

LA CRISIS ENERGETICA – DE LA PERPLEJIDAD A LA INOVACIÓN

Jacques Szczupak
jacques@engenho.com

Leontina Pinto
leontina@engenho.com

ENGENHO Pesquisa, Desenvolvimento e Consultoria Ltda.
Rua Esther Scliar, 70 Barra da Tijuca Rio de Janeiro/ RJ Brasil CEP 22793-760
Tel/fax 55 21 325 7054

RESUMEN

Este trabajo presenta una herramienta para el pronóstico de caudales a corto e mediano plazo (de uno a dieciocho meses). El Modelo **FOREST** (**FOR**ecasting **E**nergy **S**cenarios and **T**rends) es capaz de realizar un trabajo hasta entonces imposible para las herramientas tradicionales: “construir” funciones que representan la dinámica de la naturaleza, anticipando fenómenos aparentemente inexplicables, como sequías e inundaciones, cambios en tendencias hidrológicas, etc. El modelo puede ser conjugado con otras herramientas de operación, comercialización y planeación, proporcionando análisis más seguros, señales económicas más estables y precios menos volátiles.

PALABRAS-CLAVE

Pronósticos de Caudales, Series Hidrológicas, Construcción de escenarios

INTRODUCCIÓN

Toda la gestión de sistemas de energía es realizada partiendo de una hipótesis básica: la enorme incertidumbre de los escenarios futuros. La incertidumbre en los caudales hidrológicos, en especial, desempeña un papel crucial para todos los sistemas fuertemente basados en energía hidroeléctrica. Una información confiable sobre los caudales futuros permite una expansión más adecuada, una operación más segura y una gestión más eficiente. Además, se torna posible prever los precios futuros de la energía – insumo básico para cualquier decisión empresarial.

El sector eléctrico internacional ya se dio cuenta de la importancia de la minimización de los riesgos asociados a las incertidumbres de la previsión de los escenarios futuros; es reconocida por todos la necesidad de modelos más precisos.

Así, el próximo paso es la conquista de los beneficios obtenidos por la capacidad de previsión de órganos renombrados, ampliamente utilizados en otros sectores económicos - por ejemplo, para previsión de precios futuros de productos agrícolas.

OBJETIVO

Este trabajo presenta una herramienta para el tratamiento de las incertidumbres relativas a los caudales futuros – y consecuentemente de las energías afluentes futuras. Nuestro objetivo es proponer un nuevo paradigma para la gestión de las incertidumbres asociadas a las hidrologías futuras: romper con el tradicional concepto de utilizar series sintéticas capaces de *reproducir el pasado* y substituirlo por modernas técnicas de previsión capaces de *anticipar el futuro*.

El resultado es inmediato: la significativa reducción de las incertidumbres futuras, proporcionando una mayor seguridad en todos los niveles de la planeación, operación y comercialización de energía eléctrica – desde el cálculo seguro de la probabilidad (o de la posibilidad) de escenarios de escasez (incluyendo posibles racionamientos) hasta la substancial reducción en la volatilidad de los precios de energía, trayendo mayor consistencia al mercado y seguridad a sus agentes.

EL MODELO FOREST

Las principales características del modelo **FOREST** son:

- ✍ La construcción de modelos que relacionan los fenómenos climáticos de la naturaleza y los caudales afluentes a los embalses.
- ✍ La anticipación de “quiebras” en las tendencias hidrológicas, previendo inicio, severidad y duración de sequías o avenidas antes de su ocurrencia
- ✍ La previsión de efectos de fenómenos de ciclicidad plurianual, como Niños e Niñas
- ✍ La evolución continua y automática del modelo, adaptándose a nuevas ocurrencias (mudanzas climáticas, por ejemplo), “aprendiendo” e perfeccionándose automáticamente a lo largo del tiempo.

Presentamos a seguir una breve descripción del modelo y su aplicación a un sistema real.

DESCRIPCIÓN DEL MODELO

El Predictor de Caudales se basa no solamente en las afluencias históricas, sino también en la explicación de estas ocurrencias. En otras palabras, al contrario de simplemente observar las ocurrencias pasadas y asumir que ellas pueden repetirse, el predictor *identifica* las causas de estas ocurrencias, creando una función que permite una previsión precisa de los caudales a partir de las previsiones de sus causas.

