



VII/CE-C1-02

## **Hidrogenación – Variabilidad Climática – Escenarios**

**Ing. Lucas Federico Chamorro Vega**  
**ENTIDAD BINACIONAL YACYRETA**  
**Departamento Técnico**  
**Sector Hidrología**

### **Paraguay**

#### **RESUMEN**

La hidroelectricidad constituye la fuente principal de energía renovable, que responde por 91,7% de la energía generada en el mundo. Y será por muchos años la principal fuente renovable con viabilidad económica y eficiencia energética para sustituir parte de la energía derivada de fuentes fósiles. El mundo aprovecha apenas el 33% de los potenciales hidroeléctricos y genera 2.140 TW/h/año de energía, suficientes para ahorrar cerca de 4,4 millones de barriles equivalentes de petróleo/día.

La urgente necesidad de disminuir la vulnerabilidad de las sociedades al cambio climático esta recibiendo cada vez más atención de parte de los gobiernos y las agencias internacionales. Parece ser que la consecuencia más grave del calentamiento global para los humanos no será un clima más cálido, sino los cambios en el patrón de comportamiento del ciclo hidrológico (precipitaciones) que será producto del calentamiento del planeta, entre otros. Ya estamos sufriendo un gran número de reacciones sin precedente y de gran intensidad como inundaciones extremas, sequías y dificultades que estas traen consigo, y aún se espera que esta situación empeore en el futuro.

Las grandes centrales hidroeléctricas se construyen suponiendo que los pasados sistemas hidrológicos pueden ser usados para predecir con precisión la futura producción de energía y el tamaño de las inundaciones que pudieran de alguna manera amenazar la seguridad de las presas o aumentar sus programas de auscultación y mantenimiento civil.

En las planificaciones, muchas veces se han verificado apartamientos de los escenarios actuales al calcular con series de tiempo cortas o de tiempos de sequías o de crecidas para sus escenarios de energía. Estudios indican que la variabilidad interdecadal, responsable por las variaciones no antropogénicas con ciclos del orden de varias décadas parece ser responsable por casi toda la variación ocurrida después de las décadas del 60 y 70, en el siglo XX. El impacto del calentamiento global de algunos grados centígrados podría darse en la hidrología de la Cuenca del Plata, lo cual no sería subestimado. El mismo podría causar considerable disminución en la producción regional de energía, y además como este tipo de escenario de calentamiento podría ocurrir por varias décadas desde ahora, lo cual no es imposible que la tendencia de calentamiento ya ha iniciado la reversa de la tendencia positiva en las descargas observadas en las últimas tres décadas. Si fuera el caso, las planificaciones de largo plazo para los sectores de la energía deberían incluir esta posibilidad.

#### **PALABRAS CLAVES**

Hidroelectricidad- Energía – Cambio Climático – Variabilidad Climática – Interdecadal – Precipitaciones – Escenarios – Planificación – Vulnerabilidad – Adaptación

#### **1.1 Introducción**

A nivel mundial, las grandes represas hidroeléctricas proporcionan el 10% o más de la generación total en 113 países. Contribuyen en más del 20% de esta generación en 91 países y más del 50% del abastecimiento total energético en 63 países. Casi todos estos 63 países están entre los subdesarrollados o en la ex – Unión Soviética.

Muchos de los países dependientes de la hidroelectricidad están ya experimentando escasez energética en períodos de sequía. Los países que han sufrido apagones y racionamiento de energía debidos a las sequías en recientes años, incluyen Albania, Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, Ghana, Guatemala, India, Kenia, Perú, Sri Lanka, Tayikistán, Vietnam, Zambia y Zimbabwe. Noruega y partes de EU también han experimentado problemas en el suministro de energía debido a bajos niveles de agua en las represas.

En varios de estos países que ya dependen altamente de la hidroelectricidad se está planificando la construcción de nuevos aprovechamientos hidroeléctricos, como en el caso de los países de la cuenca del Plata. Ello se debe a la necesidad de atender la demanda creciente por una parte y por otra a que la relación entre potencia instalada y demanda máxima es actualmente relativamente pequeña para una situación donde la mayor parte del parque es hidráulico y por lo tanto susceptible de gran variabilidad por causas climáticas. La potencia instalada en los países de la cuenca del Plata en el año 2000 alcanzaba a 97.800 MW, de los cuales el 76% correspondía a hidráulica. Por otra parte la potencia instalada era solo 1,34 veces mayor que la demanda máxima, debido fundamentalmente al peso de Brasil dentro de los países de la cuenca, tanto en la potencia instalada como en la demanda máxima, tabla 1. Esta baja relación, pone en crisis el abastecimiento en los casos de prolongadas sequías y es uno de los factores que hace necesaria la ampliación de la potencia instalada.

**Tabla 1:** Estructura de los mercados del MERCOSUR. Oferta y Demanda del año 2000

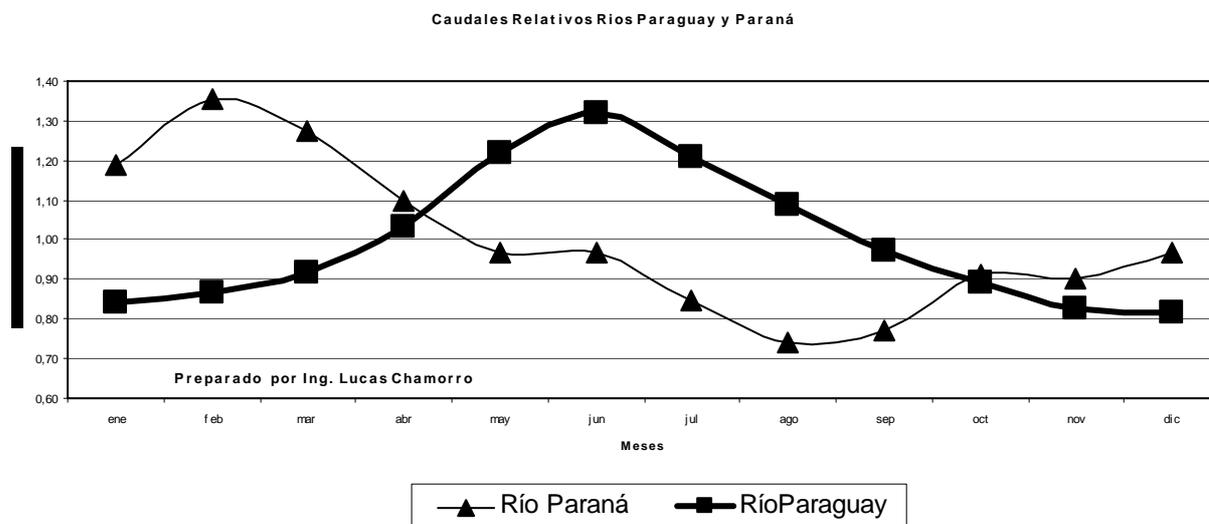
PAIS	Hidro (MW)	Térmica (MW)	Total (MW)	% Hidro	MW	GWH	Relación P inst/ Dem. Máx
Argentina	8.926	11.785	20.711	43%	13.754	79.969	1.51
Bolivia	336	629	965	35%	645	3.336	1.50
Brasil	56.262	9.929	66.191	85%	56.000	322.464	1.20
Paraguay	7.840	0	7.840	100%	1.120	5.800	7.00
Uruguay	1.534	563	2.097	73%	1.463	7.926	1.43
Total	74.898	22.906	97.804	67%	72.982	419.495	2.11

