



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

XIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
06 y 07 de Setiembre de 2018

Forzante Hidrológico para la Planificación del Mantenimiento de Unidades Turbo-Generadoras y de Estructuras de Descarga.

Yanet Cabrera¹, Andrés Graisaro², Lucas Chamorro¹, Jorge Colmán¹, Fernando Bolla¹, Carlos Agostinelli².

Entidad Binacional Yacyretá

Paraguay¹, Argentina².

RESUMEN

La variabilidad de los caudales del río Paraná a la altura de Yacyretá está influenciada por diferentes forzantes climáticos locales y/o regionales, ya sea en escalas temporales interanuales, intra-estacionales e interdecadales; sin descuidar acciones de origen antropogénicos, como ser, cambios en el uso de suelo y la cadena de represas. El objetivo del presente trabajo consiste en evaluar la disponibilidad hídrica en la CHY en relación al Forzante El Niño-Oscilación del Sur (ENSO en inglés), con miras a la planificación del mantenimiento de las unidades turbo-generadoras y de las estructuras de descargas. Para lo cual, se utiliza el Índice Oceánico del Niño (ONI en inglés) para identificar eventos El Niño (cálidos) y la Niña (fríos), los registros históricos de caudales del río Paraná en zona de interés y las características operacionales del Complejo Hidroeléctrico. Obteniéndose como producto las probabilidades semanales del número de unidades a máxima carga y un rango de aperturas de compuertas de los vertederos Aña Cuá y Principal del Complejo Hidroeléctrico Yacyretá, en relación a eventos de El Niño, La Niña, Neutro (ni el Niño, ni la Niña) y el Climatológico de largo periodo de tiempo. Los resultados se presentan en forma tabular para los diferentes escenarios analizados; instalándose la misma como una herramienta de soporte válida para la planificación hidroenergética óptima y la vinculación entre el forzante climático y la generación hidroeléctrica; es decir se asocian tres parámetros, el tiempo (semana), unidades turbo-generadoras, aperturas de compuertas de vertederos y la probabilidad de ocurrencia del uso, impulsada por la relación del forzante climático e hidrológico.

PALABRAS CLAVES

El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), Índice Oceánico del Niño (ONI), Complejo Hidroeléctrico Yacyretá (CHY), Unidades Turbo-Generadoras, Estructuras de Descarga.



1 INTRODUCCIÓN

El río Paraná en la zona de emplazamiento del Complejo Hidroeléctrico Yacyretá (CHY) tiene un área de drenaje de aproximadamente 970.000 km². En su curso constituye la última central hidroeléctrica de una cadena de centrales hidroeléctricas, algunas con importantes capacidades de acumulación.

La variabilidad de los caudales está influenciada por diferentes forzantes climáticos locales y/o regionales, ya sea en escalas temporales interanuales, intra-estacionales e interdecadales; sin descuidar acciones de origen antropogénicos, como ser, cambios en el uso de suelo y la cadena de represas (Gulizia, 2010; Tucci, Braga, 2015).

El objetivo del presente trabajo consiste en evaluar la disponibilidad hídrica en la CHY en relación al Forzante El Niño-Oscilación del Sur (ENSO en inglés), con miras a la planificación del mantenimiento de las unidades turbo-generadoras y de las estructuras de descargas.

2 DESCRIPCIÓN DEL FORZANTE CLIMÁTICO E INDICADOR.

El Niño-Oscilación del Sur, también conocido como ENSO (El Niño/Southern Oscillation), es una fluctuación periódica de la Temperatura Superficial del Mar – SST (El Niño-La Niña) y de la presión del aire de la atmósfera suprayacente (Oscilación del Sur) a través del Océano Pacífico Ecuatorial (NOAA).

El seguimiento de las condiciones del ENSO se realiza utilizando indicadores, como ser, el Índice de Oscilación del Sur (SOI-en inglés) y la Temperatura Superficial del Mar (SST-en inglés). El Índice de Oscilación del Sur (SOI) es un índice estandarizado basado en las diferencias de presión observadas a nivel del mar entre Tahití y Darwin (Australia) (NOAA).

