



Mejoras en la simulación de aportes a represas hidroeléctricas para su incorporación a modelos de planificación energética

Rafael Terra – Franco Robledo

Álvaro Díaz | Ruben Chaer | Jorge Graneri | Juan Kalemkerian | Fernanda Maciel | Marco Scavino
Ma.Cristina Álvarez | Claudia Cabrera | Milton Di Cristóforo | Guillermo Failache | Daniel Larrosa



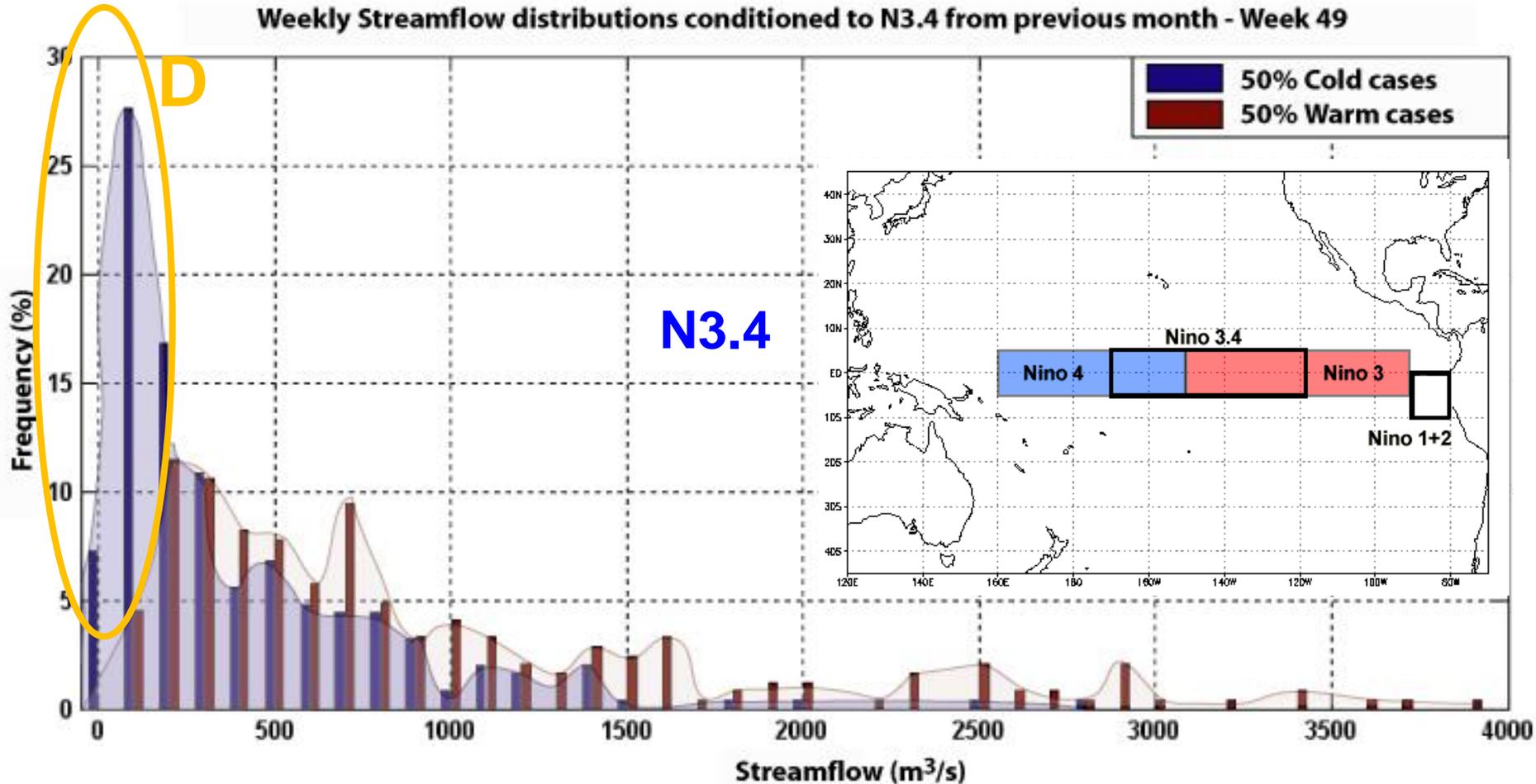
Líneas del proyecto

- ◆ **Evaluar** modelos estocásticos existentes de representación de aportes
 - ◆ **Incorporar ENOS (El Niño)** a dichos modelos y **evaluar**