Fuente: Revista CIER Nro. 43

La producción de energía hidráulica es influenciada por la variabilidad de la precipitación. Los cambios de hidráulica a producirse como consecuencia del Cambio Climático Global, podrán favorecer o perjudicar la generación de energía hidráulica dependiendo de como se afecte no solo la generación total sino su estacionalidad (Figura 1) en relación con la demanda de electricidad. En el caso de que los cambios fueran desfavorables, la vulnerabilidad del sector eléctrico dependerá en gran medida del porcentaje de generación hidroeléctrica. Por ello, la producción de energía eléctrica en la cuenca del Plata es potencialmente altamente vulnerable al Cambio Climático siendo desde este punto de vista una de las regiones del mundo de mayor vulnerabilidad. Se define la variabilidad climática como a las variaciones del clima en función de las condiciones naturales del globo terrestre y sus interacciones y a la modificación climática como las alteraciones de la variabilidad climática debido a las actividades humanas.

La vulnerabilidad a la variabilidad climática y eventualmente al cambio climático puede aumentar en el futuro ya que solo una fracción del potencial técnicamente explotable de energía hidroeléctrica en los países de la Cuenca del Plata está siendo utilizada. En estas circunstancias, la región estaría en condiciones de incrementar la potencia instalada de energía hídrica durante este siglo para satisfacer

las demandas crecientes, aún si el cambio climático resultara en algunas reducciones en la generación de energía en algunas represas.



**Figura 1:** Estacionalidad de los ríos Paraguay (Asunción) y Paraná (Encarnación)

Las sequías traen muchos perjuicios económicos y sociales, especialmente en países con gran dependencia de la agricultura.

La afectación de las sequías en las usinas hidroeléctricas también puede ocasionar problemas económicos, en momentos en que la economía ya se ve afectada por la baja producción de alimentos y la reducción de las exportaciones. Las capacidades de generación plena se ven reducidas sustancialmente y en algunos casos se llega a una reducción extrema en los niveles de los embalses como en Itaipú en 1999 y en Salto Grande en 2004.

Las grandes plantas hidroeléctricas se construyen suponiendo que los pasados comportamientos hidrológicos pueden ser usados para predecir la futura producción de energía, el volumen de las inundaciones que pudieran amenazar la seguridad de las presas y el diseño de los programas de vigilancia.

A veces estos supuestos fueron excedidos porque sus diseñadores han estimado escenarios climáticos e hidrológicos distintos de lo que se están observando actualmente. Ello ocurre como consecuencia de asumir que las condiciones meteorológicas y climáticas no cambian de modo que las condiciones estadísticas del pasado se repetirán en el futuro.

Lo menos que se puede decir de esta premisa es que ya no es aceptable. Aún con las incertidumbres para predecir el futuro, debido al calentamiento del planeta no se pueden descartar para el futuro, extremos que probablemente superen todos los records históricos.

En consecuencia, los diseñadores de las grandes usinas hidroeléctricas deberían tomar en cuenta al Cambio Climático. A priori deberían considerar márgenes de seguridad mayores de modo que las represas tengan mayor capacidad para afrontar las inundaciones de manera segura y ambientalmente compatible.

Asimismo los diseños para la producción de energía tendrían que tener en cuenta la posibilidad de sequías extremas.

Esta claro que estos mayores márgenes de seguridad aumentarían los costos, pero seguramente reducirían los riesgos socioeconómicos y ambientales, y por lo tanto facilitarían la viabilidad de los proyectos. Una alternativa más sofisticada es tratar de reducir la incertidumbre futura mediante el uso criterioso de los escenarios climáticos.

## **1.2 Antecedentes de Aspectos de Hidrogeneración en Paraguay**

Todavía en la década de los años sesenta, Paraguay resultaba deficitario en fuentes de energía y la carencia de capitales impidió la explotación intensiva de los escasos recursos existentes. Las grandes existencias madereras facilitaban una fuente energética de carácter suplementario, sin que pudieran fundarse sobre ellas un tejido industrial de importancia relativa.

Por consiguiente, cabía la certeza de que no existiría una posibilidad de aumento del desarrollo y bienestar del país sin un abastecimiento de energía eléctrica y en el tiempo adecuado. Frente a esa certeza, era necesario analizar la capacidad del Paraguay para generar energía eléctrica en cantidades crecientes. No se disponía, ni se vislumbraba, en esa época, la posibilidad de disponer, en el futuro, de carbón, petróleo, gas natural o combustibles nucleares.

Por lo tanto las esperanzas de nuestro país en materia eléctrica se fundaban sobre su potencial hidroeléctrico.

Las posibilidades energéticas de los ríos paraguayos se encontraban sin aprovechar, calculándose entonces la potencia teórica de los mismos en más de dos millones de kilovatios. Las mejores condiciones de explotación las ofrecía el río Paraná, situado en la zona fronteriza con Brasil; con la ayuda de este país se pensaba construir una gran presa en el Salto de Guairá o en As Sete Quedas, donde el río posee un enorme caudal y una caída en pendiente similar al Salto de Iguazú. Pese a todos estos proyectos, el potencial eléctrico del país no sobrepasaba los 56.000 kilovatios, de los que sólo 500 correspondían a centrales hidroeléctricas.

El resto se obtenía de pequeñas instalaciones térmicas que funcionaban con gasoil o madera, instaladas en las ciudades más importantes del país, principalmente en la capital, donde se concentraba más de la mitad de dicho potencial eléctrico.

La situación cambió radicalmente con la puesta en marcha de las centrales de Acaray (nacional), Itaipú y Yacyretá (binacionales), que extendieron las redes de transmisión por todo el país. De esta forma, en la actualidad Paraguay dispone de una gran capacidad de producción de energía eléctrica que permite la exportación de buena parte a los países vecinos.

