



IIE- FING – UDELAR (Facultad de Ingeniería – Universidad de la República Oriental del Uruguay.) - URUGUAY

UTE (Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas.) - URUGUAY

Montevideo – Uruguay – 23 de enero de 2014

Creación de modelo estocástico de aportes en mini emprendimientos hidráulicos del Uruguay.

Autor:

MSc. Ing. Magdalena Crisci.
(FING-UDELAR, Docente).

Ing. Alejandra De Vera.
(FING UDELAR, Docente)

Autor: Dr. Ing. Rafael Terra
(FING-UDELAR, Profesor IMFIA).

Autor: MSc. Ing. Ruben Chaer
(FING-UDELAR / UTE, Profesor Adjunto IIE /
Asesor de Presidencia de UTE).

PALABRAS-CLAVE: Pequeñas Centrales Hidráulicas Simulación Renovables Planificación.
Código de sub-tema: G2-3

DATOS DE LA EMPRESA:
UTE-Presidencia, PARAGUAY 2431.
Código Postal: 11800.
Teléfono: (598) 22002015
Email: rchaer@fing.edu.uy, mcrisci@fing.edu.uy

1. Introducción.

Este trabajo presenta un un modelo estocástico de aportes a mini emprendimientos hidráulicos que pudieran instalarse en territorio Uruguayo desarrollado en el marco del proyecto ANII-FSE-1-2011-1-6552 “Modelado Ener-

gías Autoctonas en SimSEE” financiado por el Fondo Sectorial de Energía de la Agencia Nacional de Investigación e Innovación ANII. El modelo fue desarrollado permite evaluar el impacto de la incorporación de mini y micro centrales hidroeléctricas al sistema de generación de energía eléctrica del país. En particular es de interés evaluar los beneficios económicos que podría tener cada emprendimiento, para lo cual es importante respetar la posible correlación entre la producción de estos emprendimientos y el costo marginal del sistema.

En Uruguay, la generación del sistema hidroeléctrico existente, a partir de las represas Bonete, Baygorria y Palmar sobre el Río Negro y la bi-nacional Salto Grande sobre el Río Uruguay, totaliza del orden de 1500 MW de potencia instalada. Los aportes a estas grandes represas están modelados en SimSEE por medio de un modelo CEGH [1] sintetizado a partir de las series de aportes medios semanales a las cuencas propias de Bonete, Palmar y Salto (abreviadamente series BPS a los efectos de las referencias en este documento).

El valor de la energía de origen hidráulico para el sistema está fuertemente correlacionado con las series BPS. Cuando hay abundancia de agua, la energía hidráulica tiene menos valor, llegando a 0 USD/MWh en momentos de vertimiento en las centrales. En períodos de sequía, la falta de generación hidráulica obliga a la utilización de las Turbinas de Gasoil, con costos de producción del orden de 268 USD/MWh (@Marzo 2014)

El modelo de aportes a mini centrales desarrollado en las siguientes secciones tiene en cuenta la variabilidad espacial y temporal de la precipitación, la evapotranspiración potencial, la capacidad de almacenamiento de agua del suelo y en consecuencia del escurrimiento, en todo el país.

2. El Modelo.

En base a información histórica de precipitaciones y de una clasificación del territorio nacional en 5 (cinco) zonas, se obtiene mediante modelación hidrológica los escurrimientos mensuales (expresados en mm/mes) que es posible esperar en una cuenca ubicada en cada una de las zonas. Con esas 5 series de escurrimientos mensuales, más las series BPS, se construye un modelo CEGH capaz de modelar conjuntamente los aportes a las represas de Bonete, Palmar y Salto y los escurrimientos en cada una de las zonas.

Para la utilización del modelo, entre los datos de la mini-central se deberá especificar la Zona (esto es elegir a cuál de los bornes de salida del modelo se conecta la central) y el área de la cuenca asociada a la central.

El escurrimiento multiplicado por el área de la cuenca es el caudal disponible en la mini-central. Si la central es de paso, habrá que turbinar o verter el caudal. Si la central tiene un embalse, en la operación se tendrá la posibilidad de almacenar el agua para un turbinado posterior mientras quede lugar en el embalse.

3. Información utilizada.

Para el procesamiento de la información (cálculos de superficie, ponderaciones espaciales, zonificaciones) se empleó un sistema de información geográfica (SIG).

3.a) Precipitación.

Para este trabajo se dispuso de registros pluviométricos mensuales en 44 estaciones del

INUMET (Instituto Uruguayo de Meteorología, anteriormente DNM). En función de la variabilidad del período de registro en cada estación, se definió 1925-2009 como el período de estudio, por presentar la mayor cantidad de datos simultáneos. En la Fig.1 se muestra la distribu-

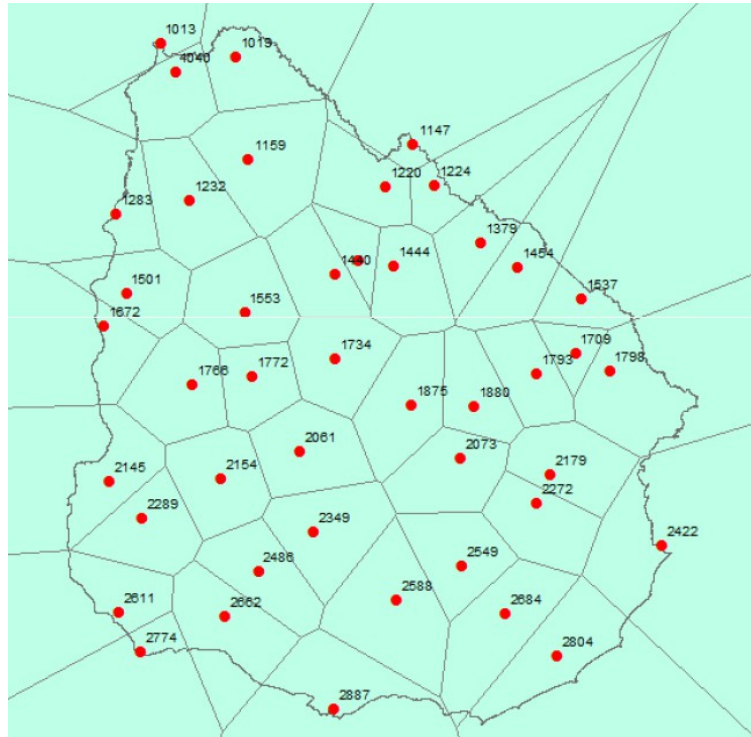


Fig. 1: Red de pluviómetros utilizados.