- ◆ Identificar señales climáticas de más baja frecuencia (multianuales)
- ◆ Explorar nuevos modelos de "memoria larga"
- ◆ Determinar variables de estado para el optimizador (**incorporar ENOS** al optimizador)
 - ◆ **Evaluar** beneficios e impacto económico

CONTENIDO

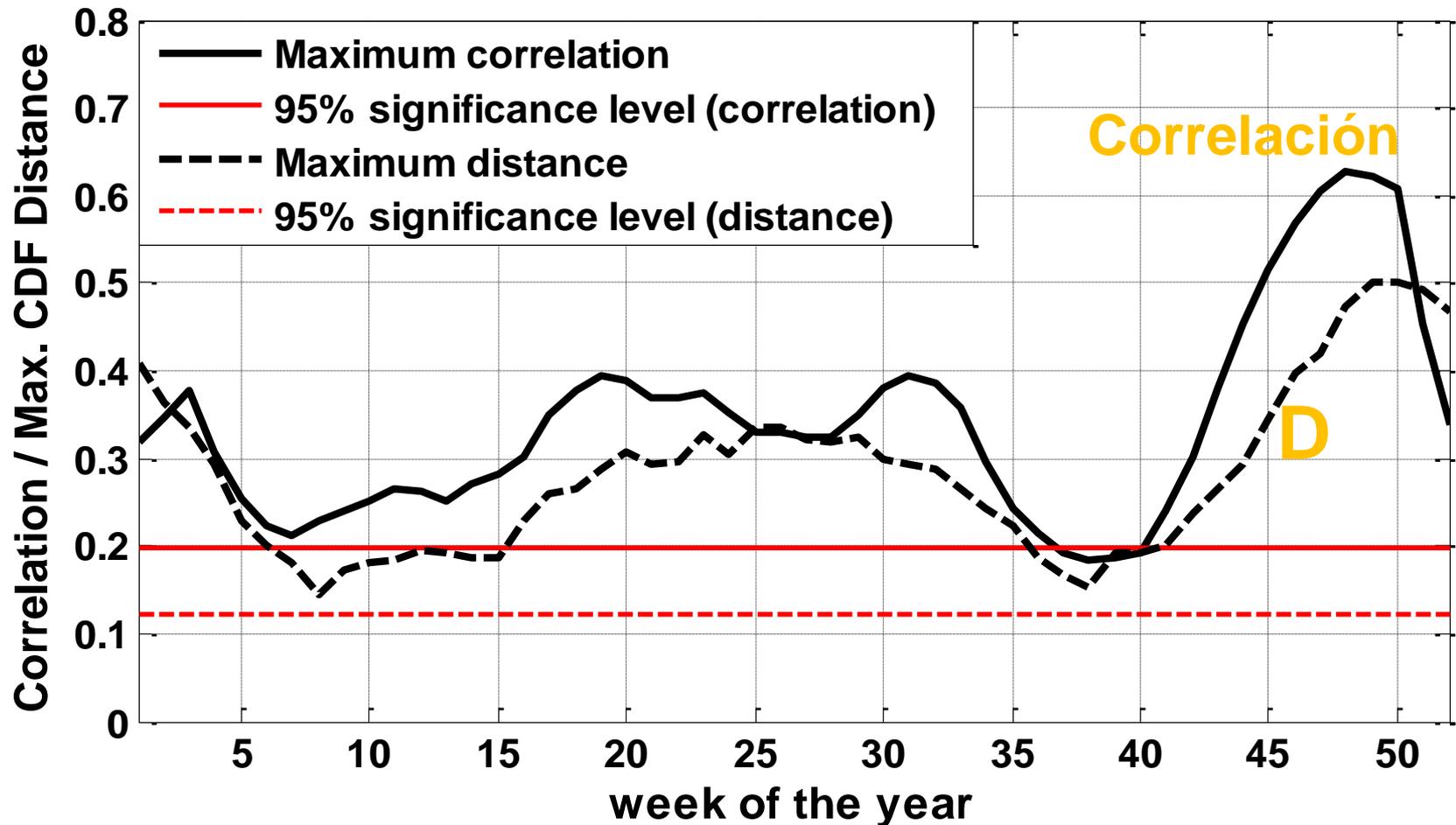
- ◆ El Niño – Oscilación Sur (**ENOS**) y los **aportes** al sistema hidroeléctrico
- ◆ Incorporación de ENOS a los generadores estocásticos de aportes y evaluación:
 - ◆ **CEGH**
 - ◆ “Tipo” **EDF**
- ◆ Implementación en **SimSEE** y evaluación
- ◆ Conclusiones, posibilidades a futuro