El programa de Previsión de Caudales se divide por tanto en dos módulos:

1- Análisis (Identificación)

Inicialmente, son examinados los escenarios pasados (históricos) de modo de identificar las correspondientes variables explicativas (normalmente variables meteorológicas, como vientos y temperaturas). De modo general, las empresas disponen de históricos de caudales que pueden ser comparados con nuestros históricos de variables climáticas.

Se deriva entonces la relación causa/efecto (variables explicativas/caudales observadas) a través de una función matemática. Por ejemplo, en la mayor parte de los países Suramericanos es posible levantar la función que relaciona los caudales afluentes a las variables climáticas más conocidas, como por ejemplo temperaturas ambientes, temperaturas oceánicas, salinidad del mar, distribución de los vientos, etc.

2- Síntesis (Pronósticos)

Conocida la función generadora, basta tomar las previsiones futuras de las variables explicativas y calcular la previsión de caudales. Es importante notar que este trabajo no pretende, bajo ninguna hipótesis, proceder a un pronóstico de las variables climáticas. Al contrario, nuestro objetivo es muy distinto: tomar el pronóstico hecho por los mejores organismos internacionales especializados (por ejemplo, de los institutos americanos – NOAA, NASA, etc.) y “traducirlo” en un pronóstico de caudales o de energías afluentes.

Todo el proceso (identificación y síntesis) esta basado en modernas técnicas de filtrado digital, con algoritmos desarrollados especialmente para el tratamiento de este problema. La característica adaptativa del modelo desarrollado garantiza que la función matemática de previsión posea la capacidad de aprendizaje, evolucionando con el tiempo y ajustándose a nuevas situaciones de escenarios. Por ejemplo, se conoce la existencia de un cambio profundo en el sistema climatológico mundial en la década de 1970. El modelo **FOREST** es capaz de detectar esto fenómeno y adaptarse a la nueva realidad.

APLICACIÓN A UN SISTEMA REAL

Este artículo presenta la aplicación del modelo **FOREST** al sistema brasilero. La escogencia de este sistema para “case-study” se debe básicamente a su dificultad, reconocida inclusive por los órganos de previsión climática brasilera – muchos llegan inclusive a afirmar, ser imposible la obtención de una previsión segura mismo para un período relativamente corto, como por ejemplo tres a seis meses.

Los resultados presentados deben por lo tanto ser tomados como el “peor caso” – los resultados obtenidos con otros países de América Latina son inclusive todavía más exitosos.

Visando una presentación más completa, abordaremos tanto el problema de pronóstico de caudales como el problema de previsión de energías afluentes (groseramente una combinación lineal de los caudales afluentes ponderadas por su productividad equivalente).

La aplicación del Predictor de Caudales al Sistema brasileiro requerirá básicamente:

- ✍ La Identificación de las Variables Explicativas de los caudales observadas
- ✍ El Modelo de la función causa/efecto entre las variables explicativas y los caudales afluentes
- ✍ El Pronóstico de Caudales y el Análisis de los resultados obtenidos

Cada una de estas etapas será descrita más detalladamente en las secciones siguientes.

VARIABLES EXPLICATIVAS

En principio, la escogencia de las variables explicativas de los caudales hidrológicos no es una tarea simple – como fue dicho, los propios institutos especializados tienen dificultades en realizar previsiones para el Brasil, principalmente para la Región Sureste. Este problema se torna todavía más complejo cuando se piensa que no basta encontrar las variables explicativas: es necesario disponer de sus previsiones para el futuro, de modo de “transformarlas” en escenarios hidrológicos futuros. Por ejemplo, de nada sirve tomar índices pluviométricos como variables explicativas (lo que sería, en principio, intuitivo) si no existen previsiones a largo plazo de lluvias en los puntos deseados.

1. Las Temperaturas del Océano Pacífico

La utilización de las temperaturas del Océano Pacífico como variables explicativas sería, en principio, muy conveniente desde el punto de vista de Pronóstico, ya que son objeto de estudios intensivos por parte de los organismos internacionales más respetados.