El río Paraná, formador del río de la Plata, es una de las corrientes fluviales de mayor potencial hidroenergético en el mundo (del orden de 51 aprovechamientos hidroenergéticos entre grandes y medianos emprendimientos, que en conjunto cuenta con un volumen de almacenamiento útil superior al 25 % del derrame medio anual del Río Alto Paraná , 380 km<sup>3</sup>), parte del cual, en los tramos transfronterizos, compartidos por Paraguay, está siendo aprovechado mediante emprendimientos binacionales de gran porte como Itaipú (Paraguay – Brasil) y Yacyretá (Paraguay – Argentina), con algunos otros interesantes proyectos actualmente en desarrollo en territorio paraguayo (ver Figura 2).

El potencial hidroeléctrico del Paraguay, incluyendo las instalaciones en operación, en construcción y aprovechamientos identificados, alcanza a aproximadamente 12.500 MW, valor que incluye al 50% que le corresponde al país por los proyectos internacionales. Los proyectos más importantes en actividad son: Itaipú, con una capacidad instalada de 12.600 MW ( en aumento a 14.000 MW actualmente) que se comparte con el Brasil, y que se ubica en el extremo centro – oriente, cercano a Ciudad del Este(Py) y Foz de Yguazu (Br), actualmente en operación; Yacyretá a cota reducida 2000 MW ( a cota definitiva 3.100 MW) compartido con la Argentina, con la incorporación del proyecto Usina de Aña Cua ( aprovechamiento del caudal ecológico del Brazo Aña Cua) se adicionará 270 MW

al complejo, ubicado en el extremo sur, en el Departamento de Itapúa, y Acaray, proyecto totalmente paraguayo de 190 MW, localizado en los límites de Alto Paraná y Caaguazú.

La potencia total instalada correspondiente a Paraguay asciende a 7840 MW que permite generar en el entorno de unos 50.000 Gwh/año. Además de la generación hidráulica mencionada, la Administración Nacional de Electricidad cuenta con los siguientes grupos de generación térmica: San Carlos (0,08 megavatios), Bahía Negra (0,28), La Patria (0,28), Mariscal Estigarribia (1,36), Pedro Juan Caballero (2,8) y Sajonia (33,7).

### 1.3 **Emprendimientos en Operación, Factibles e Identificados (Hidroeléctricos)**

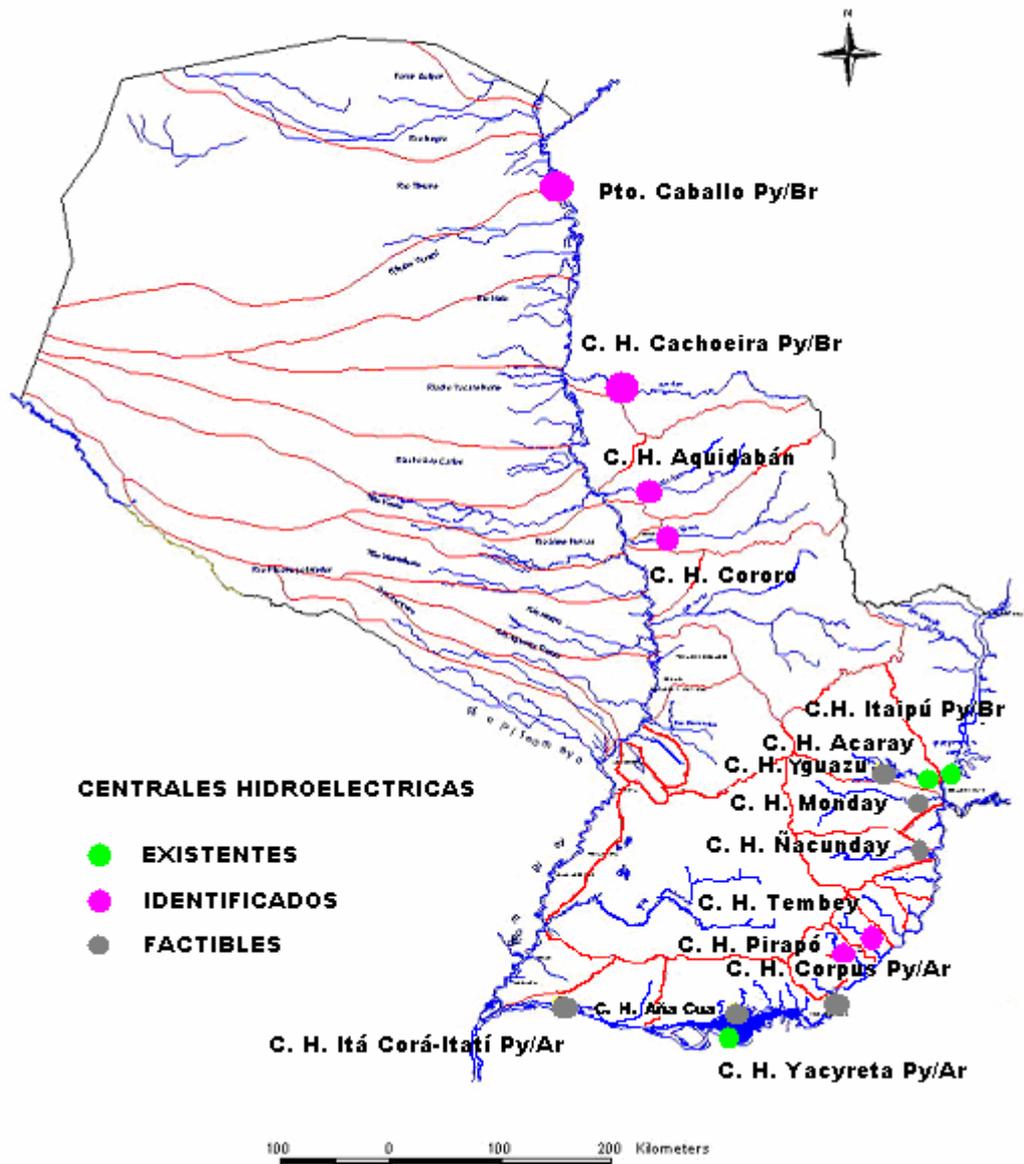
Nro	Denominación De la Obra	Río Caudal Medio (m3/s)	Operador	Año Inicio	Altura (m)	Volumen Embalse (Hm3)	Capacidad Vertedero ( m3/s)	País	Potencia Instalada (MW)
1	Itaipú	Paraná 12.300	Itaipú	1983	196	29000	63000	PY-BR	12600
2(*)	Yacyretá	Paraná 14500	Yacyretá	1994	22	20000 (*)	95000	PY-ARG	3100
3	Acaray	Acaray 180	Ande		88			PY	190
4(*)	AñaCua (**)	Paraná 1500			22			PY-ARG	290
5(***)	Corpus (**)	Paraná 14500				8000	95000	PY-ARG	2880
6(**)	Presa Yguazu	Yguazú	Ande					PY	200
7(&&)	Ñacunday	Ñacunday 66						PY	90
8(&)	Acaray III	Acaray 180						PY	120/1000
9(&&)	Monday	Monday 125						PY	200
10(&)	Itacora-Itati	Paraná 14500						PY-ARG	1632
11(&&)	Tembey	Tembey 26						PY	24
12(&&)	Pirapó	Pirapó 21						PY	18
13(&&)	Cororó	Ypané 165						PY	37
14(&&)	Aquidabán	Aquidabán 172						PY	42
15(&&)	Cachoeira	Apa 202						PY-BR	40
16(&&)	Puerto Caballo	Paraguay 2000				10000		PY-BR-BOL	