ENOS y Aportes semanales



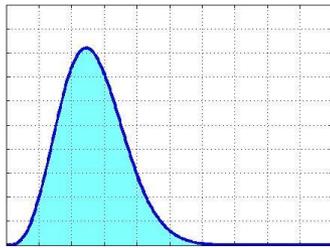
Estacionalidad y Significancia de la señal de ENOS en los aportes semanales

ENSO induced biases in streamflow distributions



CEGH

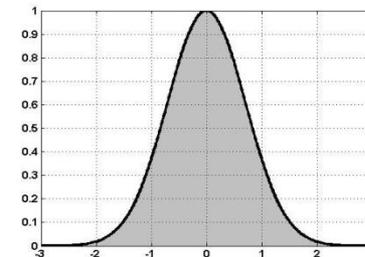
Mundo
Real



F

Transformaciones
No Lineales

Mundo
Gaussiano



$$\begin{array}{l} \text{Bonete} \\ \text{Palmar} \\ \text{Salto} \end{array} \begin{bmatrix} b \\ p \\ s \end{bmatrix}_{k+1} = \begin{bmatrix} 0.664 & 0.039 & 0.106 \\ 0.119 & 0.659 & 0.016 \\ 0.095 & -0.025 & 0.765 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} b \\ p \\ s \end{bmatrix}_k + w_k$$

**Coefficientes entrenados
históricamente** **Ruido Blanco
Gaussiano**

Por construcción respetan el clima y las autocorrelaciones de una semana en espacio gaussiano, no así otras “dinámicas” más lentas

Incorporando ENOS al CEGH

1) En los *lentes*: $F_{K,N3.4_AO}$ (Años análogos según ENOS)

2) En el sistema:

Bonete	$\begin{bmatrix} b \\ p \\ s \\ n \end{bmatrix}_{k+1} = [A_k (4 \times 4)] \cdot \begin{bmatrix} b \\ p \\ s \\ n \end{bmatrix}_k + w_k$
Palmar	
Salto	
N3.4_AO	