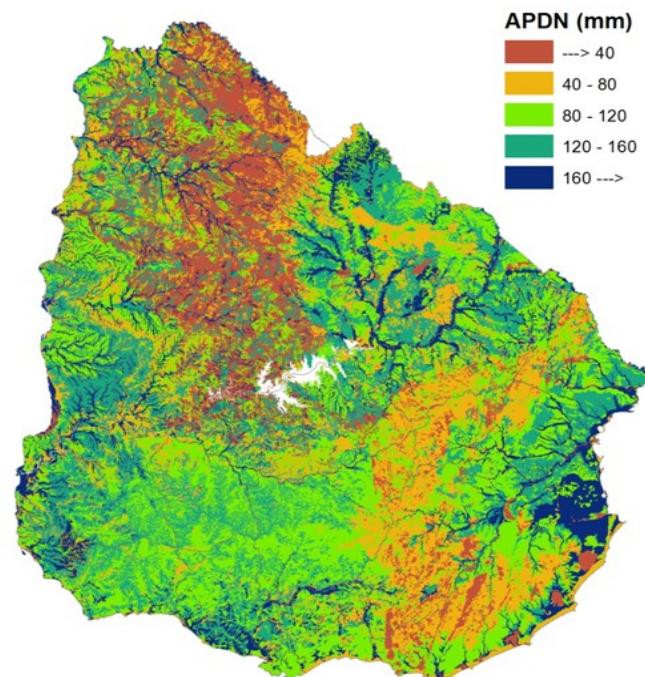


Fig. 2: Agua potencialmente disponible neta en los suelos de Uruguay (mm).

ción espacial de las estaciones pluviométricas seleccionadas.

3.b) Agua disponible del suelo.

Para representar la capacidad de almacenamiento de agua del suelo se elaboró el mapa (ver Fig.2) de Agua Potencialmente Disponible Neta (APDN), a partir de la capa "Características Grupos CONEAT" extraída de la Unidad de Agroclima y Sistemas de Información (GRAS) del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) [2].

3.c) Evapotranspiración potencial.

Se empleó el mapa de isóneas de evapotranspiración potencial (ETP) media anual mensual (Fig.4) extraído del "Manual de Diseño y Construcción de Pequeñas Presas" [3]. Luego, para transformar dicho valor medio mensual en un ciclo medio anual de ETP se emplearon los coeficientes de distribución del ciclo medio anual calibrados para el Uruguay (Tabla 1), también extraídos de [3].

Tabla 1: Coeficientes de variación mensual de la ETP

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1.88	1.56	1.37	0.88	0.58	0.36	0.37	0.47	0.61	0.94	1.25	1.72

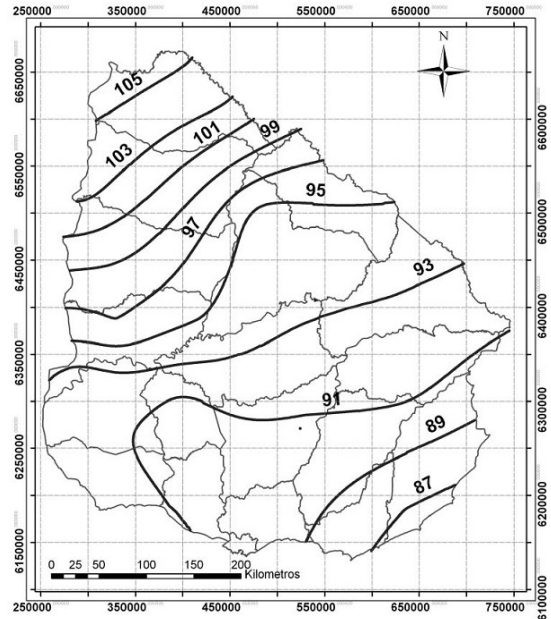


Fig. 4: Mapa de isóneas de ETP media mensual (mm/mes) (Extraído del "Manual de Diseño y Construcción de Pequeñas Presas", MVOTMA, 2011)

4. Clasificación de regiones homogéneas según escurrimiento medio.

En primer lugar, a partir del mapa de escurrimientos medios del Uruguay en (mm/mes), elaborado en base a los datos publicados por Genta y Failache [4], se dividió el territorio uruguayo en 3 (tres) zonas:

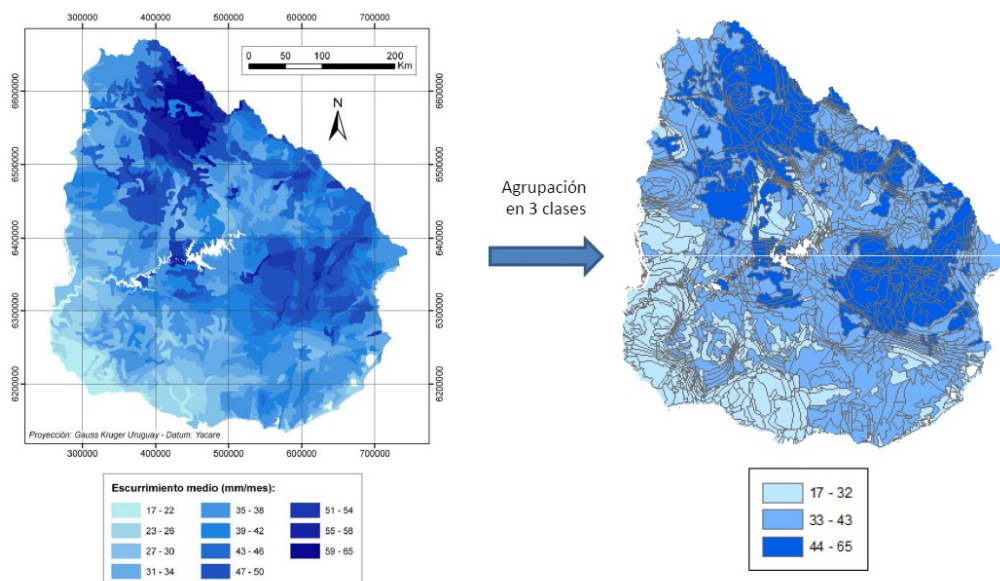


Fig. 3: Clasificación en regiones según el escurrimiento medio.

- Zona 1: escurrimiento medio mensual entre 17 y 32 mm/mes
- Zona 2: escurrimiento medio mensual entre 32 y 43 mm/mes
- Zona 3: escurrimiento medio mensual entre 43 y 65 mm/mes.

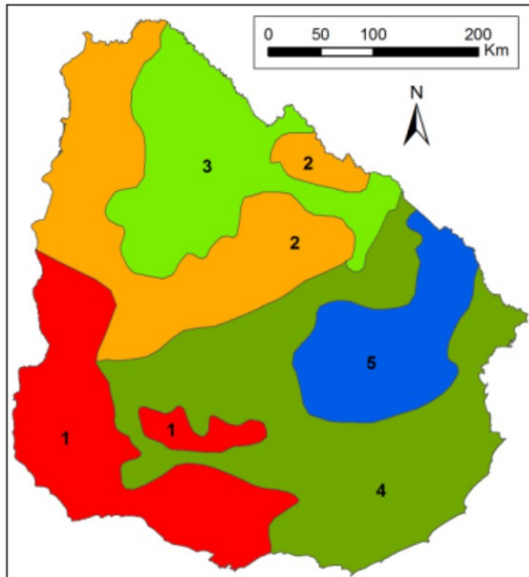


Fig. 5: Clasificación de 5 regiones homogéneas.

En la Fig.3 se presenta el mapa de escurrimientos medios mensuales (izquierda) y la división en 3 zonas según el mismo (derecha).

En base a esta primera clasificación en 3 zonas según el escurrimiento medio mensual, se decidió realizar una apertura a 5 zonas, tal como se muestra en la Fig.5, con el propósito de distinguir entre las zonas del Norte y del Sur del país (considerando que la estacionalidad de la precipitación es diferente).

5. Modelación hidrológica

Para cada una de las 5 regiones definidas anteriormente, se calculó la serie de escurrimientos mensuales a partir de la precipitación, la evapotranspiración potencial y la capacidad de almacenamiento de agua del suelo correspondiente a cada región.

La simulación del proceso precipitación-escurrimiento se realizó mediante el modelo de Temez de paso mensual [5], el cual se encuentra ampliamente difundido en Uruguay. El mismo reproduce el ciclo hidrológico de manera continua en el tiempo de una manera simple y conceptual, considerando ecuaciones con sentido físico. Es un modelo de balance hídrico concentrado y de cuatro parámetros: α , I_{max} , CP_0 y $H_{max} = CAD \cdot AD$ donde AD es el agua disponible en el suelo utilizable por el cultivo y CAD un coeficiente que se ajusta en la calibra-

ción. En este caso, los valores de los parámetros se consideraron iguales a los obtenidos en la calibración realizada a nivel regional a partir de los datos de escurrimiento mensual registrados en doce subcuencas aforadas de Uruguay, según [3].

Las variables de entrada al modelo y la forma en que fueron estimadas se presentan a continuación:

- Precipitación: La serie de precipitación media mensual da cada región se calculó a través del método de Thiessen.
- Evapotranspiración potencial: A partir del mapa de isolíneas de evapotranspiración potencial media anual mensual del Uruguay (presentado en el punto 2.3), se obtuvo el ciclo medio anual de evapotranspiración potencial para cada región.
- Agua disponible del suelo: El valor medio de agua disponible para cada región fue calculado a través de una ponderación por área en base al mapa de APDN presentando en el punto 2.2.

Como resultado se obtuvo, para cada una de las regiones definidas, una serie de escurrimiento mensual desde 1925 a 2009.

La Tabla 2 muestra el mínimo, máximo, media y desvío estándar del escurrimiento mensual calculado para cada región, expresado en mm/mes.

Tabla 2: Escurrimientos esperados anuales de las 5 zonas

Estadístico	Escurrimiento por región (mm/mes)				
	1	2	3	4	5
Min	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0
Máx	282.0	407.2	500.4	271.7	325.8
Media	26.8	37.8	45.8	33.9	41.3
Std	29.5	37.5	43.5	33.9	41.4

Las Fig.7 y Fig.6 muestran la curva de permanencia y el ciclo medio anual de los escurrimientos mensuales para cada una de las 5 regiones definidas.