Las anomalías de la temperatura superficial del mar son vigiladas en 4 regiones geográficas del Pacífico Ecuatorial (Figura 1). Anomalías de la SST iguales o mayores a 0.5 ° C en la región del Niño 3.4 (5°N -5°S, 120°W - 170°W) son indicativas de una fase cálida del ENSO (El Niño), mientras que las anomalías menores o iguales a -0.5 ° C se asocian con las condiciones de una fase fría (La Niña).

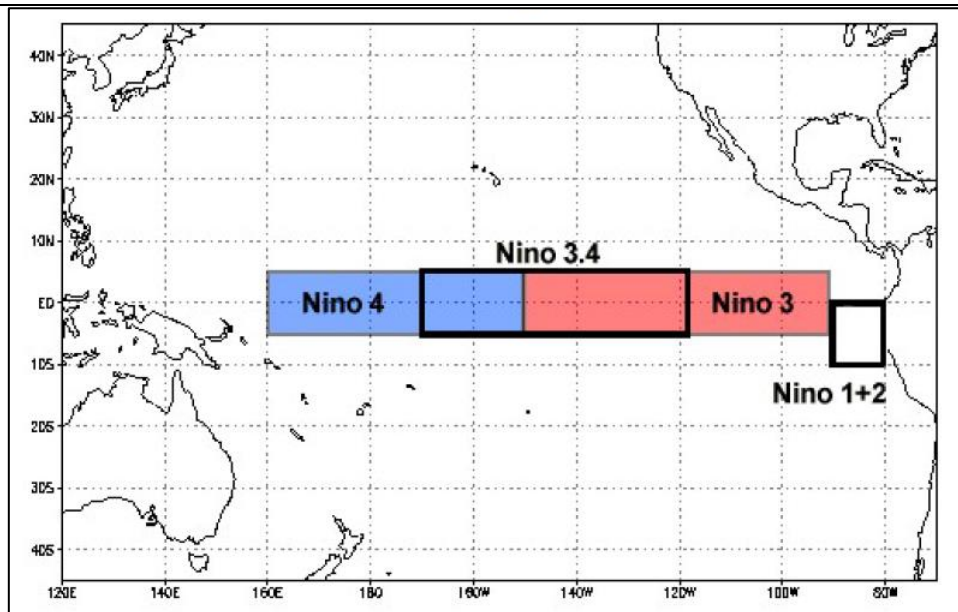


Figura 1. Regiones de El Niño. Fuente: NOAA.

Uno de los indicadores estándar del SST es El Índice Oceánico El Niño (Oceanic Niño Index-ONI), usado para identificar eventos El Niño (cálidos) y La Niña (frío), el cual se calcula como la media de 3 meses consecutivos de las anomalías de la SST en la región 3.4 de El Niño. Si el ONI exhibe condiciones de fase cálida (+) o fría (-) por al menos cinco valores consecutivos, se define como un evento de El Niño o La Niña respectivamente (NOAA).

3 COMPLEJO HIDROELÉCTRICO YACYRETÁ.

El cierre de Yacyretá tiene una extensión de unos 67 km de longitud. Totalizados por una serie de presas contiguas, la casa de máquinas, esclusa de navegación y dos vertederos. Ambos vertederos, Aña Cuá y Principal homónimos al brazo en que se emplazan, tiene una capacidad conjunta de descarga de 95.000 m³/s (CMP).

Yacyretá es una central denominada de “pasada”, es decir, la relación entre el volumen de su embalse y los caudales circulantes es tal que su capacidad regular caudales es mínima.