(\*) A Cota definitiva de Operación  
(&) Factibles

(\*\*) Estado de Proyecto  
(&&) Identificados

(\*\*\*) Alternativa Pindoi

**Tabla 2:** Aprovechamientos en Operación, factibles e identificados en PY y compartidos



**Figura 2:** Aprovechamientos Hidroenergéticos Existentes, identificados y factibles

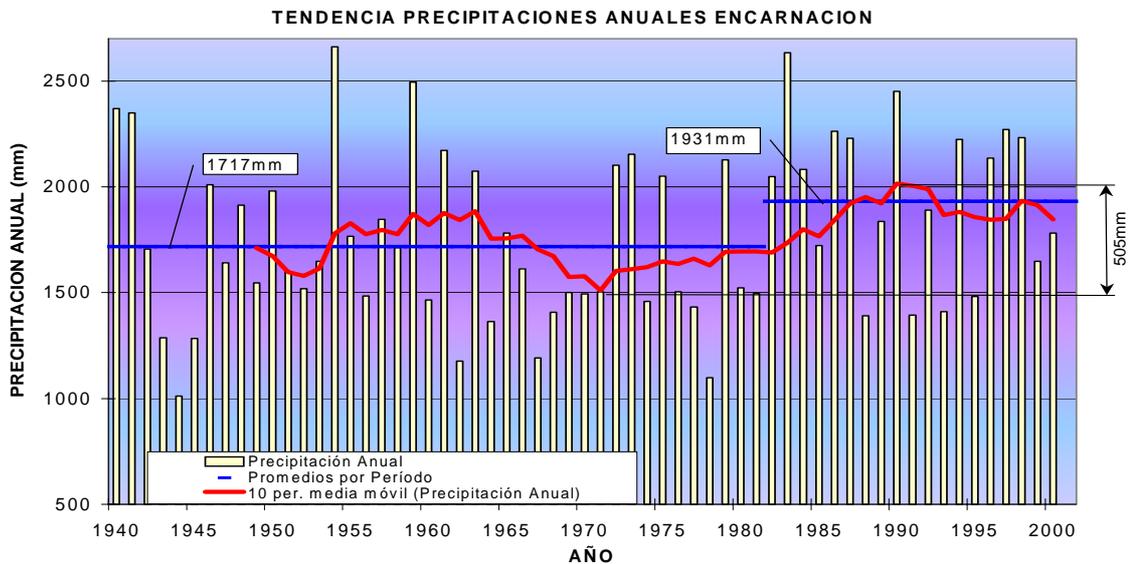
#### **1.4 Tendencias Climáticas e Hidrológicas en la Cuenca del Plata**

La Cuenca del Plata es un ámbito de gran importancia económica y demográfica, compartido por 5 países, cuya población supera los 200 millones. En ella se genera la mayor parte de la electricidad, el alimento y las exportaciones de los mismos.

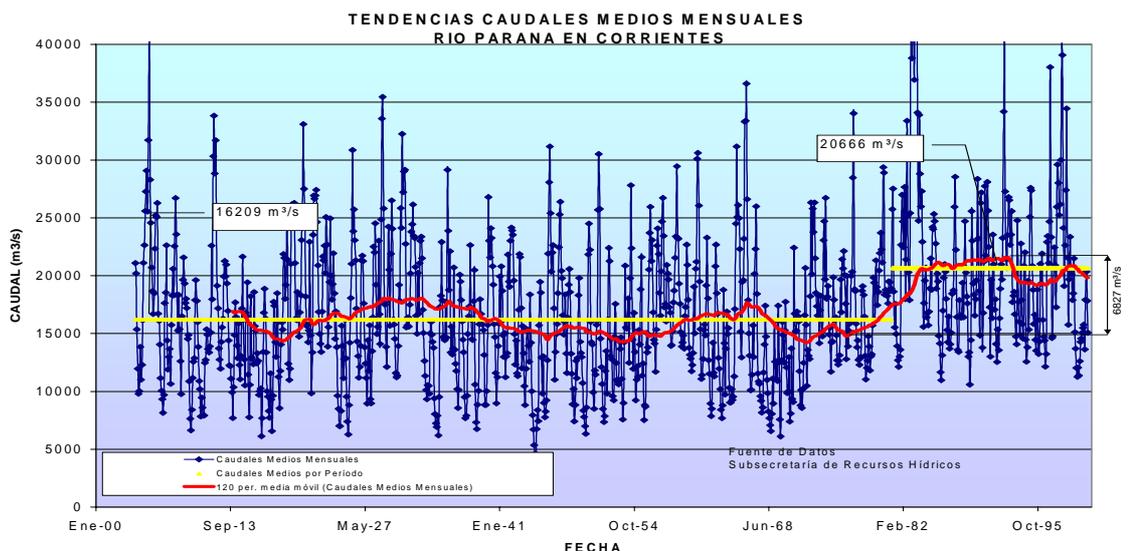
En la mayor parte de esta inmensa cuenca de 3100000 km<sup>2</sup>, hay manifestaciones claras de importantes tendencias climáticas e hidrológicas que posiblemente pudieran estar relacionadas con el Cambio Climático global. El más directo indicio en tal sentido es la simultaneidad del comienzo de estas tendencias con el último tren del calentamiento global iniciado en la década de 1970, el cual, es atribuible en gran medida al aumento de los gases de efecto invernadero.