Las previsiones de estas variables alcanzan un horizonte considerablemente largo (un año a dieciocho meses) y vienen presentando una precisión bastante grande [1]

Además de esto, se sabe que las temperaturas del Océano Pacífico ejercen una influencia muy significativa sobre el clima terrestre. Es de amplio conocimiento la influencia de los fenómenos del Niño y de la Niña (calentamiento y enfriamiento del Océano Pacífico) en el clima global.

Sin embargo, existe casi que un consenso general en minimizar la influencia de estos fenómenos sobre el clima de Brasil, principalmente en la Región Sureste. Al final, estaríamos muy distantes de la costa del Pacífico y deberíamos ser mucho más afectados por el Atlántico.

La verificación de esta hipótesis puede ser hecha confrontando las series temporales derivadas de las temperaturas del Pacífico (en rojo) y la serie de Energías Afluentes de la Región Sureste (las conocidas ENAs, en azul). Tomamos aquí la temperatura de una región conocida como 3-4, en el medio del Océano Pacífico.

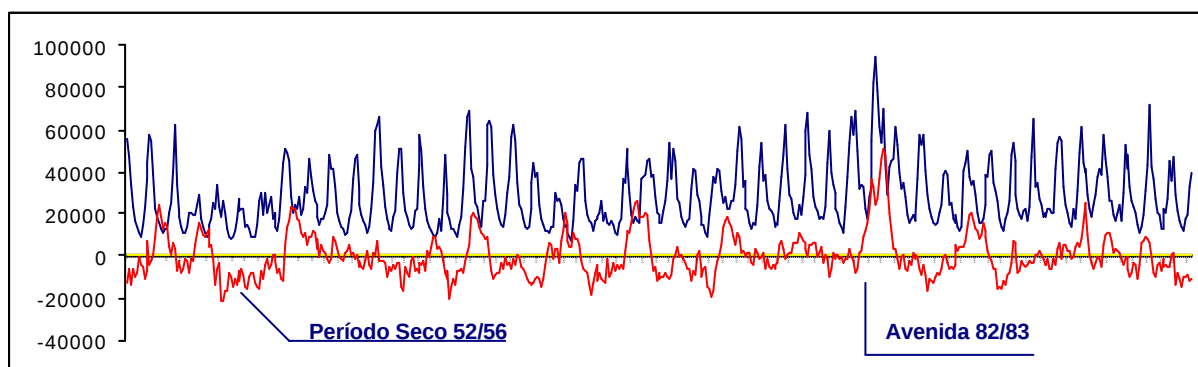


Figura 1 – Energías Afluentes SE x Temperaturas Pacífico

Las variables relacionadas a las temperaturas son conocidas como *anomalías* y corresponden, groseramente, a una medida de desvío de las temperaturas reales con relación a la media histórica. Estas variables son generalmente tomadas por las instituciones especializadas como variables explicativas para los más diversos indicadores climáticos.

Se puede notar que, a pesar de toda la intuición al contrario, es posible notar que hay una fuerte correspondencia entre las temperaturas del Pacífico y las energías afluentes. Por ejemplo, el conocido “período seco” (1952/56) correspondió a un prolongado escenario de anomalías consistentemente negativas. Por otro lado, la inundación “record” de 1983 corresponde a un “pico” de temperatura – y por tanto corresponde al más severo Niño da historia.

Se debe todavía observar que, evidentemente, el reconocimiento de la influencia de este fenómeno global absolutamente no niega el impacto de factores locales, – cuanto mayor es la disponibilidad de variables explicativas previsibles con suficiente “poder de explicación”, mayor será la precisión del pronóstico.

Esta relación, a pesar de “no intuitiva”, no es exactamente inesperada si notamos que los fenómenos relacionados a la temperatura del océano (Niños, Niñas) no son aislados, sino que son parte de todo un proceso más amplio, global, que ciertamente afecta el Brasil. La evolución y la interconexión entre los fenómenos climáticos en todo el globo pueden ser observadas en los sites de los organismos especializados [1]. Por ejemplo, la animación presentada en la página [2], aquí reproducida en su último estado, muestra de forma bastante clara el “avance” de la onda de calor que correspondió a la sequía observada en la región Sureste brasilera durante el verano del 2000/2001. Es posible notar la formación de la onda en regiones próximas a Australia y todo su trayecto pasando por el Pacífico, hasta llegar a la costa Atlántica. Una figura más detallada mostraría incluso que los Andes no funcionan, como sería intuitivo, como una “barrera” natural a las ondas de calor/lluvia del Pacífico. La masa de aire, vapor y calor penetra fácilmente por la Amazonía y avanza sin problemas por toda la América.

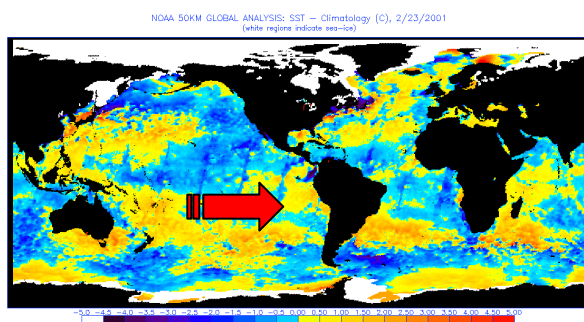


Figura 2 – Calentamiento global – verano del 2000/2001

2. Las OLR (Outgoing Longwave Radiations)

La Figura 3 presenta la serie temporal de las variables climáticas OLR en el Océano Índico. Se puede ver claramente la relación con las sequías y avenidas en el Sureste Brasileiro.

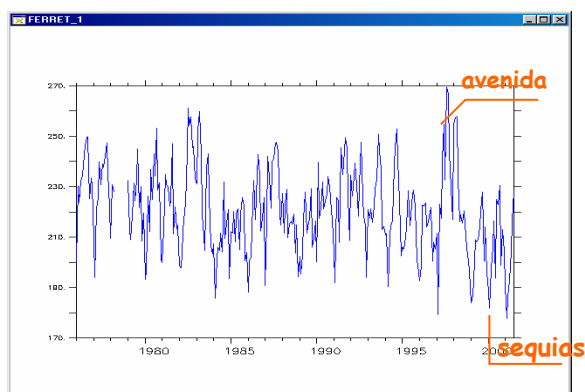


Figura 3 – Série temporal de la OLR – Océano Índico
(datos obtenidos de NOAA-CIRES-CDC)

IDENTIFICACIÓN MATEMÁTICA

El “poder de explicación” asociado a una variable (en nuestro caso la anomalía) es medido por la cualidad de la identificación que ella proporciona. En otras palabras, la identificación de una serie-efecto (las ENAs) a través de una serie-causa (las anomalías) es tan mejor cuanto mayor es el impacto de la causa sobre el efecto.

Un observador atento, o un modelo estadístico, diría posiblemente que la cualidad de la identificación obtenida a través de las anomalías es muy pobre. Al final, aun cuando sea evidente que ambas subieron juntas en la inundación y descendieron juntas en la sequía, hay casos en que estas variaciones no parecen relacionadas. La explicación para este fenómeno parece ser: no basta conocer las variaciones, es necesario saber si ellas ocurrieron en el *momento cierto* del año, cuando existían las condiciones necesarias para que las lluvias ocurriesen.

El concepto de “ocurrencia en el momento cierto” lleva a la idea de estaciones y consecuentemente de periodicidades, que pueden ser mejor comprendidas y tratadas a través de herramientas no estadísticas, pero si especializadas en identificaciones y previsiones: las herramientas de *filtraje digital de señales*. Utilizaremos, en este trabajo, filtros digitales adaptativos, ampliamente utilizados en el tratamiento de sonidos e imágenes.

EL FILTRAJE DIGITAL

a. La Identificación

Un modelo de identificación basado en filtraje digital comenzaría por tomar las anomalías y energías afluentes como señales entre las cuales hay (o puede haber) una relación causa-efecto. Estas señales no son tratadas más en el tiempo, como en los modelos convencionales, sino a través de sus espectros en frecuencia.

La observación de estas dos señales en el dominio de la frecuencia es ilustrada en la Figura 4, que muestra las respectivas magnitudes del espectro (y por tanto sus respectivas energías).

Se puede ahora notar la fuerte correspondencia entre ellos – antes oculta a una observación “a ojo desnudo” o a través de las convencionales interpretaciones estadísticas. En otras palabras, la relación existe, es significativa, pero no es evidente; es preciso usar las herramientas ciertas para “extraerla”.

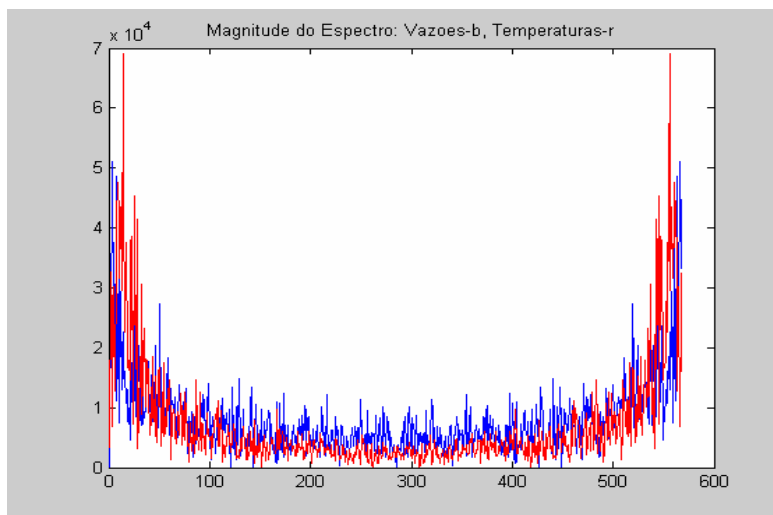


Figura 4 – Energías y anomalías después del filtraje

b. La Reconstrucción

La relación entre las dos señales – ahora comprobada – es entonces tratada por el modelo de identificación, que irá *construir* una función que relaciona la causa y el efecto: la función de identificación. Esta función es presentada en la Figura 4, donde se puede observar que prácticamente *toda* la Energía Afluente es explicada a través de la anomalía.

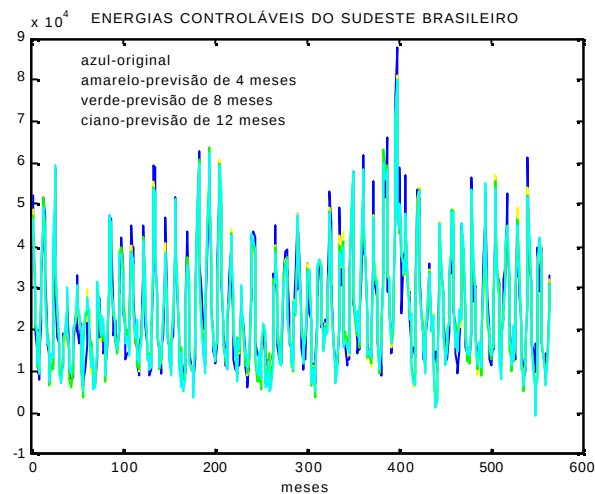


Figura 5 – Identificación de la Energía Afluente – SE

c. La Previsión

Identificada la relación entre las series causa/efecto, son calculados los filtros (parámetros) que describen la función correspondiente. Este trabajo no pretende prenderse a los aspectos teóricos del modelo de filtraje ya que su objetivo es mostrar su potencialidad a través de casos ejemplo (recomendamos a los lectores interesados en mayores detalles la lectura de la referencia [3]).

Consideramos que la mejor forma de ilustrar la capacidad de previsión del modelo **FOREST** es su aplicación a un caso real. Tomaremos el Río Grande, Puesto Furnas (uno de los embalses “clave” en Brasil). La metodología de los testes realizados fue:

- ✍ Escogencia del período en estudio (para lo cual se desea la previsión)
- ✍ Entrenamiento del modelo (identificación de la función, cálculo de los filtros) hasta el mes inmediatamente anterior al período de previsión
- ✍ Pronóstico
- ✍ Comparación entre lo ocurrido y lo pronosticado

La Figura 5 presenta la comparación entre el ocurrido (azul) y pronosticado (rojo) para el período 1999/2000. Se puede notar que las curvas son muy semejantes, con errores despreciables (menos de 5%, en un histórico cuya variabilidad es mayor que 100%).