Observando la Figura 6 se verifica la pertinencia de separar las regiones del Norte y del Sur del país. Como se puede apreciar, las re-

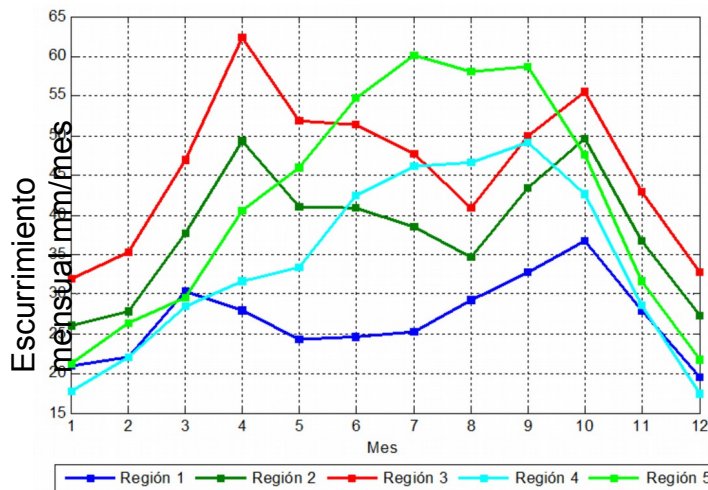


Fig. 6: Ciclo medio anual de escurrimientos mensuales en cada región.

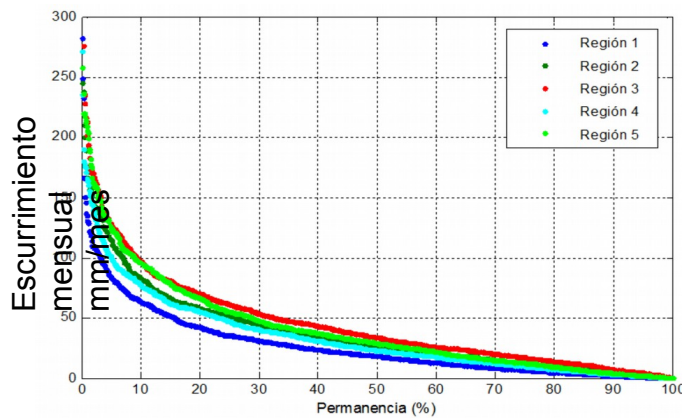


Fig. 7: Curva de permanencia de escurrimientos mensuales en cada región.

giones 2 y 4 y las regiones 3 y 5 si bien tienen aproximadamente el mismo escurrimiento medio mensual, su distribución a lo largo del año es distinta. Las regiones del Norte presentan dos picos de mayor escurrimiento mensual, uno en Abril y el otro en Octubre, mientras que las del Sur presentan un solo pico en el trimestre Julio-Agosto-Setiembre.

6. Obtención de modelo estocástico CEGH para SimSEE.

A partir de las series de escurrimientos mensuales para las 5 regiones identificadas en la Fig.5, obtenidas mediante modelación hidrológica para el período 1925 a 2009, se obtienen por interpolación las series semanales

compatibles con la información de las series históricas de aportes medios semanales a las represas de Bonete, Palmar y Salto.

Se sintetizaron dos modelos CEGH:

- Uno sencillo, con solo las series de aportes a las represas de Uruguay y los escurrimientos de las 5 regiones (con información de 1925 a 2009).
- Otro más complejo, en que además de las series ya mencionadas se agregaron las series de costos marginales de la región sur de Brasil en los "patamares" (bandas horarias de carga, o Postes) de Punta (patamar 1) y de Valle (patamar 3) (con información de 1931 a 2009).

6.a) CEGH_BPS50_MiniH_5 Regiones_1925_2009

Con las series semanales de escurrimiento en combinación con las series de aportes propios a las represas de Bonete, Palmar y el 50% de los aportes de Salto Grande de los años 1925 a 2009, se creó un sintetizador CEGH archivo: "CEGH_BPS50_MiniH_5Regiones_1925_2009.txt".

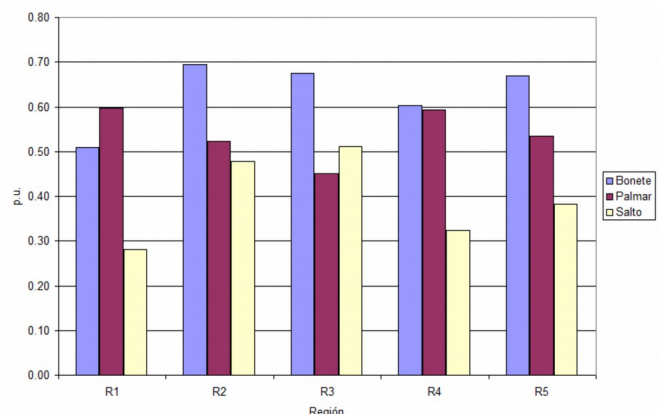


Fig. 8: Coeficientes de covarianza entre el escurrimiento de las 5 regiones y los aportes a Bonete, Palmar y Salto Grande.

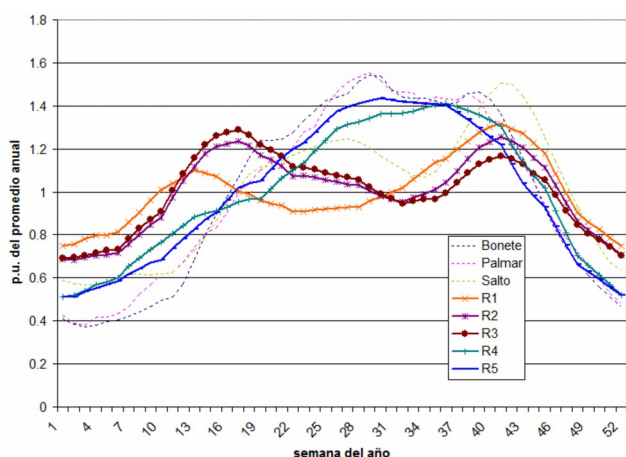


Fig. 9: Estacionalidad anual.

mar y Salto y las series de los costos marginales de Brasil en los patamares (bandas horarias) 1 y 3 (el costo marginal en el patamar 2 es igual al 3).

El sintetizador CEGH obtenido corresponde al archivo "CEGH_BPS50_cmo13BR_MiniH_5Regiones_1931_2009.txt".