Dentro de las regiones sub-continetales del mundo, el Sur de Sudamérica ha mostrado las mayores tendencias positivas de precipitación durante el último siglo (Giorgi 2002). Esto es así, aún cuando la región que incluye la zona de Chile subtropical presenta tendencias negativas (Minetti y Vargas 1998; IPCC 2001). El aumento de la precipitación anual en los últimos 40 años ha sido mayor al 10% sobre la mayor parte de la región, pero en algunos lugares ha alcanzado el 30% o más (Castañeda y Barros 1994; Minetti y otros 2003). Por ejemplo, en el sur y este de Paraguay (Figura 3) y en parte de la frontera entre Argentina y Brasil, la precipitación media anual se ha incrementado en más de 200 mm.

**Figura 3:** Precipitaciones Anuales – Promedios Móviles de diez años - Estación Encarnación



El aumento de la precipitación ha llevado al de la descarga de los ríos (García y Vargas 1998; Genta y otros 1998), porque la evaporación –controlada por la temperatura– parece no haber cambiado mucho (Berbery y Barros 2002). El aumento porcentual en la descarga de los ríos se ha amplificado cuando se lo compara con el correspondiente a la precipitación media de la cuenca del Plata (Berbery y Barros 2002; Clarke 2003; Collishon y otros 2001). (Figura 4)



**Figura 4 :** Caudales Medios Anuales – Promedios Móviles de diez años – Río Paraná –Estación Corrientes.

Esta característica podría atribuirse a la deforestación y a los cambios en la agricultura que pueden dar como resultado un mayor escurrimiento (Tucci y Clark 1998; Collishon y otros 2001). Sin embargo,

esta amplificación también ocurre cuando se comparan los cambios interanuales en la lluvia y la descarga de los ríos entre años consecutivos. Como en este caso, el impacto del cambio de uso de suelo es mínimo, esto permite inferir que la amplificación de los cambios porcentuales en los caudales con respecto a los de la precipitación es una característica propia y natural del sistema (Berbery y Barros 2002). Esta característica de la cuenca del Plata hace que las actividades dependientes de los recursos hídricos (hidroelectricidad) resulten muy vulnerables a los cambios en las precipitaciones (principal fuente de aporte en especial en la Cuenca del Paraná), lo que debe ser muy tenido en cuenta en el actual contexto del Cambio Climático.

Las nuevas condiciones del clima han vuelto obsoleta a una gran parte de la infraestructura, dado que ésta fue diseñada para condiciones climáticas distintas. Una gran parte de las pérdidas que ello ocasiona podría evitarse en el futuro, si la infraestructura que lo requiriera fuese modificada para ajustarla a las nuevas condiciones hidrometeorológicas, y las nuevas construcciones se hicieran de acuerdo a criterios que contemplen la nueva y futura realidad climática. Con pocas excepciones, ninguna de estas cosas está siendo realizada. Específicamente, la mayoría de la infraestructura fue, y aún es, diseñada con la suposición implícita de que el clima es estacionario. Los pocos métodos disponibles, apropiados para predecir el clima futuro en condiciones no-estacionarias, algunos de los cuales aún se están desarrollando, no son ni muy conocidos ni utilizados. Esta actitud refleja la falta de conciencia de la comunidad técnica sobre las tendencias del clima regional y sus consecuencias hidrológicas.

Para reducir la vulnerabilidad social al Cambio Climático en el recurso agua (crecidas y sequías) se requiere de la acción de un amplio espectro de actores, incluidos los gestores de las ciudades, las organizaciones comunitarias, los planificadores, el sector agrícola, sector salud y los gestores de desastres, al igual que la gente y las instituciones del sector hídrico. Un aspecto importante en este proceso de adaptación es la información climatológica.

Las tendencias de la precipitación en la América del Sur subtropical parece parte de un patrón global durante el siglo XX. Ha sido más fuerte que en otras partes del mundo y se ha intensificado en los últimos 30 o 40 años debido a cambios en la circulación atmosférica. La precipitación en Paraguay y gran parte de Brasil y por lo tanto los caudales de los ríos se han incrementado notablemente.

Además, los aumentos porcentuales en la precipitación tienden a duplicarse en los caudales del sistema del Plata como un todo, de forma que para cada 1% de aumento en la precipitación, el caudal aumenta en 2% o más. Es así que en una amplia región alrededor de la triple frontera entre Paraguay, Brasil y Argentina las tendencias positivas están mayormente originadas en las tendencias de la fase de El Niño. Como consecuencia de dichas tendencias positivas en las últimas décadas del siglo pasado en la precipitación sobre parte de la cuenca del Plata, resultaron amplificados los caudales.

La frecuencia de precipitaciones intensas también se ha incrementado desde fines de 1970, pero esta tendencia se ha hecho más marcada luego de 1990, con las consecuentes pérdidas de vidas, daños en la infraestructura y en las propiedades personales.

Las características y rasgos de las tendencias de la precipitación de las últimas décadas implican que la región está bajo nuevas condiciones climáticas que necesitan ser tomadas en cuenta para la planificación y la administración de los recursos hídricos.

## **2 ESCENARIOS CLIMATICOS**

Los escenarios del clima para el resto del siglo crean algunas preocupaciones sobre la magnitud de los recursos hídricos durante las próximas décadas, y teniendo en cuenta las tendencias de la precipitación y sus caudales asociados sobre todo del siglo pasado, crean al menos tres aspectos de consideración:

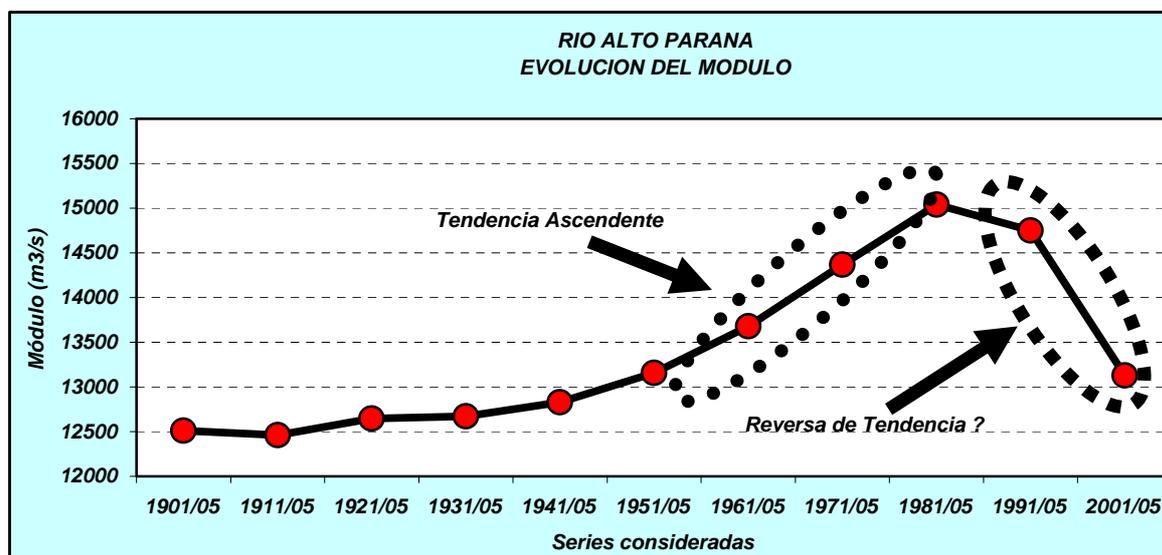
### **2.1 Cambio de Caudales**

El porcentaje del cambio en los caudales se amplifica con respecto a los respectivos cambios en la precipitación (Berbery y Barros 2002; Tucci 2003). Berbery y Barros (2002) calcularon el volumen

anual de la precipitación sobre la cuenca del Plata, aguas arriba de Corrientes en el río Paraná. Esta parte superior de la cuenca de Plata corresponde aproximadamente a la zona donde se generan la mayor parte de los caudales de la cuenca del Plata. De ese trabajo surge, que en esta parte superior de la Cuenca de Plata, la evaporación anual más la infiltración varían de un 66 al 75 % del volumen de la precipitación y los caudales anuales medidos varían de un 34 al 25 % de la lluvia total, dependiendo si el año es húmedo o seco, con un promedio de cerca de 70 % y 30 % respectivamente. Dependiendo de las condiciones fisiográficas locales y su clima implica que que cambios relativamente moderados en la precipitación o en la evapotranspiración estén asociados a cambios mayores en los caudales. Esto implica que hay una potencial vulnerabilidad de las actividades dependientes de los caudales al cambio climático global si este originara cambios negativos en las precipitaciones o positivos en la temperatura sobre la cuenca.

## 2.2 Temporalidad y magnitud

En los últimos 30-40 años, los cambios en la precipitación y en los caudales fueron muy importantes. En la figura 5 se ilustra la magnitud de este cambio en el caudal del más importante tributario del Plata, el río Alto Paraná, donde integra el escurrimiento de cerca de 2 millones de Km<sup>2</sup>. Aunque aun no se sabe si estos cambios se relacionaron o no al cambio climático global, el hecho que hayan ocurrido en tiempos recientes es indicio que podrían presentarse cambios semejantes en el futuro cercano, con el mismo u opuesto sentido al recientemente observado.



**Figura 5:** Evolución de los caudales del Río Alto Paraná de series muestrales de cada 10 años menos por vez

## 2.3 Modelos Climáticos Globales

Los experimentos climáticos más recientes de los grandes modelos climáticos globales (MCG) proyectan cambios importantes de la temperatura sobre la mayor parte de la cuenca de Plata. Aunque estos cambios dependen de las Emisiones de gases invernadero y del horizonte de tiempo, según la mayoría de las proyecciones, 2 a 4° de aumento en la temperatura son posibles en los próximos 50 años en la zona donde se generan la mayor parte de los caudales de la cuenca del Plata. Este aumento de la temperatura llevaría a un aumento de la tasa de evapotranspiración, produciendo reducciones considerables en los caudales. Por lo tanto, el cambio climático produciría cambios en la hidrología de la cuenca de Plata que pueden tener como resultado impactos importantes en la economía y la vida de la región (Barros y otros 2005).

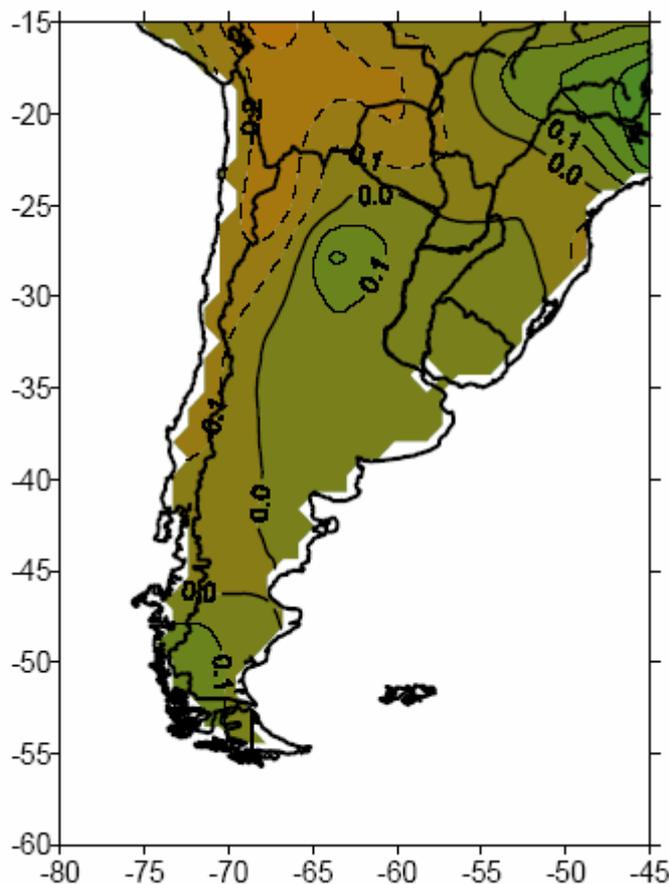
La amenaza del aumento de la evapotranspiración y de la consiguiente reducción de los caudales en la cuenca de Plata se resume como resaltante. El tema tiene incertidumbres todavía considerables, la más

importante es la falta de habilidad de los modelos climáticos para representa los campos actuales de la precipitación y la temperatura en la superficie.