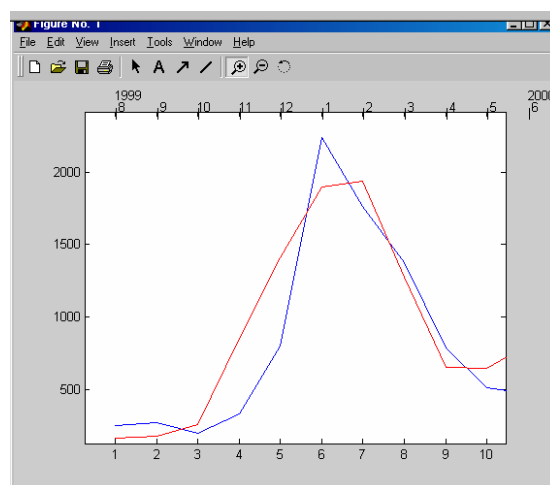


Figura 5 – Aplicación al Río Grande – Posto FURNAS
Pronosticado x Real

El caso ejemplo siguiente presenta los resultados con el pronóstico del Energías Afluentes a la región Sudeste Brasileira. Se puede observar la grande semejanza entre las dos curvas. Este resultado es todavía más expresivo cuando tomamos en cuenta la antecendencia de realización del pronóstico: seis (6 meses). En otras palabras, se pudo pronosticar, con precisión y confianza, las energías afluentes del sistema más grande y difícil de Brasil con una antecendencia de ses meses.

APLICACIÓN A OTROS PAÍSES

Es importante notar, una vez más, que esto caso representa uno de los más difíciles pronósticos: el caldal afluente a un río de Brasil, bastante lejos del Pacifico y de los Andes. Pruebas adicionales con apliación a otros países de America Latina muestran una precisión bastante buena: errores medios de 3 a 5%, y errores máximos entre 10 y 12%.

CONCLUSIONES

Este trabajo presenta un avance significativo en todo el proceso de gestión de sistemas hidrotérmicos: un predictor de caudales futuros robusto y confiable, capaz de reducir drásticamente las incertidumbres relativas a las hidrologías. El Predictor de Caudales rompe definitivamente uno de los paradigmas más antiguos del sector – la enorme incertidumbre asociada a las hidrologías futuras – y pasa a permitir el desarrollo de una nueva clase de herramientas de gestión, más eficientes y precisas. Se espera con este trabajo contribuir no sólo para una gestión empresarial eficiente mas también proporcionar a la sociedad la confianza de cálculos precisos de las variables más críticas para el sector eléctrico brasileiro: el riesgo de déficit, el costo de la operación/expansión del sistema, las tarifas de energía.

INVESTIGACIONES FUTURAS

El Modelo **FOREST** es general, y acepta cualquier variable explicativa para el fenómeno que se desee prever. Hasta este momento las previsiones más confiables disponibles son derivadas de las temperaturas del Océano Pacífico – capaces de generar un pronóstico seguro y confiable, con errores despreciables.

Sin embargo, este pronóstico podría ser todavía más refinado, si fueran disponibles informaciones más precisas. Se encuentran actualmente en investigación las implementaciones de los siguientes mejoramientos no al modelo pero sí, en los datos de entrada referentes a las variables explicativas:

- ✍ La utilización de discretizaciones semanales (y no mensuales, como actualmente) para la obtención de una discretización más “fina” para los pronósticos futuros
- ✍ La investigación de pronósticos de variables explicativas locales, capaces de impactar de alguna forma las lluvias y caudales hidrológicas.

REFERENCIAS

- [1] www.noaa.gov
- [2] http://orbit-net.nesdis.noaa.gov/orad/sub/clbrlg_sstanom4m.html
- [3] Sanjit K. Mitra, *Digital Signal Processing, A Computer Based Approach*, McGraw Hill College Div, 1997