La Fig.10 muestra los coeficientes de covarianza entre los escurrimientos de las 5 regiones y los aportes hidráulicos a Bonete, Palmar y Salto Grande y con los costos marginales operativos de la región sur de Brasil en los patamares de carga (bandas horarias o Postes) 1

Tabla 3: Promedios anuales.

m3/s	m3/s	m3/s	mm/mes	mm/mes	mm/mes	mm/mes	mm/mes
Bonete	Palmar	Salto	R1	R2	R3	R4	R5
615.5	315.4	2419.0	27.2	38.4	46.6	34.3	41.8

Tabla 4: Matrices del filtro lineal.

	Matriz A								Matriz B							
	B	P	S	R1	R2	R3	R4	R5	u1	u2	u3	u4	u5	u6	u7	u8
B_s	0.470	0.039	0.072	-0.016	0.108	0.121	-0.022	0.171	0.565	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
P_s	0.004	0.521	0.028	0.162	0.068	-0.043	0.045	0.061	0.235	0.630	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
S_s	-0.053	0.006	0.769	-0.004	-0.035	0.206	-0.058	0.067	0.118	0.021	0.516	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
R1_s	0.024	0.012	0.012	0.846	0.011	-0.023	0.017	-0.003	0.067	0.088	0.016	0.469	0.000	0.000	0.000	0.000
R2_s	0.042	-0.004	0.005	0.003	0.846	-0.004	0.001	0.005	0.097	0.062	0.036	0.313	0.339	0.000	0.000	0.000
R3_s	0.035	-0.004	0.007	0.008	0.012	0.825	-0.015	0.016	0.098	0.049	0.039	0.263	0.362	0.179	0.000	0.000
R4_s	0.044	0.007	0.003	0.029	0.016	-0.034	0.800	0.027	0.090	0.081	0.020	0.399	0.103	0.019	0.236	0.000
R5_s	0.050	0.000	-0.002	0.018	0.024	-0.040	-0.030	0.863	0.108	0.062	0.022	0.304	0.212	0.040	0.207	0.201

y 3.

Como se puede apreciar, la correlación con los costos marginales de Brasil es negativa, mostrando que cuando hay buena hidraulici-

6.b) CEGH_BPS50_cmo13BR_MiniH_5Regiones_1931_2009

Para poder realizar simulaciones con el comercio internacional con Brasil, es necesario tener un CEGH que además de la hidraulicidad tenga representado las variaciones de los costos marginales de Brasil en la región Sur (precios que tienen una correlación negativa con la hidraulicidad de Uruguay). Las series de costos marginales disponibles para la identificación de un modelo conjunto son de 1931 a 2009 y corresponden a simulaciones realizadas por el ONS (Operador Nacional del Sistema de Brasil) con el sistema de 2011 pero simulado con las crónicas históricas de aportes a las diferentes represas de Brasil. Combinando, las series de escurrimientos, las series de aportes a Bonete, Pal-

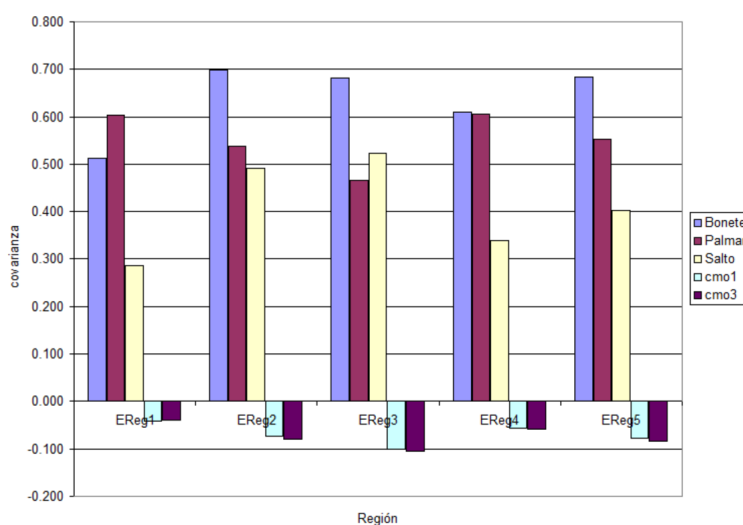


Fig. 10: Covarianzas entre los escurrimientos de las 5 regiones y los aportes a Bonete, Palmar y Salto Grande y con los costos marginales de la región sur de Brasil en los patamares 1 y 3.

dad en Uruguay los costos marginales de la

región sur de Brasil tienen tendencia a ser bajos (por tener también buena hidraulicidad).

Las figuras de estacionalidad anual no cambian sustancialmente (solo podrían hacerlo por ser la ventana de información histórica utilizada diferente).

Por último la tabla 5 muestra las matrices resultantes del filtro lineal.

Tabla 5: Matrices del filtro lineal.

	Matriz A										Matriz B									
	Bonete	Palmar	Salto	cmo1	cmo3	EReg1	EReg2	EReg3	EReg4	EReg5	u1	u2	u3	u4	u5	u6	u7	u8	u9	u10
Bonete_s	0.462	0.043	0.065	-0.024	0.020	-0.019	0.109	0.124	-0.024	0.176	0.566	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Palmar_s	-0.003	0.508	0.026	-0.015	0.035	0.163	0.074	-0.034	0.048	0.065	0.238	0.629	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Salto_s	-0.048	0.016	0.751	0.006	-0.042	-0.017	-0.024	0.204	-0.052	0.061	0.118	0.024	0.515	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
cmo1_s	0.000	0.015	-0.002	0.950	0.026	0.000	0.000	0.005	0.001	-0.006	0.004	0.004	-0.018	0.226	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
cmo3_s	0.003	0.011	-0.009	0.087	0.879	0.001	-0.002	0.001	0.023	-0.021	0.000	0.007	-0.020	0.176	0.207	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
EReg1_s	0.025	0.017	0.010	-0.026	0.014	0.845	0.016	-0.024	0.014	-0.007	0.069	0.086	0.016	0.002	-0.024	0.468	0.000	0.000	0.000	0.000
EReg2_s	0.045	-0.001	0.004	-0.032	0.017	0.001	0.847	-0.006	0.000	0.003	0.100	0.063	0.034	0.001	-0.008	0.310	0.338	0.000	0.000	0.000
EReg3_s	0.039	-0.001	0.004	-0.033	0.014	0.005	0.015	0.822	-0.015	0.013	0.100	0.052	0.037	-0.005	-0.002	0.260	0.360	0.180	0.000	0.000
EReg4_s	0.050	0.011	0.001	-0.033	0.017	0.032	0.016	-0.034	0.793	0.023	0.094	0.082	0.019	0.005	-0.029	0.396	0.101	0.021	0.238	0.000
EReg5_s	0.057	0.005	-0.004	-0.040	0.020	0.018	0.024	-0.038	-0.029	0.855	0.112	0.065	0.021	0.010	-0.019	0.300	0.209	0.046	0.204	0.202