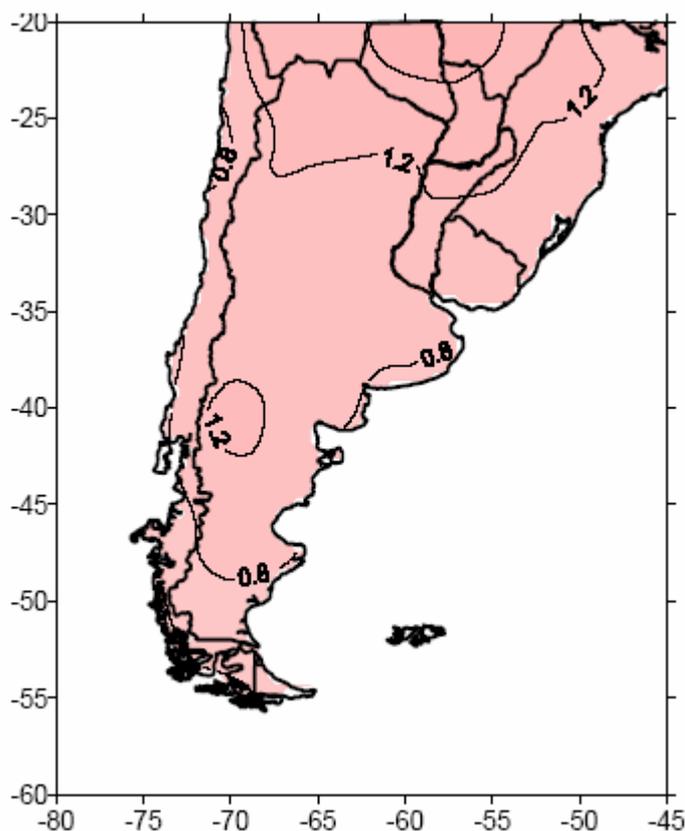
De todos modos, la intención en este caso es llamar la atención a los enormes costos posibles del proceso de cambio climático global en los países de la cuenca de Plata y en especial los países con aprovechamientos hidráulicos propios y compartidos. El enfoque es sólo una aproximación a un problema que requiere de refinamientos adicionales en escalas de tiempo y espacio y en metodologías.

#### **2.4 Escenarios de Temperatura y Precipitación**

Los escenarios climáticos no proyectan cambios importantes en la precipitación sobre la Cuenca de Plata para el siglo presente. La variabilidad entre los escenarios producidos por los diferentes modelos climáticos globales es de la orden o más grande que las diferencias respectivas entre las condiciones futuras y presentes de la lluvia. En general, los escenarios cuyas emisiones se calcularon asumiendo que el desarrollo futuro se basará prioritariamente en consideraciones económicas sin mucha atención al medio ambiente muestran cambios más grande que los de los escenarios que se construyeron suponiendo un desarrollo más amistoso con el mismo. Un escenario del primer tipo es el A2. Figura 6 y 7



**Figura 6:** Diferencia en la precipitación (mm/día) de acuerdo con el modelo HADCM3 entre las décadas de 2020, y el presente (1961-90) para el escenarioA2 del IPCC. Tomado de Camilloni y Bidegain (2005).



**Figura 7:** Ídem figura 4, pero para Temperatura (°C).

El impacto de un calentamiento causaría en la hidrología de la Cuenca del Plata, y en especial la del Paraná, no es un tema menor. Causaría considerables pérdidas en la producción regional de hidroenergía, y, aunque tal escenario de calentamiento se concretaría dentro de varias décadas, no es imposible que la tendencia de calentamiento ya haya empezado a invertir la tendencia positiva de los caudales observada en los últimos 30 años del siglo pasado.

Si este es el caso, el planeamiento de largo plazo del sector de energía debe incluir esta posibilidad. En todo caso, es necesario reducir la incertidumbre actual en la materia, mejorando los modelos climáticos regionales para tomar mejores opciones en la administración de los recursos hídricos y en la planificación de utilización del suelo.

### **3 VARIABILIDAD INTERDECADAL**

#### **3.1 Modulación Climática**

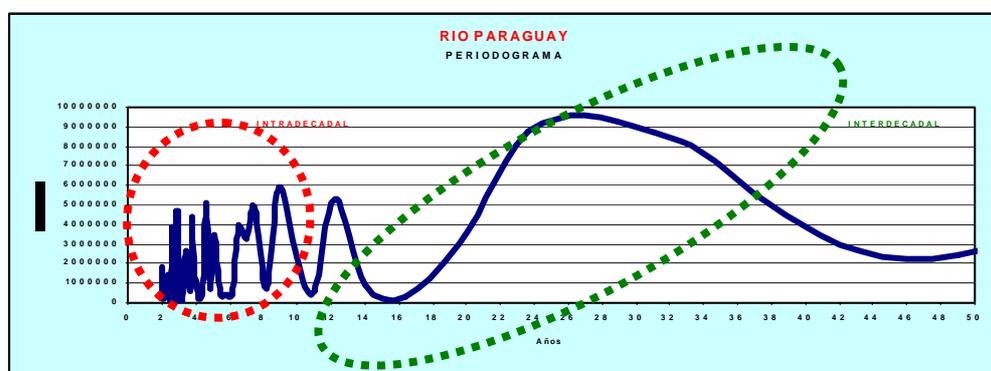
El Pacífico Tropical está dominado por un modo simple de variabilidad climática interanual, el cual se refleja en el acople océano-atmósfera a través del fenómeno de El Niño/Oscilación del Sur (ENSO).

En muchas partes del globo las variaciones climáticas interanuales están estrechamente relacionadas con este modo de oscilación. Sin embargo, el clima del Pacífico contiene otro modo (o modos) de variabilidad similar al ENSO, pero oscilando en escala decádica a multi-decádica. Entre estos se conoce un modo del sistema océano-atmósfera, anómalo y recurrente en el Pacífico, con signos dominantes multi-decádicos, desde finales de la década de 1980. Este modo muestra teleconexiones climáticas significativas y es comúnmente referido como el modo de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) (Mantua y otros 1997; Zhang y otros 1997).

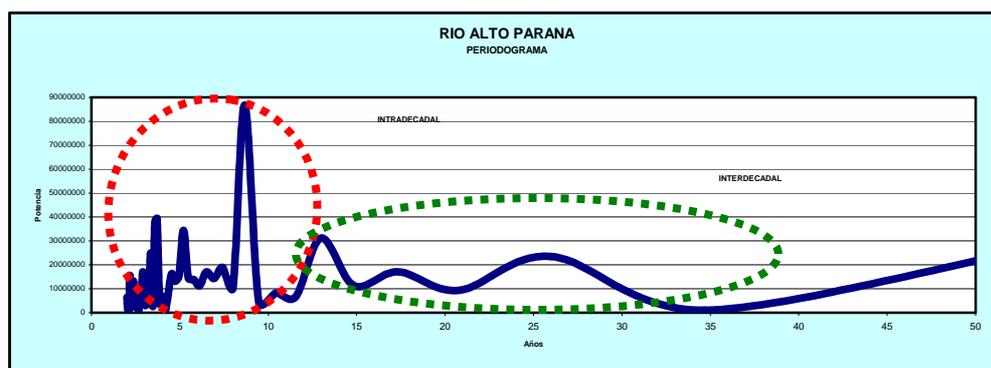
La fase alta o régimen cálido de la PDO (WPDO) presenta temperaturas de la superficie del mar anómalamente frías en el centro y Oeste del Pacífico Norte y temperaturas más cálidas que lo normal en el agua de superficie en el centro y Este del Pacífico Tropical y a lo largo de la costa Oeste de

