del sector hidroeléctrico frente a escenarios futuros de cambio climático en Chile. James McPhee Eduardo Rubio, Rodrigo Meza, Álvaro Ayala (LC/L.3599), diciembre 2012. Email: erecc.lac@cepal.org.
144. Políticas Fiscales, impactos energéticos y emisiones de CO₂ en Chile. Carlos de Miguel, Raúl O’Ryan, Mauricio Pereira y Bruno Carriquiry (LC/L.3434), diciembre 2011. Email: carlos.demiguel@cepal.org.
143. Financiamiento para el logro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio en un contexto de crisis: Indicadores para Chile. Raúl O’Ryan, Mauricio Pereira y Carlos de Miguel (LC/L.3405), noviembre 2011. Email: carlos.demiguel@cepal.org.
142. Estimaciones de gasto social en vivienda y desarrollo urbano para algunos países de América Latina y el Caribe. Raquel Szalachman, María Paz Collinao. (LC/L.3169-P) N° de venta: S.09.II.G.142 marzo 2010. Email: Raquel.szalachman@cepal.org
141. Gasto social en vivienda y desarrollo urbano. Raquel Szalachman, María Paz Collinao. (LC/L.3149-P), N° de venta: S.09.II.G.122, diciembre 2009. Email: Raquel.szalachman@cepal.org
140. Síndrome holandés, regalías mineras y políticas de gobierno para un país dependiente de recursos naturales: el cobre en Chile. Mauricio Pereira, Andrés Ulloa, Raúl O’Ryan, Carlos de Miguel (LC/L.3139-P), N° de venta: S.09.II.G.112, diciembre 2009. Email: carlos.demiguel@cepal.org
139. Desenvolvimento rodoviário e o impacto fiscal do sistema de concessões em Brasil. Ana Paula H.Higa (LC/L.3120-P), N° de venta: P.09.II.G.99, octubre 2009. Email: Ricardo.jordan@cepal.org
138. Trade and Sustainable Development: Spatial Distribution of Trade Policies Impacts on Agriculture. Sergio Ludeña, Andrés Schuschny, Carlos de Miguel y José Durán. (LC/L.3048-P), N° de venta: E.09.II.G.50 (US\$ 10.00), junio 2009. Email: carlos.demiguel@cepal.org
137. Consideraciones ambientales en torno a los biocombustibles líquidos. José Javier Gómez, Joseluis Samaniego, Mariana Antonissen (LC/L.2915-P), N° de venta: S.07.II.G.49 (US\$ 10.00), julio 2008. Email: jose.gomez@cepal.org
136. Impactos económicos y sociales de *shocks* energéticos en Chile: un análisis de equilibrio general. Raúl O’Ryan, Carlos de Miguel, Mauricio Pereira, Camilo Lagos (LC/L.2901-P), N° de venta: S.07.II.G.37 (US\$ 10.00), mayo 2008. Email: carlos.demiguel@cepal.org
135. Externalidades en proyectos urbanos: saneamiento de aguas servidas y del ferrocarril metropolitano en Santiago de Chile. Sergio Galilea, Mario Reyes, Camila Sanhueza (LC/L.2807-P), N° de venta: S.07.II.G.140 (US\$ 10.00), diciembre 2007. Email: Ricardo.jordan@cepal.org

- El lector interesado en adquirir números anteriores de esta serie puede solicitarlos dirigiendo su correspondencia a la Unidad de Distribución, CEPAL, Casilla 179-D, Santiago, Chile, Fax (562) 210 2069, correo electrónico: publications@cepal.org.

Nombre:
Actividad:
Dirección:
Código postal, ciudad, país:
Tel.: Fax: E.mail: