

**SEMINARIO INTERNACIONAL SOBRE EVENTOS EXTREMOS MÍNIMOS EN
REGÍMENES DE CAUDALES: DIAGNÓSTICO, MODELAMIENTO Y
ANÁLISIS.
MEDELLÍN, COLOMBIA, 23 al 25 de JUNIO, 2004.**

**ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS DE SERIES HIDROLÓGICAS CRÍTICAS
EN EL SECTOR ELÉCTRICO COLOMBIANO**

Ricardo A. Smith, Jaime I. Vélez y German Poveda

Posgrado en Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos

Escuela de Geociencias y Medio Ambiente

Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia

Apartado Aéreo 1027, Medellín, Colombia

rasmith@unalmed.edu.co; jivelezu@unalmed.edu.co; gpoveda@unalmed.edu.co

RESUMEN

Se presenta un análisis de las implicaciones hidrológicas de la serie crítica definida para el Sistema Interconectado Nacional por parte de la Comisión de Regulación de Energía y Gas – CREG – para el Sector Eléctrico Colombiano. La serie propuesta se analiza desde su consistencia física y estadística. Se presentan análisis de persistencia, variabilidad, regulación, probabilidades de transición, balances, enfasamiento con el fenómeno de El Niño, relaciones espaciales, probabilidad de ocurrencia y uso conjunto. En todos estos análisis se muestra como la serie propuesta coloca a los embalses en una situación mucho más crítica que lo que se obtendría siguiendo procedimiento hidrológicos adecuados. Se muestra claramente que la serie propuesta representa una serie hidrológica sintética que no tiene justificación física ni estadística, y que distorsiona las características espacio-temporales naturales de los caudales. Se recomienda que no se use esta serie para definir ninguna situación crítica en ningún caso.

PALABRAS CLAVES: Series críticas, caudales mínimos, sector eléctrico colombiano

1. INTRODUCCIÓN

El Sector Eléctrico Colombiano sufrió grandes transformaciones a partir del año 1994 cuando se introdujo una estructura de mercados. Estos cambios estuvieron originados en varios aspectos tales como: la necesidad de grandes recursos económicos por parte del país para atender la expansión del sector y la deuda del mismo, la situación económica de algunas empresas del sector, y las dudas que se generaron sobre las posibilidades del sector en atender adecuadamente situaciones críticas de caudales. El racionamiento que vivió el país en los años 1991 a 1992 crearon grandes interrogantes sobre la capacidad del sector para atender situaciones críticas extremas.

Los cambios más fundamentales en el Sector Eléctrico Colombiano debido a la estructura de mercados establecida fueron: creación de las reglas del mercado por parte de la Comisión de Regulación de Energía y Gas – CREG -, se estableció un Centro Nacional de Despacho, se estableció un organismo para realizar y supervisar las transacciones comerciales del mercado, participación del sector privado, competencia entre los generadores, usuarios regulados y no regulados, se estableció la figura del comercializador de energía, y muchos otros. Si los cambios en el Sector Eléctrico Colombiano se evaluaran hoy con respecto a los aspectos inicialmente considerados se podría decir que han sido exitosos: el gobierno nacional no ha tenido que hacer inversiones en el sector, se han superado sin problemas situaciones críticas incluso más fuertes de las que se presentaron en el racionamiento de 1991 – 1992, y con la participación del sector privado se han saneado muchas empresas.

Una de las grandes preocupaciones desde incluso antes de introducir la estructura de mercados ha sido la de garantizar una alta confiabilidad en el suministro de energía eléctrica en el país. Debido a la alta componente hidroeléctrica del sistema de generación nacional (cerca del 75% de la capacidad instalada total del sistema), todo análisis de confiabilidad del sistema esta asociado a un análisis de la situación de los ríos aportantes al sistema. En el Sector Eléctrico Colombiano evalúan situaciones críticas en los ríos aportantes a los diferentes embalses asociados a proyectos de generación eléctrica del país, con los objetivos de evaluar la situación de los proyectos hidroeléctricos, y si es del caso intervenirlos para garantizar la confiabilidad del sistema y definir aspectos remunerativos referidos al respaldo del sistema. En este sentido el sector ha venido proponiendo formas de evaluar y definir las situaciones críticas que se puedan presentar en el sector. Desde el año 2000 la CREG definió mediante las resoluciones CREG 077 y 111 de 2000 la Serie Hidrológica Única del Sistema Interconectado Nacional, llamada serie SUSIN, que representa la serie a ser utilizada en las evaluaciones y análisis de las situaciones críticas del Sector Eléctrico Colombiano. En este trabajo se presenta un análisis sobre esta serie acompañado de algunas conclusiones y recomendaciones.

2. LA SERIE CRÍTICA DEL SECTOR ELÉCTRICO COLOMBIANO

La Serie Hidrológica Única del Sistema Interconectado Nacional (SUSIN) es una serie conformada por 24 caudales mensuales (un período de un bienio a escala mensual) obtenida a partir de la historia. Se asume que esta serie se inicia en diciembre del año T-1 y tiene una duración de 24 meses hasta noviembre del año T+1. Para el resto del horizonte se consideran las series hidrológicas corrientes del modelo de largo plazo.

La serie se construye para los primeros 24 meses a partir de una serie de bienios especificados por la resolución, y que tienen en su segundo año situaciones hidrológicas críticas generalmente asociadas a la ocurrencia del fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENSO). La serie SUSIN se define tomando el menor valor de cada mes considerando todos los bienios. Por ejemplo, los caudales para diciembre del año T (inicio del segundo año) se definen tomando el menor valor de los caudales de todos los diciembrees de los años T de todos los bienios.

La serie SUSIN es entonces una serie sintética o artificial en el sentido de que a pesar de definirse a partir de una serie natural sus valores no son secuencialmente naturales, son valores tomados de diferentes años y colocados de manera secuencial. Es en este sentido que se dice que la serie SUSIN es una serie sintética.

Esta manera de definir la serie SUSIN genera una serie hidrológica sintética que no tiene justificación física ni estadística, y que distorsiona las características espacio-temporales naturales de los caudales. La serie SUSIN definida de esta manera no trata de preservar ningún estadístico que pueda asociarse con la historia. En hidrología cuando se usan series sintéticas siempre se definen intentando preservar algunas características de las series históricas como periodicidades, persistencias, variabilidades, relaciones espaciales, características asociadas con almacenamiento, características asociadas a corridas y otros. En el caso de la serie propuesta como SUSIN no se intenta preservar ninguno de los estadísticos anteriores y por lo tanto no tiene ninguna asociación con el comportamiento natural de los caudales.

No tiene justificación física en el sentido que no responde a la representación física de la generación de los caudales en una cuenca. Los caudales en un río se forman mediante un proceso de transformación de lluvia en escorrentía en donde se presentan complejos procesos, entre ellos el almacenamiento de aguas subterráneas que puede alimentar durante meses los caudales de los ríos, especialmente durante el verano. Al construir la serie SUSIN de la manera propuesta se ignora por completo ese proceso y se viola la física de formación de los caudales de los ríos. La serie de hidrología crítica SUSIN considera que consecutivamente durante un bienio se presentan las condiciones más críticas obtenidas de años y eventos distintos y posiblemente bajo la influencia de dinámicas climáticas sensiblemente diferentes.

No tiene justificación estadística en el sentido de que no es producto de un análisis o modelamiento estadístico riguroso. Existen en estadística muchos procedimientos de modelamiento de series de tiempo con muchos propósitos diferentes. En esos procedimientos generalmente se intenta preservar algunas de las características de la serie histórica (medias, varianzas, persistencias y/o otros). Al construir la serie SUSIN de la manera propuesta no se sigue ningún proceso de modelamiento estadístico y no se intenta preservar ninguna característica estadística de la serie histórica.

Las series de caudales de los ríos tienen una estructura de relaciones espacio-temporales típicas de este tipo de series, y que se calculan a partir de las series históricas. Estas relaciones, normalmente representadas por estructuras de autocorrelación y de correlación cruzada, son incluidas en muchos diferentes modelos intentando preservar esas relaciones. Al definir la serie SUSIN con el procedimiento propuesto se distorsionan por completo esas relaciones espacio-temporales, obteniéndose unos valores que no son acordes con las series históricas. En términos generales se esperaría que la serie SUSIN calculada con el procedimiento propuesto tenga una mayor autocorrelación (persistencia) y una mayor correlación cruzada que las series naturales. Esto significa, por ejemplo, una mayor tendencia a permanecer en una situación crítica que lo normal.

3. ANÁLISIS DE LA SERIE CRÍTICA DEL SECTOR ELÉCTRICO COLOMBIANO

Sobre la serie SUSIN se pueden hacer, entre otros, los siguientes análisis que cubre variados aspectos del comportamiento de la misma:

1. Hay una tendencia de la serie SUSIN, definida de acuerdo con el procedimiento propuesto por la resolución CREG 077 de 2000, a tener mayores coeficientes de autocorrelación que las series naturales. Esta situación indicaría una tendencia a representar una mayor persistencia en situaciones críticas que lo natural. Por ejemplo, en la Figura 1 se muestra para el Guavio el correlograma usando el bienio inicial de la serie SUSIN y el correlograma promedio usando los

bienes definidos en la resolución para determinar la serie SUSIN. Como se puede ver el correlograma de la serie SUSIN esta por encima del correlograma promedio, y en el caso del rezago 1 la diferencia es del orden de 0.1 de correlación que es significativa.

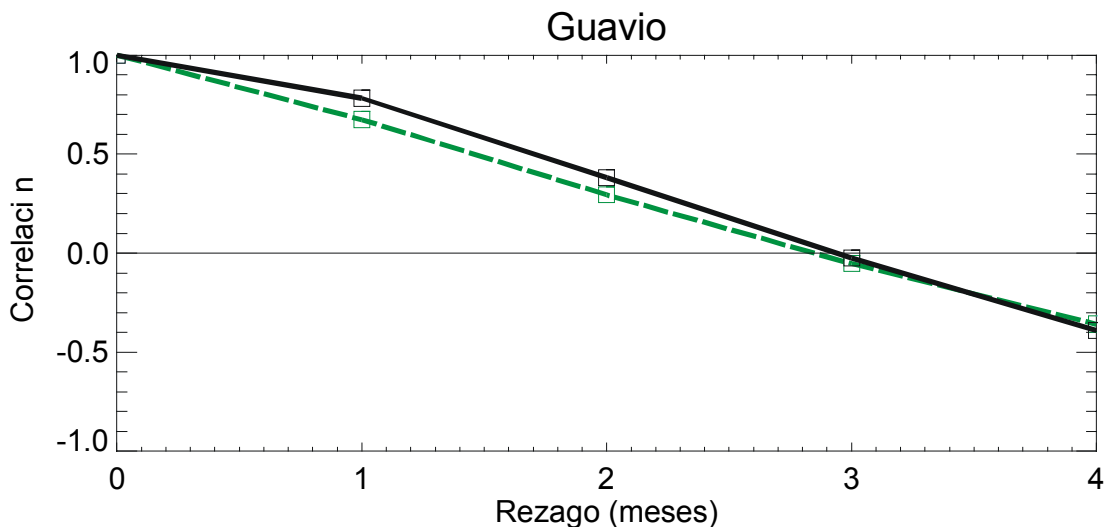


Figura 1. La línea continua representa el autocorrelograma de la SUSIN (Guavio) y la línea punteada representa el autocorrelograma promedio de los bienes críticos.

- Con la definición de la serie SUSIN tal como a sido propuesta por la CREG igualmente se distorsionan las variaciones naturales de la serie. Hay una clara tendencia a distorsionar la periodicidad, la variabilidad y la tendencia central de los caudales naturales. Con la serie SUSIN se obtiene una serie con menor periodicidad, menor variabilidad y menor tendencia central que lo que se podría esperar aún en años críticos. En la Figura 2 se muestran los resultados para los valores medios mensuales para la serie de aportes a Chivor usando toda la serie histórica, usando los bienes definidos en la regulación, y usando la serie SUSIN tal como se define en la regulación. En esa figura se puede ver claramente como la serie SUSIN presenta una menor periodicidad, una menor variabilidad y definitivamente una menor tendencia central.

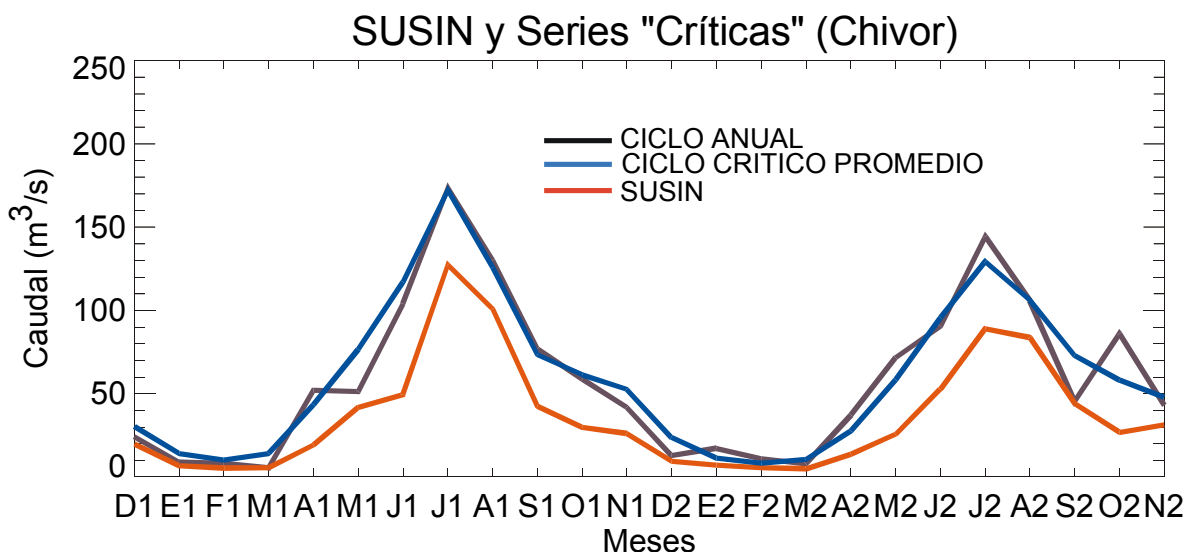


Figura 2. Serie SUSIN, Ciclo crítico promedio y ciclo anual para la serie de aportes de Chivor.

En la Figura 3 se presentan las curvas de masas acumuladas durante los bienios de hidrología crítica en el ríos que alimenta la central hidroeléctrica de Chivor y se comparan éstas curvas con la curva de masas acumuladas procedente de la serie SUSIN. En ésta gráfica se observa que la curva de masas acumuladas procedente de la serie SUSIN siempre está por debajo de la envolvente inferior de las curvas de masa de los bienios extraídos de las series históricas y considerados como críticos. Se observa además que las diferencias entre curva procedente de la serie SUSIN y la envolvente inferior de las series históricas y crecen hasta alcanzar un valor mayor al 40% de la masa acumulada por la serie SUSIN al final del bienio.

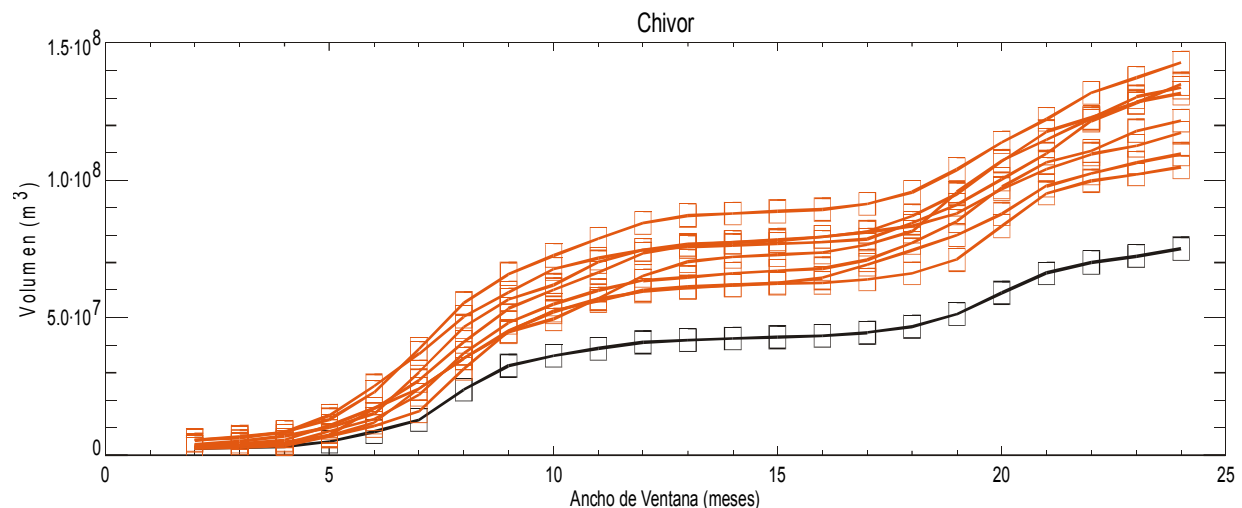


Figura 3. Curvas de Masas acumuladas durante los bienios de hidrología crítica para los de la serie histórica (color claro) y del bienio de la SUSIN (color oscuro) para Chivor.

Esta diferencia en los resultados obtenidos de la serie SUSIN con los obtenidos de las series hidrológicas históricas durante los bienios críticos en la región, nos indica que la serie SUSIN es poco probable o muy poco realista y no es representativa de las condiciones críticas. Con la serie SUSIN no se puede valorar adecuadamente la posibilidad que tienen algunos generadores de regular caudales a una escala mucho mayor a la escala mensual y se subestima su capacidad de generación.

La utilización de la serie SUSIN es tan desfavorable, que para cada nivel de agregación, el caudal el mínimo obtenido de la exploración de toda la serie histórica, es significativamente superior que el caudal mínimo obtenido a partir de SUSIN para el mismo nivel de agregación.

3. En este numeral se estudian los caudales de regulación para la serie SUSIN. El método se apoya en la técnica de la curva estirada, que se basa en el principio de la curva de masas. Este procedimiento es más eficiente que la programación matemática y produce resultados óptimos para cualquier función objetivo convexa en el caso de minimización. El resultado es una curva con el caudal regulado en función del tamaño del embalse. Los resultados obtenidos para Betania se discuten a continuación.

En la Figura 4 se muestra la variación del volumen de embalse en millones de m^3 (Hm^3) que se requiere para regular un caudal dado en m^3 , estimado mediante la técnica de la curva estirada. La línea más gruesa corresponde a la curva que se obtiene para la serie SUSIN, y las demás curvas son las que se obtienen usando la información de los distintos bienios críticos.

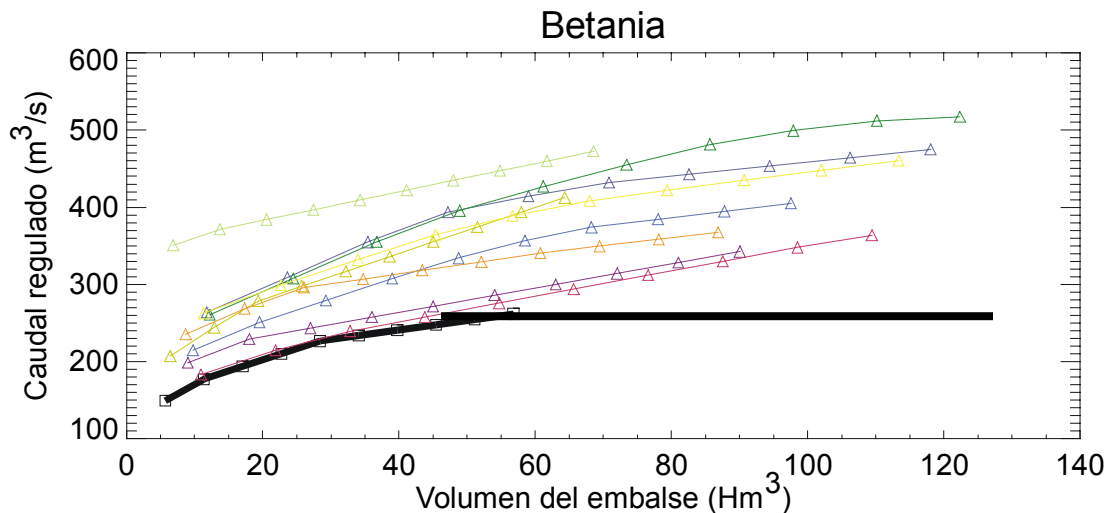


Figura 4. Curvas de regulación para la serie SUSIN y los bienios críticos de Betania.

En esa figura se observan los siguientes hechos:

- La curva de regulación usando la serie SUSIN es la que, para un tamaño de embalse dado, regula el mínimo caudal promedio, en comparación con todas las demás series críticas.
 - La serie SUSIN presenta la mínima capacidad de regulación, tanto en caudal como en tamaño de embalse. Esto se deduce fácilmente si se observa que la serie SUSIN presenta el valor más bajo de la media estadística. El embalse de regulación no puede regular más que la media del período.
 - Todas las series de los bienios críticos permiten regular caudales mayores usando volúmenes de embalse de regulación mucho mayores. La curva de regulación usando la serie SUSIN niega la posibilidad de almacenar agua para atender déficits futuros, debido a su baja desviación típica, lo cual se traduce en menores caudales regulados, según la técnica de la cuerda estirada.
 - Del numeral anterior se desprende que el uso de la serie SUSIN implica una curva de regulación de caudales no óptima, que castiga la capacidad de regulación del embalse, a pesar de que los volúmenes obtenidos mediante esta técnica son porcentajes pequeños en comparación del volumen útil de ambos proyectos.
 - Estos resultados demuestran que el uso de la serie SUSIN coloca en desventaja y sub-optimalidad a los embalses con capacidad de generación.
4. En la Figura 5 se muestra la serie SUSIN para Guavio. Sobre los valores graficados se ha escrito el valor de la probabilidad de transición de que el “caudal” del mes correspondiente pase al valor del mes siguiente. La mayoría de las probabilidades de transición están entre el 2 y 6%, con unos pocos valores relativamente altos (18.9 y 24.3%) y algunos valores de cero. Esos valores de cero harían que la probabilidad de ocurrencia de una serie como esta sea nula.

Según estos resultados, la serie SUSIN es muy poco probable en términos de las probabilidades históricas de transición de un mes al siguiente, y mucho más improbable si se consideran las probabilidades condicionadas entre secuencias de meses. El principal problema de SUSIN es la muy baja probabilidad de ocurrencia de la serie como tal, no de los valores individuales para cada mes. En el caso de Guavio la probabilidad de ocurrencia de esta serie es nula.

GUAVIO

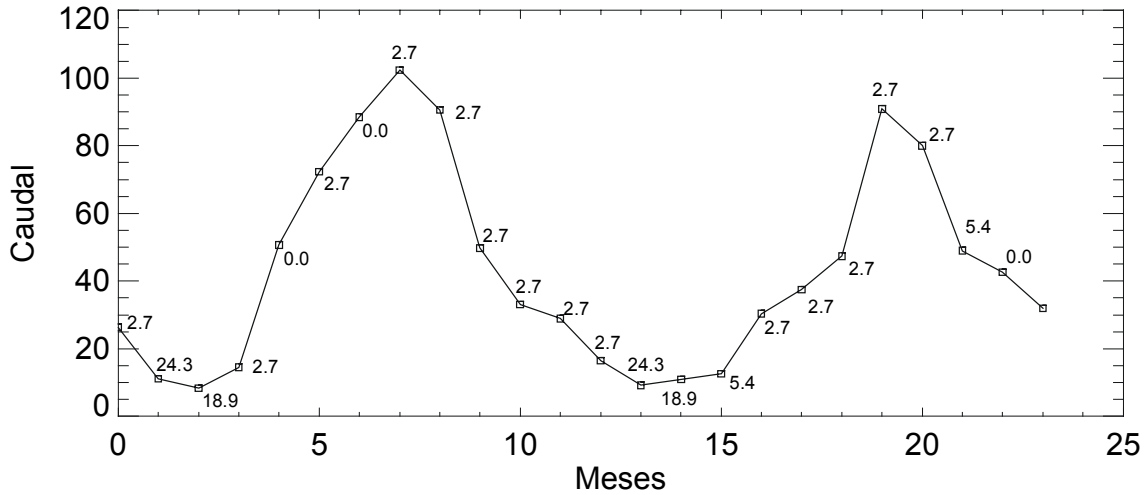


Figura 5. Serie SUSIN para Guavio. Sobre cada punto de la serie se encuentra la probabilidad de transición de dicho punto al próximo mes. Las probabilidades fueron extraídas de las matrices de transición mensuales (estimadas de la serie completa).

5. La serie SUSIN no preserva los coeficientes de correlación serial de diferentes rezago entre los distintos meses del año, ni las probabilidades de transición de un mes a otro, tal como se discute en los numerales 2 y 6. Estos resultados estadísticos tienen explicación física. La serie SUSIN no refleja las características de la persistencia hidrológica de las cuencas. En particular, el ciclo hidrológico se representa en términos de la ecuación de balance hídrico.

Para formular el balance hídrico, considérese la ecuación de conservación de masa dentro de una columna de suelo-atmósfera, para la cuenca. Se define W como el almacenamiento de agua en la atmósfera, en unidades de longitud (volumen por unidad de área), P es la precipitación, E es la evaporación (incluye la transpiración), Q es el flujo neto de humedad en la atmósfera, S es el almacenamiento de agua en el suelo, también en unidades de longitud, R es el flujo de agua hacia afuera de la columna de suelo; constituido por la escorrentía superficial y/o subterránea. P , E , Q y R están expresados en unidades de velocidad, es decir flujo o caudal por unidad de área.

El balance de agua para la atmósfera esta dado por la ecuación,

$$Q + E - P = \frac{dW}{dt} \quad (1)$$

y el balance para la columna de suelo es,

$$P - E - R = \frac{dS}{dt} \quad (2)$$

así, combinando las ecuaciones 1 y 2 obtenemos la ecuación de balance de agua para el volumen de control.

$$Q - R = \frac{d(W + S)}{dt} \quad (3)$$

Se considera la integración sobre un intervalo de tiempo largo (varias décadas), de tal manera que los cambios en las cantidades almacenadas W y S sean despreciables. Entonces el

promedio de largo plazo del flujo atmosférico neto Q debe ser igual al promedio de largo plazo de la escorrentía neta, R y que ambos son iguales a la diferencia entre los respectivos promedios de precipitación, P , y evaporación, E . La ecuación de balance de agua de largo plazo para la columna se reduce a

$$\bar{R} = \bar{P} - \bar{E} \quad (4)$$

La serie SUSIN no satisface la ecuación de balance hidrológico en las cuencas. Tales “caudales” serían formados por procesos de lluvia, almacenamiento de agua en la cuenca y evaporación, muy poco probables (en algunos casos improbables). Si se tiene información de lluvias mensuales y se estima la evaporación en la cuenca y el cambio en el almacenamiento de agua en el suelo de un mes a otro, es posible demostrar esta afirmación de manera muy simple, mediante el uso de la ecuación (2), y ello permite explicar las inconsistencias encontradas entre los coeficientes de correlación serial de la serie “natural” y los de la serie SUSIN, así como las probabilidades de transición de un mes a otro.

6. Por su definición, la serie SUSIN, definida desde Diciembre del año (-1) hasta Noviembre del año (+1) desconoce el enfasamiento que posee el fenómeno El Niño con el ciclo anual de la hidrología de Colombia. Se sabe que el Niño comienza a manifestarse en la primavera del hemisferio Norte (Marzo-Mayo del año 0), y sus efectos sólo se comienzan a sentir en Colombia alrededor de Junio-Julio (año 0). Si se observa, los promedios de meses enero (año 0) a mayo (año 0) de los bienios críticos pueden ser mayores que los promedios mensuales de la serie histórica. Una serie crítica debería replantearse comenzando en la época Junio-Julio (año 0).
7. El usar SUSIN para el cálculo indicado en la resolución CREG-077-2000 equivale a “diseñar bajo las condiciones de peor escenario”, lo cual tiene enormes implicaciones económicas. En ingeniería se deben hacer diseños tratando de hacer un balance entre las condiciones de diseño (incluyendo los riesgos sobre los que se diseña) y los costos asociados a las decisiones de diseño. Por ejemplo, en general no se diseña un edificio para resistir un sismo de magnitud 10, por su excesivo costo. Se insiste en que la mejor opción es conocer, investigar y mejorar la capacidad de predicción hidrológica de mediano y largo plazo (3, 6, 9 y hasta 12 meses) en Colombia.
8. Uno de los aspectos más preocupantes con respecto al procedimiento propuesto por la resolución CREG 077 de 2000 para definir la SUSIN es la distorsión de las relaciones espaciales entre las series hidrológicas. Como un ejemplo para analizar la correlación espacial, se calcularon las matrices de correlación cruzada de rezago cero, M_0 , y de rezago 1, M_1 , tomando los caudales del río Magdalena para analizar la variabilidad espacial. La correlación cruzada M_0 de Guavio-Magdalena es 0.72 para el caso de la serie natural. Esta correlación se puede considerar alta, sobre todo si se piensa que el río Guavio tiene un ciclo unimodal y el Magdalena un ciclo bimodal, aunque no muy marcado. Para la matriz de correlación de rezago, M_1 , los valores son menores que la matriz M_0 , como era de esperarse.

Ahora si se considera las matrices M_0 y M_1 para la serie SUSIN tal como se define en la regulación 077-2000 de la CREG se observa que en ambas matrices se incrementan los valores de correlación, llegándose a 0.91 para el caso de M_0 . Esto tiene una explicación, ya que la serie crítica esta conformada por los meses más críticos de cada mes correspondientes a los bienios indicados en la resolución, es decir, más secos, hasta completar los 25 meses de caudales. Esto aumenta la persistencia de la serie SUSIN, por lo que valores bajos son seguidos por valores bajos, pero esto no es el reflejo del ciclo natural de los caudales.

9. En la figura 6 se presentan los valores mínimos, del caudal promedio obtenido para distintos intervalos de agregación y se observa que los valores mínimos procedentes de la exploración de toda la serie histórica pueden ser mayores hasta en un 30% del valor obtenido a partir de la agregación de la serie SUSIN. Bajo este punto de vista la probabilidad de que ocurra una serie hidrológica como la SUSIN es muy poca por no decir que nula.

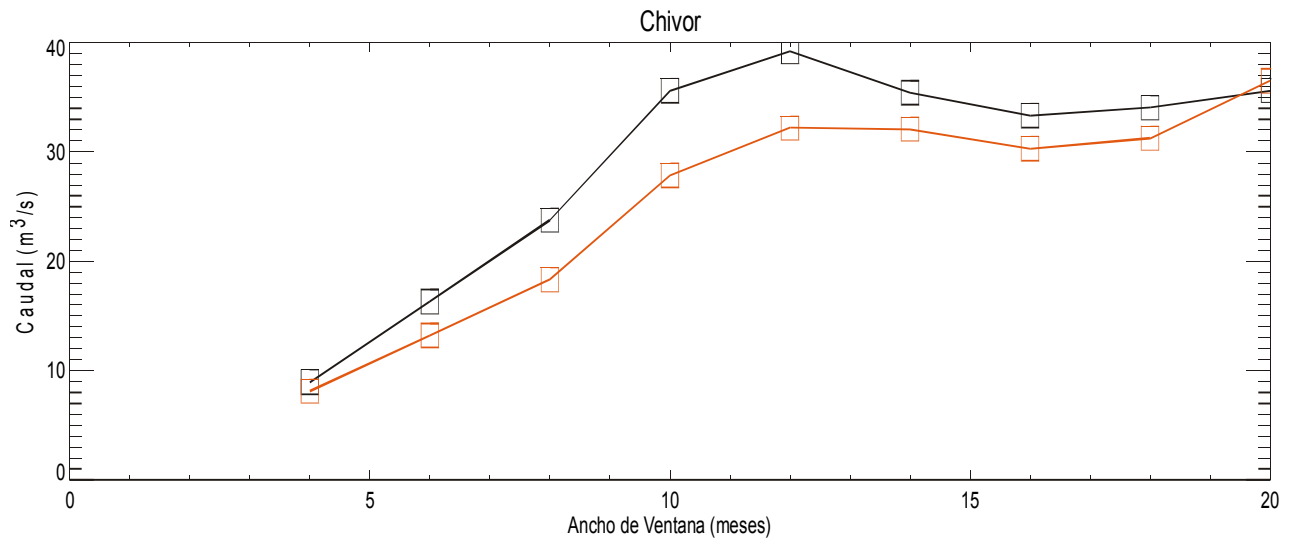


Figura 6. Valores mínimos de la media móvil para distintos anchos de la ventana - explorando toda la serie histórica (color oscuro) y la SUSIN (color claro) para Chivor

10. Una manera de ilustrar la poca probabilidad de ocurrencia de la SUSIN es considerar la variable aleatoria “volumen de agua disponible en un bienio” y a partir de la función de distribución de ésta variable aleatoria, estimar el período de retorno para el volumen de agua disponible para el bienio con la hidrología de la SUSIN. Se puede suponer razonablemente que ésta variable aleatoria se distribuye con una distribución normal (la variable aleatoria considerada esta formada por la suma de variables aleatorias).

Con la serie histórica de los volúmenes de agua, disponibles para cada bienio en el Río Magdalena en Betania, se estimaron la media y la varianza que son los parámetros de la función de distribución de probabilidades. En la figura 8 se ilustra como se ajustan bastante bien los datos de la serie histórica a la función de distribución normal. En la misma figura se observa la probabilidad de no excedencia de los volúmenes aportados por la SUSIN considerada para el Río Magdalena es de 0.0005 que corresponde al inverso de su período de retorno que en este caso es de 2049 años.

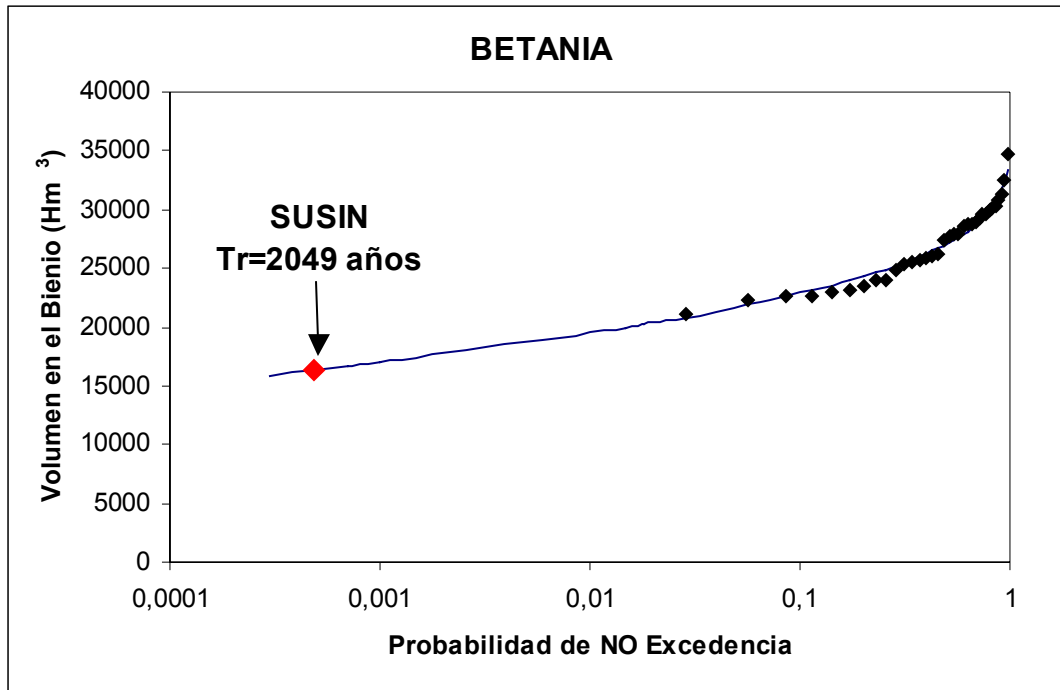


Figura 7. Volumen de agua disponible en un bienio y probabilidad de no excedencia

11. La utilización de la serie SUSIN en distintas centrales hace que simultáneamente se consideren las condiciones más críticas obtenidas de años y eventos completamente diferentes. Esto implica que la serie SUSIN no sea adecuada para considerar la agregación espacial y se puede ilustrar considerando la energía generable en varias centrales ubicadas en distintas regiones del país.

La energía generada por un grupo de centrales a partir de las series SUSIN, para cada mes del bienio crítico, es menor que el valor mínimo, encontrado en las series históricas, de la suma de las energías generadas en las distintas centrales durante el mismo mes.

Esto se puede ilustrar fácilmente incluso considerando solo dos centrales. En la Figura 8 se presenta la energía obtenida de las centrales de Guavio y Betania (considerando operación filo de agua) en los bienios de hidrología crítica, la serie SUSIN y la envolvente mínima de los bienios críticos considerados en las series históricas.

Cuando se considera la agregación temporal es aún más notoria la diferencia. En la Figura 9 se ilustra como, en las dos centrales, la cantidad de energía que puede obtenerse a partir de la hidrología histórica, en el peor de los casos es superior, a la energía obtenida a partir de la serie SUSIN. En este caso la envolvente inferior de la energía generada en el bienio, considerando bienios de hidrología crítica esta muy por encima de la SUSIN y la diferencia entre ambas es superior al 20%.

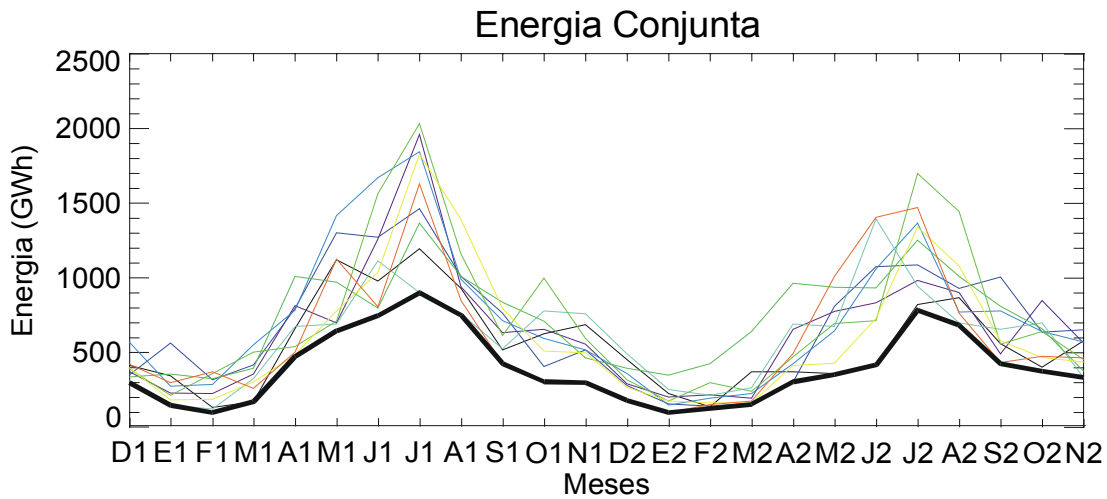


Figura 8. Energía conjunta generada en las centrales de Guavio y Betania.

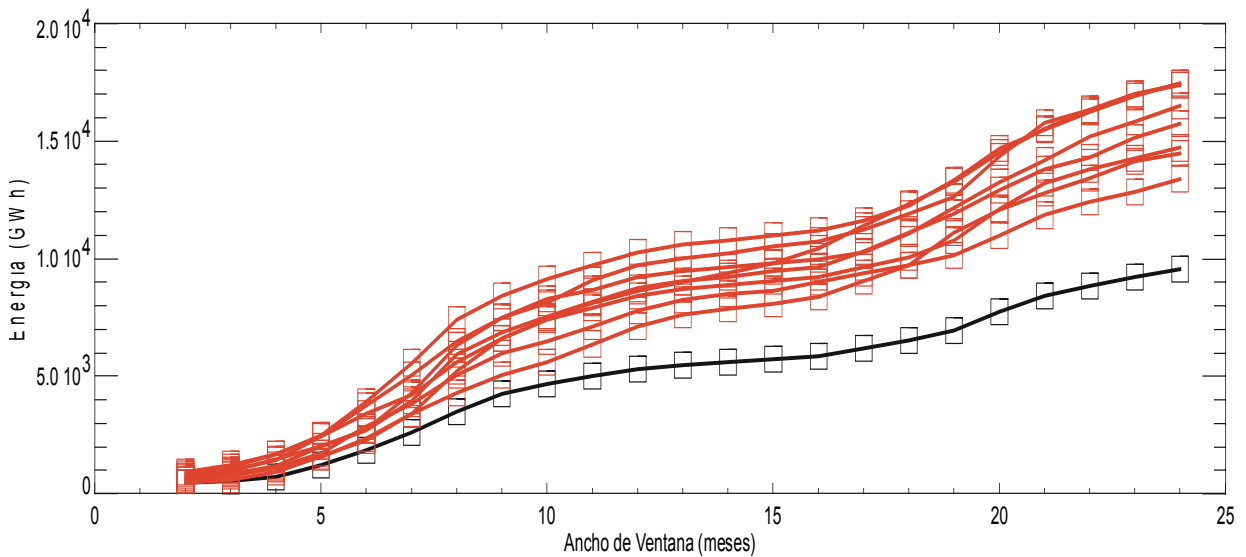


Figura 9. Energía acumulada en el tiempo

En la Figura 10 se presentan los valores mínimos de energía conjunta generable, en promedio durante distintos periodos de agregación, por la Central de Guavio, explorando toda la serie histórica y los valores de la energía generable utilizando la serie SUSIN. Se observa en este caso que los valores obtenidos con la SUSIN subestiman la capacidad de generar energía en una cifra cercana al 20%.

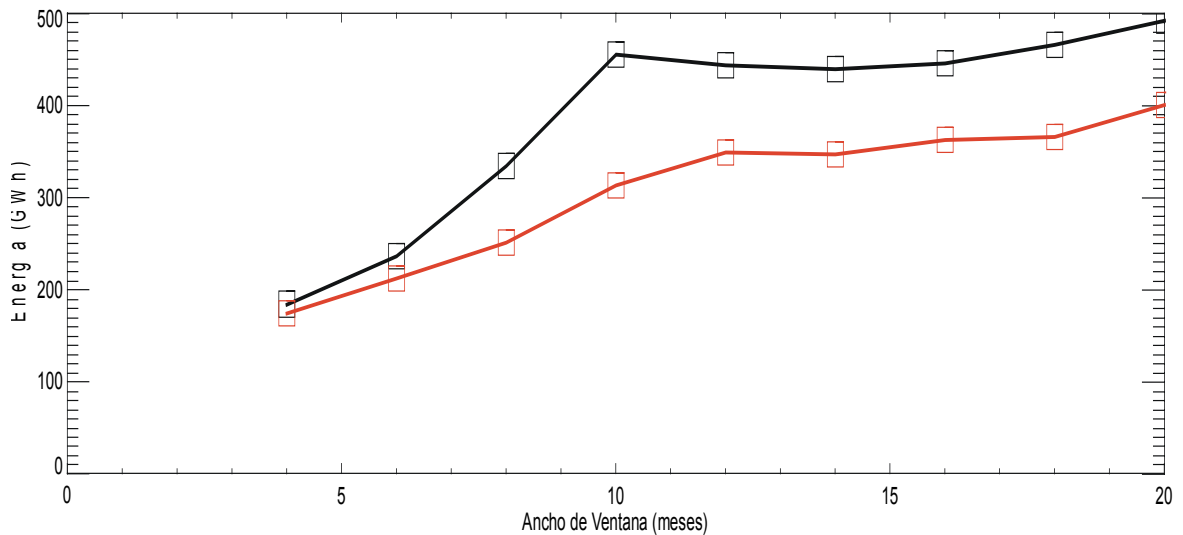


Figura 10. Valores mínimos de energía promedio generable en las centrales de Guavio y Betania durante distintos periodos de agregación.

Hay que tener en cuenta que un modelo de optimización de despacho económico incluye más de una decena de centrales hidroeléctricas, lo que hace más improbables los resultados obtenidos de aplicar la serie SUSIN en cada una de ellas. En este contexto la utilización de la serie SUSIN subestima la capacidad de generación de las centrales hidroeléctricas durante los períodos de hidrología crítica.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base en los análisis anteriores se pueden hacer las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- La serie SUSIN definida como se propone en la regulación CREG 077 – 2000 es una serie que no tiene ningún sentido físico ni estadístico, que representa una condición hidrológica más extrema, totalmente artificial, de lo que se puede concebir por medio de un análisis y modelamiento hidrológico cuidadoso.
- La serie SUSIN distorsiona por completo las relaciones espacio-temporales de los caudales de los ríos, obteniéndose unos valores que no son acordes con las series históricas. En términos generales se esperaría que la serie SUSIN tenga una mayor autocorrelación (persistencia) y una mayor correlación cruzada que las series naturales. Esto significa que tiene una mayor tendencia a permanecer en una situación crítica que lo normal.
- Hay una tendencia de la serie SUSIN a tener mayores coeficientes de autocorrelación que las series naturales. Esta situación indicaría una tendencia a representar una mayor persistencia en situaciones críticas que lo natural.
- Con la serie SUSIN se distorsionan las variaciones naturales de las series de caudales. Hay una clara tendencia a distorsionar la periodicidad, la variabilidad y la tendencia central de los caudales naturales. Con la serie SUSIN se obtiene una serie con menor periodicidad, menor variabilidad y menor tendencia central que lo que se podría esperar aún en años críticos.

- El uso de la serie SUSIN implica una curva de regulación de caudales no óptima, que castiga la capacidad de regulación de los embalses, a pesar de que los volúmenes obtenidos mediante esta técnica son porcentajes pequeños en comparación del volumen útil. Estos resultados demuestran que el uso de la serie SUSIN coloca en desventaja y sub-optimalidad a los embalses con capacidad de generación.
- La serie SUSIN es muy poco probable en términos de las probabilidades históricas de transición de un mes al siguiente, y mucho más improbable si se consideran las probabilidades condicionadas entre secuencias de meses. El principal problema de SUSIN es la muy baja probabilidad de ocurrencia de la serie como tal, no de los valores individuales para cada mes.
- La serie SUSIN no satisface la ecuación de balance hidrológico en las cuencas. Tales “caudales” serían formados por procesos de lluvia, almacenamiento de agua en la cuenca y evaporación, muy poco probables (en algunos casos improbables).
- La serie SUSIN desconoce el enfasamiento que posee el fenómeno El Niño con el ciclo anual de la hidrología de Colombia. Una serie crítica debería replantearse comenzando en la época Junio-Julio (año 0).
- Las probabilidades de no excedencia de los volúmenes aportados por la SUSIN considerada para los casos estudiados es muy baja, correspondiendo a períodos de retorno muy altos que en todos los casos excede los 2000 años.
- Uno de los aspectos más preocupantes con respecto a la serie SUSIN es la distorsión de las relaciones espaciales entre las series hidrológicas. Con las series SUSIN se obtienen valores de correlación cruzada mucho mayores que los que se obtendrían con las series naturales. Esto aumenta la persistencia de la serie SUSIN, por lo que valores bajos son seguidos por valores bajos, pero esto no es el reflejo del ciclo natural de los caudales.
- La utilización de la serie SUSIN en distintas centrales hace que simultáneamente se consideren las condiciones más críticas obtenidas de años y eventos completamente diferentes. Esto implica que la serie SUSIN no sea adecuada para considerar la agregación espacial. La envolvente inferior de la energía generada en el bienio, considerando bienios de hidrología crítica esta muy por encima de la SUSIN y la diferencia entre ambas es superior al 20%.
- El modelamiento meramente estadístico de un fenómeno físico no es adecuado. Esto ha sido consistentemente justificado por la Universidad Nacional de Colombia en sus estudios al respecto. La probabilidad de que se repita exactamente una hidrología como la del Niño 91 – 92 es cero. Sin embargo, no son cero las probabilidades de que se presenten eventos por encima o por debajo de un evento, o en ciertos rangos. En este sentido la probabilidad de que se presente un evento por encima de la serie hidrológica única establecida en las resoluciones CREG 077 y 111 de 2000 es prácticamente de uno, indicando que la serie hidrológica única establecida en las resoluciones CREG 077 y 111 de 2000 corresponde a una situación no probable, no posible, o con probabilidad de ser excedida mucho mayor a valores normalmente asumidos en estudios de confiabilidad (normalmente sumidos entre 0.95 y 0.99, siendo ya 0.99 un valor demasiado exigente). De todas maneras se trata de definir eventos que sean probables, justificados en las consideraciones físicas del fenómeno, y no aquellos que no son físicamente posibles.
- Es posible que en algunos ríos se hayan presentado hidrologías más críticas que la serie SUSIN de manera puntual en algunos meses, de hecho la serie SUSIN se define como la envolvente de los valores mínimos históricos que se han presentado en cada mes. Lo que si no tiene sentido es que se presente de manera continua esta situación crítica, es decir, valores más críticos que la

serie SUSIN en todos los 24 meses, y que produzca valores agregados de energía inferiores a esa serie.

En general se debe tener en cuenta que el uso de la serie SUSIN equivale a “diseñar bajo las condiciones de peor escenario”, lo cual tiene enormes implicaciones económicas. En ingeniería se deben hacer diseños tratando de hacer un balance entre las condiciones de diseño (incluyendo los riesgos sobre los que se diseña) y los costos asociados a las decisiones de diseño. Por ejemplo, en general no se diseña un edificio para resistir un sismo de magnitud 10, por su excesivo costo. Se insiste en que la mejor opción es conocer, investigar y mejorar la capacidad de predicción hidrológica de mediano y largo plazo (3, 6, 9 y hasta 12 meses) en Colombia.

La importancia de la hidrología en el Sistema Interconectado Nacional es incuestionable: más del 75% de la capacidad instalada del país es hidroeléctrica. El Sector Eléctrico Colombiano en conjunto con la CREG debe propender por el uso de procedimientos hidrológicos adecuados, que hagan una representación adecuada de los fenómenos físicos que ocurren en las complejas interacciones atmosfera – suelo – agua, con las debidas consideraciones de las interrelaciones entre el clima y el ciclo hidrológico.

El uso de la serie SUSIN no se justifica bajo ninguna circunstancia. No se pueden aceptar argumentos de que la serie SUSIN es más crítica, o se parece más a la serie operativa, o que estadísticamente se puede definir cualquier serie. La realidad es que esta serie no tiene ningún sentido físico ni estadístico. Bajo el argumento de que se tienen incertidumbres, de que las mediciones tienen deficiencias y de que en las dinámicas hay cambios de largo plazo sobre las cuales no tenemos una apreciación muy precisa, no se puede justificar que el modelamiento de la realidad es incompleto y por lo tanto optimista, y proponer el uso de series artificialmente críticas como la SUSIN. El Sector Eléctrico y sus autoridades ha mostrado muy poco aprecio por la hidrología. El Sector Eléctrico Colombiano no puede seguir ignorando y maltratando la hidrología, ya es hora de que se tomen correctivos y se hagan en el sector los estudios hidrológicos que se requieren usando procedimientos adecuados.

La recomendación general al Sector Eléctrico Colombiano en general y a la CREG en particular es unir esfuerzos para definir las condiciones hidrológicas que se requieren en el sector mediante procedimientos adecuados.