América. (por ej., Zhang y otros 1997; Mantua y otros 1997; Zhang y otros 1998; Enfield y Mestas-Nuñez 1999). La fase baja o régimen frío de la PDO (CPDO) se manifiesta con los patrones inversos. La variabilidad interdecadal del sistema océano-atmósfera en el Pacífico Norte determina la duración de los regímenes PDO, los cuales fueron fríos durante los períodos 1900-1924 y 1947-1976 y cálidos durante el período 1925-1946 y 1977 hasta mediados de la década de 1990 (Mantua y otros 1997). Mantua y otros autores (1997) sugirieron que la PDO constituye el background de la variabilidad interanual del ENSO. En concordancia, varios autores mostraron que la PDO modula los efectos de El Niño (EN) y La Niña (LN) en ciertas regiones del globo (Gershunov y Barnett 1998; McCabe y Dettinger 1999; Gutzler y otros 2002; Krishnan y Sugi 2003). Gershunov y Barnett (1998) encontraron que EN (LN) y las condiciones secas/húmedas (húmedas/secas) asociadas sobre el Noroeste/Sudoeste de Norteamérica tienden a ser más fuertes y consistentes durante el régimen WPDO (CPDO).

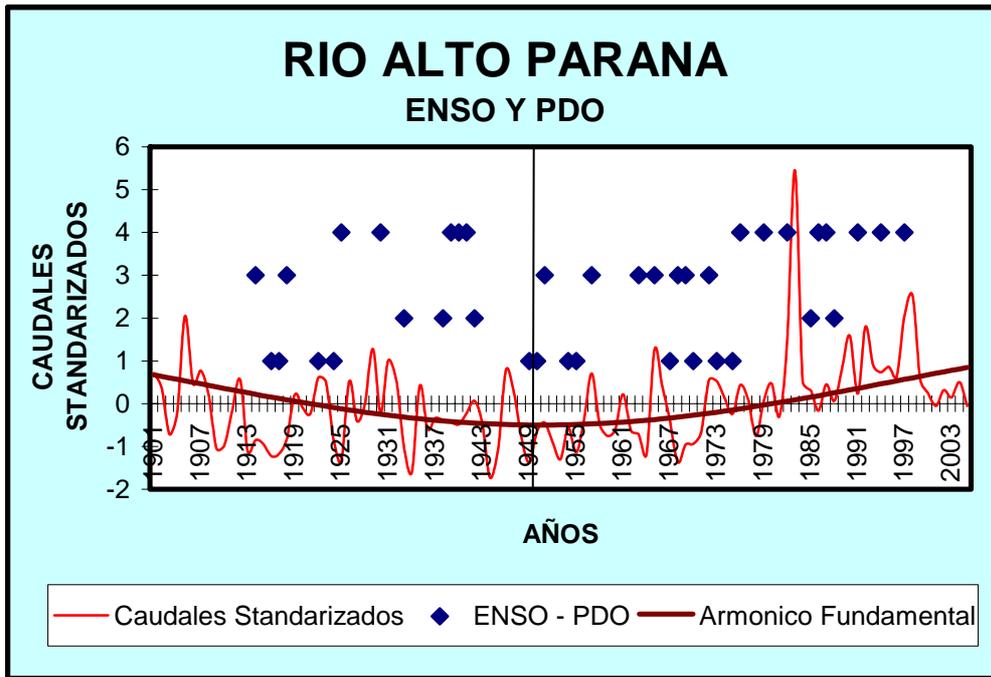
Dado que los regímenes PDO duran 20-30 años, la información sobre los efectos del ENSO estratificados (en rangos establecidos) de acuerdo con las fases de la PDO pueden ser potencialmente útiles para mejorar el pronóstico del clima y su consecuente impacto en la hidrología regional.



**Figura 8:** Periodograma en el Río Paraguay en donde se destaca las potencias de las frecuencias para la estratificación intradecadal e interdecadal (serie de 90 años)



**Figura 9:** Periodograma en el Río Alto Paraná en donde se destaca las potencias de las frecuencias para la estratificación intradecadal e interdecadal (100 años de serie)



**Figura 10:** En la misma se describe la variable bidimensional de los periodos ENSO y PDO ( EN, LN y WPDO, CPDO) según una intensidad relativa configurada en la tabla 3, distribuida temporalmente en el Río Alto Parana, relacionada a Caudales Standardizados y asociados a una tendencia de un armónico denominado fundamental.

Intradecadal	Fase ENSO	Interdecadal (PDO)	
		WPDO	CPDO
	EN	4	3
LN	2	1	

**Tabla 3:** Matriz bidimensional de los estratos Interdecadal e Intradecadal, del PDO ( Warm PDO y Cold PDO, contra el ENSO( El Niño y la Niña).

### 3.2 Conclusión

La hipótesis de que el clima es estacionario en un periodo largo de tiempo (multidécadas) no es acertada, en la visión de que el clima futuro extendido es no estacionario , implicaría predecirlo con herramientas apropiadas, es así que lo dicho es reflejado en el clima regional pasado y su respuesta, la hidrología, cuyos campos presentan alta compatibilidad en la variabilidad; ante esta consideración los escenarios del Cambio Climático Global y las variaciones interdecadales ponen en compromiso lo relativo a la hidrogenación, en el proceso de décadas, cuya reversa en relación a los últimos 30 años del siglo anterior, podría estar en franco inicio. Este enfoque constituye una aproximación simplificada, a una cuestión que requiere refinamiento, pero que debería conducir a motivar los esquemas de planificación de largo plazo para los sectores de energía.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- [1] El cambio climático en la Cuenca del Plata / Vicente Barros... [et.al.]. :edición literaria a cargo de: Vicente Barros, Robin Clarke y Pedro Silva Días - 1a ed. - Buenos Aires : Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas - CONICET, 2006. 232 p. ; 23x16 cm.
- [2] Visión De Los Recursos Hidricos En Paraguay- Cic - Programa Marco Para La Gestion Sostenible De Los Recursos Hídricos De La Cuenca Del Plata, En Relación Con Los Efectos De La Variabilidad Y El Cambio Climático 2005
- [3] Diagnóstico Hidrometeorológico del Sistema Iberá- Evarsa – EBY – 2001
- [4] Escenarios climáticos del siglo XXI: Influencia en los caudales de la Cuenca del Plata, Inés Camilloni, Ramiro Saurral , Romina Mezhler1 y Vicente Barros1,Salto Grande , Dic 2005