7. Modelado de las centrales mini-hidráulicas en SimSEE.

Para el modelado de las centrales mini-hidráulicas en la plataforma SimSEE se modificó el modelo existente para centrales de gran porte agregando la opción de especificar si los aportes a la central se expresan en [m3/s] (tal como estaba para las centrales de gran porte) o si se expresan como escurrimientos en [mm/mes] en cuyo caso hay que especificar el

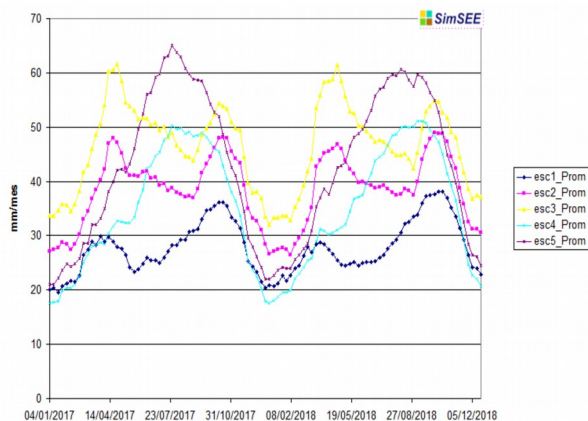


Fig. 11: Escurrimientos esperados estimado sobre 500 crónicas sintéticas.

área de la cuenca asociada a la central.

Este cambio en los modelos se realizó tanto para las centrales “con embalse” como para las centrales “de pasada”. Dependiendo del paso de tiempo de simulación tendrá o no sentido representar una mini-hidráulica con su embalse o como de pasada (sin embalse).

Generalmente en las simulaciones de largo plazo (horizontes superiores a un año) se utiliza en el sistema uruguayo un paso de integración del simulador semanal subdividido en “postes” (o bandas horarias) de acuerdo a los niveles de carga. Por ejemplo, la semana se sub

divide en 4 postes de duraciones 5, 23, 91 y 49 horas para niveles de carga decreciente en forma respectiva. En los modelos existentes en SimSEE se permitía que las centrales hidráulicas tuvieran despacho diferente dentro de los Postes de un mismo paso de tiempo. Este comportamiento permite “empuntar” las hidráulicas para cubrir los déficit de potencia en las horas de mayor demanda. También permite que el sistema hidráulico sea usado para el filtrado de las variaciones de las energías renovables. Al introducir el modelado de las mini-hidráulicas este comportamiento parece que no fuera el de aplicación en dichos emprendimientos, es más probable que el operador de la mini-central despache su potencia cuando la tenga disponible o talvez pueda responder a alguna señal de precio horaria. Para poder modelar mejor las mini-hidráulicas se agregó al modelo de Central de Pasada un checkbox que permite indicar si se debe imponer que la potencia de la central sea la misma en todos los postes o no. El comportamiento por defecto es NO imponer igualdad de potencia, con lo cual es simulador optimizará desde el punto de vista del sistema la operación de la central. En el ejemplo de simulación que se describe más adelante se muestran los resultados en ambas modalidades y como era de esperar, el valor de la energía para el sistema es superior cuando se tiene la flexibilidad de “empuntar” la energía de las mini-hidro.

Si la fuente de información asociada a la central es de escurrimientos, en la parte de

descripción de los parámetros dinámicos de la central hay que especificar el área de la cuenca asociada a la central. El área de cuenca se introdujo como parámetro dinámico previendo que la misma podría variar en el tiempo. Por ejemplo, si aguas arriba del emprendimiento se instalara otra central con un embalse cambiando así la cuenca efectiva para los aportes propios.

8. Ejemplo de aplicación.

Como ejemplo de aplicación se modelaron 5 emprendimientos mini-hidráulicos como centrales de pasada en una Sala SimSEE de largo plazo.

De los años simulados se muestran resultados correspondientes a los años (2017 y 2018) por considerarlos representativos del largo plazo.

Los parámetros de las mini-centrales son:

Potencia máxima [MW]: 10

Caudal máximo turbinable [m³/s]: 50

Cuenca [há]: 230000

Rendimiento complejo [p.u.]: 0.6

Salto efectivo [m]: 20

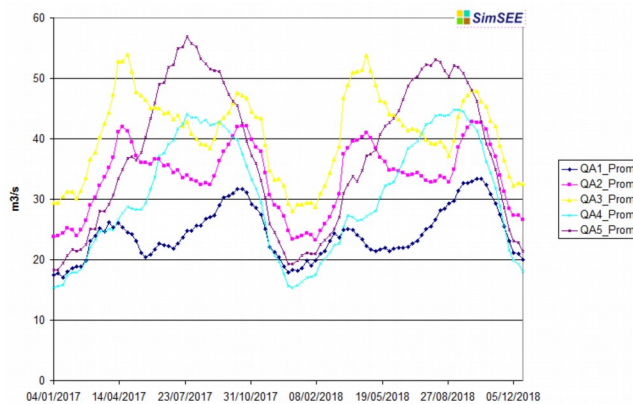


Fig. 12: Caudales de aportes semanales esperados.

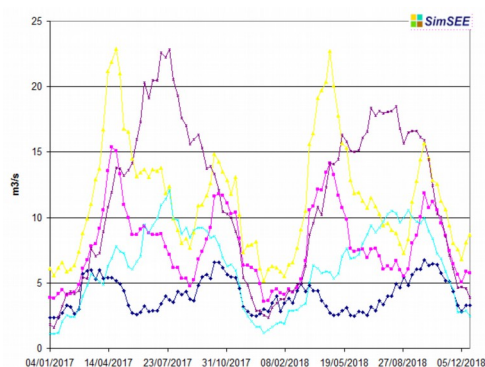


Fig. 13: Caudales vertidos medios semanales.

La Fig.11 muestra los escurrimientos esperados semanales, en tres años.

La Fig.12 muestra los caudales de aportes a los 5 emprendimientos.

Como se puede apreciar, además de la diferencia en cuanto a cantidad de aportes, la forma es levemente diferente destacándose el doble pico anual que presentan las regiones 2 y 3 frente al mono pico que presentan las regiones 4 y 5.

Las Fig. 11 y 12 difieren solamente en el factor de multiplicación asociado al área de la cuenca que se supuso en los cinco casos igual a 230000 há.

La Fig.13 muestra el caudal vertido en los 5 emprendimientos.

La Fig.14 muestra la producción esperada por semana de los 5 emprendimientos y el costo marginal del sistema.

La Fig.15 muestra el caudal turbinado en los 5 emprendimientos.

Como se puede apreciar en la Fig.14 hay

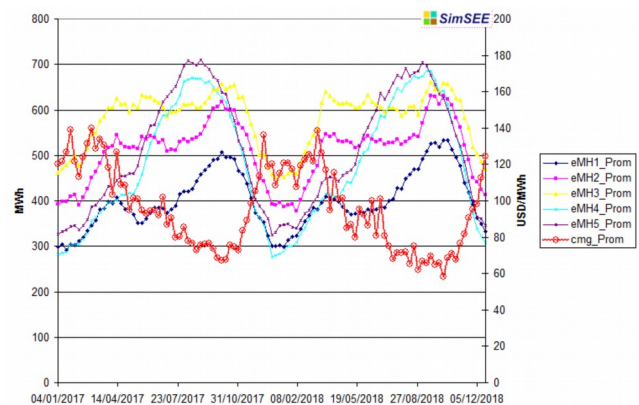


Fig. 14: Producción esperada semanal por central y costo marginal del sistema (eje izquierdo).

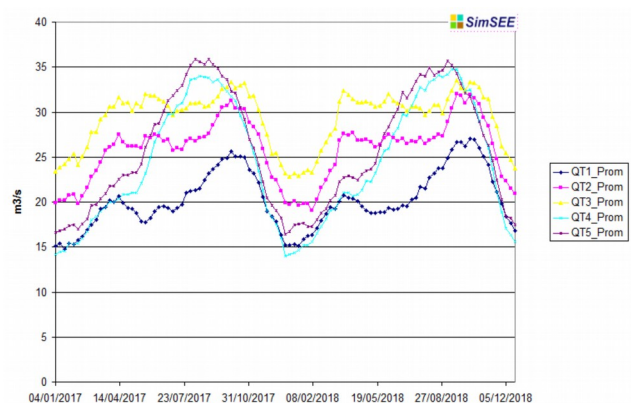


Fig. 15: Caudales medios semanales turbinados.

una fuerte correlación negativa entre la producción de energía hidráulica y el costo margi-

nal del sistema. Esta correlación se debe a la fuerte componente de energía hidráulica que ya tiene el sistema (1500 MW instalados).

Los resultados mostrados hasta aquí son esperados semanales y no dependen de la posibilidad de empuntar la energía de la central. A continuación se muestra la valorización de la energía de la central desde el punto e vista del sistema calculada como el beneficio por sustitución del recurso marginal (el más caro despachado para dar el último MW en cada hora). Como es de esperar, la simulación en la que se tiene la posibilidad de empuntar la energía el valor de la misma es superior pues sustituye recursos más caros que cuando la potencia de las centrales es obligada a ser la misma durante toda la semana.

Las tablas 7 y 6 muestran la producción anual esperada de los cinco emprendimientos, la anualidad de beneficios por sustitución y el valor de la energía para el sistema para la simulación de los cinco emprendimientos con

Tabla 6: Resultados centrales con despacho inflexible (igual potencia todos los Postes)

	Región 1	Región 2	Región 3	Región 4	Región 5
Cuenca [há]	230000	230000	230000	230000	230000
Potencia [MW]	10	10	10	10	10
Salto [m]	20	20	20	20	20
Rendimiento [%]	60	60	60	60	60
Producción Anual Esperada[GWh]	21.17	27.12	30.89	25.24	27.98
Anualidad beneficios para el sistema [kUSD]	1611	2013	2388	1878	2099
Valor de la energía para el sistema [USD/MWh]	76.11	74.23	77.31	74.41	75.02

Tabla 7: Resultados Centrales con despacho flexible (energía empuntable)

	Región 1	Región 2	Región 3	Región 4	Región 5
Cuenca [há]	230000	230000	230000	230000	230000
Potencia [MW]	10	10	10	10	10
Salto [m]	20	20	20	20	20
Rendimiento [%]	60	60	60	60	60
Producción Anual Esperada[GWh]	20.84	26.61	30.28	25.07	26.62
Anualidad beneficios para el sistema [kUSD]	1744	2129	2496	1994	2205
Valor de la energía para el sistema [USD/MWh]	83.66	80.03	82.45	79.54	82.83

“despacho flexible” (esto es que se permite variar la potencia de los postes) y con “despacho inflexible” respectivamente. Como se puede observar, la posibilidad de empuntar la energía significa un aumento en el valor de la energía de entre 5 y 7 USD/MWh. Se observa que, a igual datos de la central e igual cuenca de aporte, el beneficio por sustitución del recurso marginal es diferente según la región, esencialmente porque los caudales esperados y por consiguiente la producción de energía es diferente según la región y por la diferencia en la estacionalidad que lleva a que las regiones 2 y 3 por el doble pico anual, tengan uno de de los picos (el de otoño) en una zona en el que el sistema tiene costos marginales superiores. Las regiones 1, 4 y 5 tienen su pico de producción desplazado hacia la primavera que es cuando el sistema tiene menores costos marginales.