La gestión del recurso agua a través del complejo se basa en:

- Garantizar un caudal determinado por el brazo Aña Cuá.
- Luego, todo excedente será utilizado para accionar los turbo-generadores de la casa de máquinas.
- Cuando la afluencia supere la capacidad máxima turbinable comenzará a vertirse primeramente por el Vertedero Brazo Aña Cuá y luego por el Vertedero Brazo Principal,

XIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
06 y 07 de Setiembre de 2018

alcanzando la condición de distribución natural de caudales para un determinado rango de niveles en las localidades agua bajantes.

4 MATERIALES Y METODOLOGÍA

Se clasificaron los eventos El Niño, La Niña y Neutro (Ni niño ni Niña) utilizando el índice ONI¹ ERSST.v5 (Huang et al.,2017), asumiendo la definición de que se tiene un evento El Niño o La Niña cuando como mínimo el índice ONI supera durante 5 valores consecutivos el umbral de +/-0.5, respectivamente; con el mismo criterio se obtuvieron los eventos neutros (valores ONI entre los umbrales de +/-0.5, 5 veces consecutivas). El análisis fue realizado entre los años 1970 – 2017 (Tabla 1).

Tabla 1. Eventos El Niño (cálido), La Niña (frío) y Neutro. Desde 1970.

El Niño	Neutro	La Niña
AMJ 1972 - FMA 1973	EFM 1970 - MJJ 1970	JJA 1970 - DEF 1972
ASO 1976 - EFM 1977	FMA 1977 - JAS 1977	AMJ 1973 - JJA 1974
ASO 1977 - DEF 1978	EFM 1978 - ASO 1979	SON 1974 - MAM 1976
SON 1979 - EFM 1980	FMA 1980 - FMA 1982	ASO 1983 - DEF 1984
MAM 1982 - MJJ 1983	EFM 1984 - ASO 1984	SON 1984 - JAS 1985
ASO 1986 - EFM 1988	ASO 1985 - JAS 1986	AMJ 1988 - AMJ 1989
AMJ 1991 - MJJ 1992	MJJ 1989 - MAM 1991	JAS 1995 - FMA 1996
ASO 1994 - FMA 1995	JJA 1992 - JAS 1994	JJA 1998 - EFM 2001
AMJ 1997 - AMJ 1998	MAM 1996 - MAM 1997	OND 2005 - FMA 2006
MJJ 2002 - EFM 2003	FMA 2001 - AMJ 2002	JJA 2007 - MJJ 2008
JJA 2004 - EFM 2005	FMA 2003 - MJJ 2004	OND 2008 - FMA 2009
ASO 2006 - DEF 2007	FMA 2005 - SON 2005	MJJ 2010 - AMJ 2011
JJA 2009 - FMA 2010	MAM 2006 - JAS 2006	JJA 2011 - FMA 2012
OND 2014 - AMJ 2016	EFM 2007 - MJJ 2007	JAS 2016 - NDE 2016
	MAM 2012 - SON 2014	
	DJF 2017 - ASO 2017	

Los caudales medios diarios del río Paraná a la altura de Yacyretá (serie 1970-2017) se promediaron en semanas calendarios, obteniéndose por cada año 52 valores de caudales medios semanales.

Por cada evento de El Niño, La Niña o Neutro, se filtraron los caudales medios semanales correspondientes a los meses que abarcan cada evento; teniéndose así, tres series de caudales semanales conformados cada uno de ellos por todos los eventos pertenecientes respectivamente a El Niño, La Niña o Neutro.

¹ Los valores de índices ONI (ERSST.V5) se pueden encontrar en:

http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php



XIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
06 y 07 de Setiembre de 2018

Considerando las condiciones operacionales del complejo Yacyretá, se determina un caudal medio turbinado por unidad correspondiente a la máxima potencia para un salto dado. Se calcula el caudal total efluente medio mínimo necesario para que las unidades turbo-generadoras trabajen a máxima potencia, la cual dependerá del número de unidades, contemplando el caudal mínimo que debe ser erogado por el Vertedero Brazo Aña Cuá.