Como cotejamiento con resultados anteriores, se analiza la resolución “R12-1056” del directorio de UTE del 5 de julio de 2012 en la que se fijan condiciones de remuneración de un contrato de energía proveniente de una mini-hidráulica de 15 MW a instalarse en Cerro Largo (región 5 ver Fig.5). Este proyecto tiene parámetros en el entorno de los utilizados para realizar las simulaciones. Las hipótesis de futuro (esto es expansión del parque generador, escenarios de precios de comercio internacional y de combustibles) seguramente no son las mismas que las utilizadas en oportunidad de realizar los estudios que dieron lugar a la citada resolución, pero tampoco pueden ser muy diferentes, pues las condiciones no han cambiado sustancialmente entre Julio 2012 y Abril 2014 (en todo caso hoy se tiene mayor certeza sobre la principal hipótesis que era la incorporación de energía eólica en gran escala).

En la citada resolución, el valor de la energía de una central mini-hidráulica de pasada (empuntable pues es la forma de modelado disponible en ese momento) se estimó en 79.8 USD/MWh de noviembre de 2011. Suponiendo una inflación de 2.0% anual del dólar, ese valor llevado a enero 2014 sería aproximadamente de 83.0 USD/MWh. La central “Tacuarí” (a la que se refiere la resolución) estaría ubi-

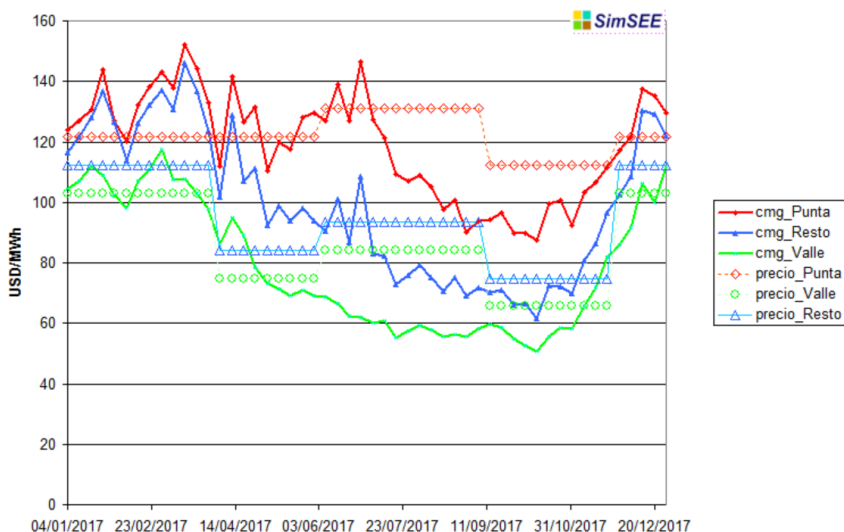


Fig. 16: Estacionalidad del costo marginal y de los precios de R.12-1056 de UTE.

cada en la región 5 con lo cual el valor de la energía de acuerdo con el caso de estudio sería 82.83 USD/MWh (última columna de la última fila de la tabla 7) lo que muestra que el resultado obtenido es acorde al estimado con anterioridad por los técnicos de UTE. En la estimación realizada en julio de 2011, a falta de un modelo de escurrimientos como el desarrollado se utilizó la ficción de que la central generaba correlacionada con Salto Grande y ahora se verifica que la Región 5 tiene un comportamiento similar al de dicha central (un pico en primavera).

Otro aspecto relevante a comparar de la referida resolución es la estacionalidad de precios que se propone en la misma. En la Fig.16 se muestra la estacionalidad de los costos marginales y de los precios establecidos en la R.12-1056.

El tramo "Punta" corresponde a las horas de mayor demanda del sistema y es el promedio ponderado (por sus duraciones) de los postes 1 y 2 (de 5 y 23 horas respectivamente). El tramo "Valle" corresponde a las horas de menor demanda y el tramo "Resto" corresponde a las horas de demanda intermedia. Como se puede apreciar, el ajuste de los precios sigue razonablemente bien la evolución del costo marginal. Los desajustes son principalmente la formación de un "pico" en invierno en los precios. Este pico se atribuye a diferencia en los métodos de optimización de la operación del sistema por la utilización de herramientas diferentes. Para el propósito de este trabajo se considera que los resultados están dentro de lo razonable.

Referencias.

- [1]: Ruben Chaer, Fundamentos de modelo CEGH de procesos estocásticos multivariados., 2011, Rporte Técnico, IIE-FING-UDELAR
- [2]: <http://sig.inia.org.uy/sigras/#InformacionGeografica:suelos>, , ,
- [3]: MVOTMA (2011), , , Manual de Diseño y Construcción de Pequeñas Presas. Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, Uruguay.
- [4]: Genta, J.L y Failache, , , N. Monitoreo y disponibilidad de recurso hídricos en Uruguay. Dirección Nacional de Aguas y Saneamiento – Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente.
- [5]: Temez, J.R. (1977), , , "Modelo matemático de transformación Precipitación-Aportación", ASINEL.