Utilizando cada una de las tres series de caudales afluentes (Eventos El Niño, La Niña y Neutro) y las descargas mínimas necesarias para cada número de unidades, se estimaron para cada escenario las probabilidades semanales (semanas calendarios) del número de unidades que podrían trabajar a máxima carga.

Para cada número de unidades a máxima potencia y los tres eventos en análisis, se estimaron las probabilidades para diferentes aperturas uniformes del Vertedero Brazo Aña Cuá y Vertedero Brazo Principal, utilizando las curvas de descargas de ambos órganos de descarga y respetando las consignas de operación del embalse, que incluyen la distribución de caudales por ambos brazos. El análisis concluye una vez que se alcanza el caudal a partir del cual se debe respetar la distribución natural de descargas entre los Brazos Aña Cuá y Brazo Principal.

Con los mismos criterios mencionados más arriba se realizaron los mismos análisis para la serie completa (serie 1970-2017) de caudales afluentes a la CHY (Climatología).

5 RESULTADOS

Para cada uno de los escenarios analizados (Eventos El Niño, La Niña, Neutro y Serie Completa) se obtuvieron en forma tabular las probabilidades semanales del número de unidades a máxima carga, discretizando por percentiles. En la Tabla 2 puede observarse el resultado para el caso de Eventos El Niño y número de unidades entre 11 y 20.

Así también, para los mismos escenarios y considerando un número de unidades turbogeneradoras a máxima potencia, se obtuvieron en forma tabular las probabilidades semanales de aperturas uniformes de los Vertederos Brazo Aña Cuá y Principal, contemplando las consignas de operación del embalse, hasta alcanzar el caudal a partir del cual se debe respetar la distribución natural de caudales entre ambos brazos. En la Tabla 3 se muestra un ejemplo, para 18 unidades a máxima potencia y Eventos El Niño.



XIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
06 y 07 de Setiembre de 2018

Tabla 2. Probabilidad semanal (semana calendario) de Número de Unidades a Máxima Carga (11 a 20 unidades). Eventos el Niño.

Op. Cota 83 (Qac=1000 m3/s). Serie 1970-2017. - EVENTOS EL NIÑO										
Probabilidad semanal de N unidades promedio a maxima carga. Semanas calendarias										
Sem nº	Numero de unidades a Máxima Potencia									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	99	97	95	91	84	80	73	62	51	49
2	99	97	96	94	90	73	68	57	52	50
3	100	100	100	100	97	85	79	76	73	60
4	100	100	99	95	92	89	80	75	67	62
5	100	100	100	98	97	95	93	84	82	77
6	100	100	100	99	95	92	90	88	86	82
7	100	100	100	100	100	98	92	90	88	86
8	100	100	100	100	100	93	89	85	74	72
9	100	100	100	100	99	96	94	90	74	61
10	100	100	100	100	90	84	80	75	65	50
11	100	100	100	100	99	95	91	86	79	58
12	100	100	100	100	96	92	87	79	61	48
13	100	100	100	100	91	74	71	68	65	61
14	100	100	100	100	83	81	79	76	74	72
15	100	100	100	96	91	86	81	75	70	61
16	100	100	100	100	98	93	88	83	64	42
17	100	100	100	96	86	79	74	69	61	49
18	97	93	90	75	70	52	45	42	40	38
19	96	92	85	66	63	59	56	42	39	35
20	96	93	90	65	58	53	48	44	43	42
21	94	90	87	83	79	63	57	51	45	43
22	97	95	93	90	77	71	65	49	45	40
23	100	100	100	100	77	63	46	41	37	33
24	100	100	100	91	71	63	56	49	43	36
25	100	97	92	88	73	62	59	57	54	51
26	99	93	88	77	73	72	70	68	66	64
27	94	90	87	81	75	50	42	31	24	21
28	90	86	82	79	75	62	54	46	39	32
29	100	100	98	92	85	74	68	58	36	26
30	100	100	100	86	80	49	46	43	40	34
31	99	94	86	58	51	46	41	34	11	6
32	91	84	78	61	51	33	21	17	14	10
33	94	91	76	52	31	22	12	0	0	0
34	95	92	84	60	38	24	9	0	0	0
35	95	91	63	45	31	23	8	7	6	5
36	93	77	58	23	20	18	15	3	0	0
37	93	86	76	37	32	12	8	6	5	4
38	94	88	75	61	53	33	25	7	6	5
39	98	81	73	66	53	30	28	26	24	15
40	98	95	87	64	57	47	31	26	22	20
41	100	97	94	75	68	61	54	38	25	21
42	92	88	84	79	72	37	30	23	21	21
43	92	85	80	71	61	58	53	46	40	35
44	94	90	83	77	73	59	56	45	26	25
45	99	97	95	93	72	68	55	46	43	37
46	100	100	97	83	78	73	69	60	57	55
47	100	89	84	81	76	66	62	50	43	36
48	100	100	94	89	71	63	57	51	38	33
49	100	100	92	86	83	80	47	45	43	42
50	100	100	100	91	87	68	61	53	50	48
51	100	100	100	100	94	74	64	55	49	42
52	100	100	100	93	87	60	54	49	45	40

Niveles de probabilidad (criterio: terciles).
 ALTO (>66%)
 INTERMEDIO (entre 66% y 33%)
 BAJO (<33%)



XIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
06 y 07 de Setiembre de 2018

Tabla 3. Probabilidad Semanal (Semanas calendarios) de Número de Unidades a máxima carga hasta 18 Unidades y de Aperturas Uniformes de los Vertederos Brazo Aña Cuá y Brazo Principal con 18 Unidades a máxima potencia. Eventos El Niño.

Table with 3 main sections: 'Op. Cota 83. Serie 1970-2017. - EVENTOS EL NIÑO', 'Probabilidad semanal (Semanas calendarias)', and 'Apertura uniforme VBAC'. It contains a grid of numerical data for 52 weeks across various unit and aperture categories, with color-coded cells representing probability levels.

En general los resultados son concordantes con los efectos del fenómeno ENSO en la zona de estudio, especialmente el evento El Niño. Debe mencionarse que también existen otros forzantes climáticos que tienen efectos en las condiciones hidrológicas.



6 CONCLUSIONES

La metodología utilizada en éste trabajo de vinculación entre el forzante climático (en éste caso ENSO), los caudales históricos del río Paraná a la altura de Yacretá, las condiciones operaciones del Complejo Hidroeléctrico, se considera una herramienta válida para la planificación del mantenimiento de las unidades turbo-generadoras y de las estructuras de descargas, en la búsqueda de optimizar la hidrogenación.

Se aconseja para mejoras futuras, investigar y contemplar también la influencia de otros forzantes climáticos en las condiciones hidrológicas del área de estudio y la relación con otros índices utilizados para monitorear el fenómeno ENSO. Otra variable a considerar en este análisis es el estado de almacenamiento de los reservorios emplazados aguas arriba.

BIBLIOGRAFIA

- [1] C. N Gulizia. *Estudio de la Variabilidad Hidrológica de la Cuenca del Plata en respuesta a diferentes forzantes climáticos locales y regionales*. Tesis Doctoral. Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. 2014, paginas 296.
- [2] C. E. Tucci, B. Braga. *Clima e Recursos Hídricos no Brasil*. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 2015, páginas 348.
- [3] NOAA. *El Niño/Southern Oscillation (ENSO)*. <https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso>
- [4] B. Huang, P. W. Thorne, V. F. Banzon, T. Boyer, G. Chepurin, J. H. Lawrimore, M. J. Menne, T. M. Smith, R. S. Vose, H. Zhand. *Extended Reconstructed Sea Surface Temperature version 5 (ERSSTv5), Upgrades, validations, and intercomparisons*. Journal of Climate, Vol. 30, Octubre 2017, páginas 8179-8205. doi: 10.1175/JCLI-D-16-0836.1