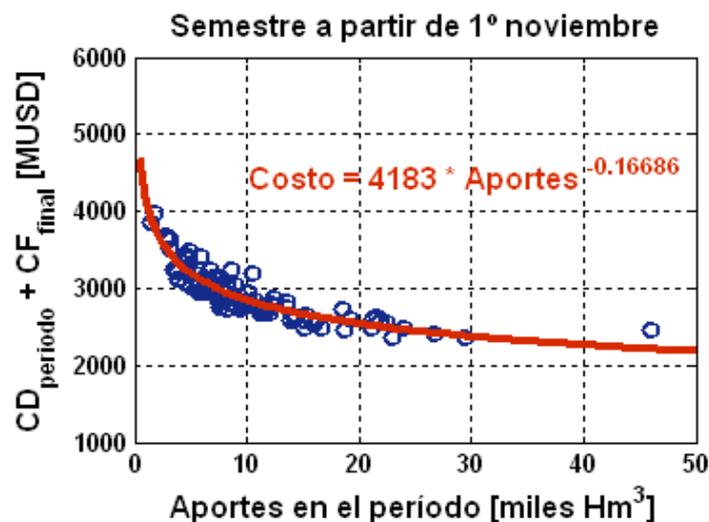
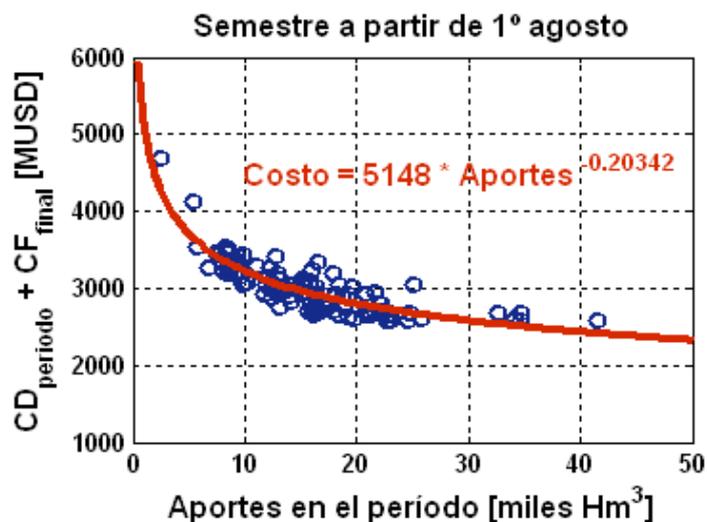
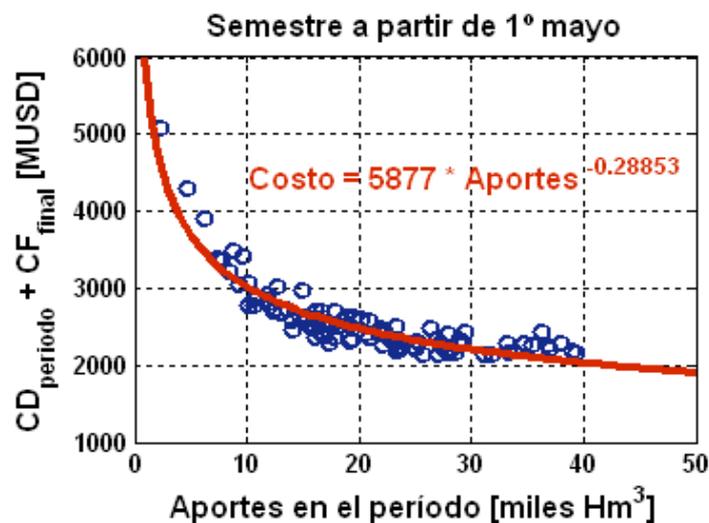
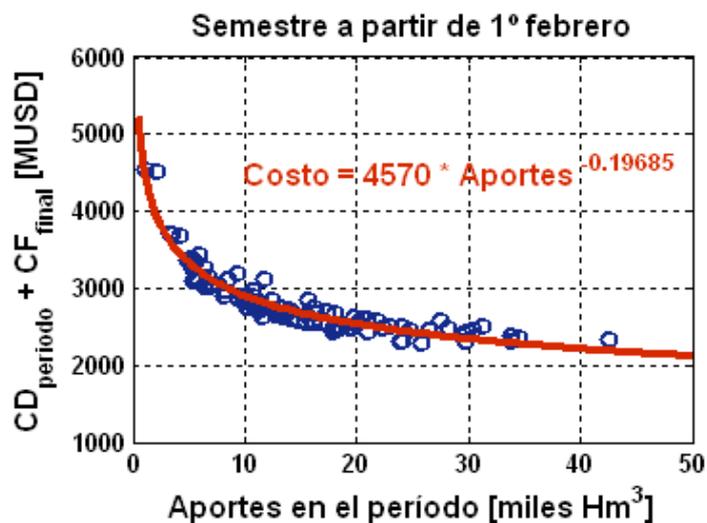
3) En el ruido: $w_k(N3.4_AO)$ (modificar los sorteos del ruido blanco, sesgando según el estado climático N3.4).

Evaluación

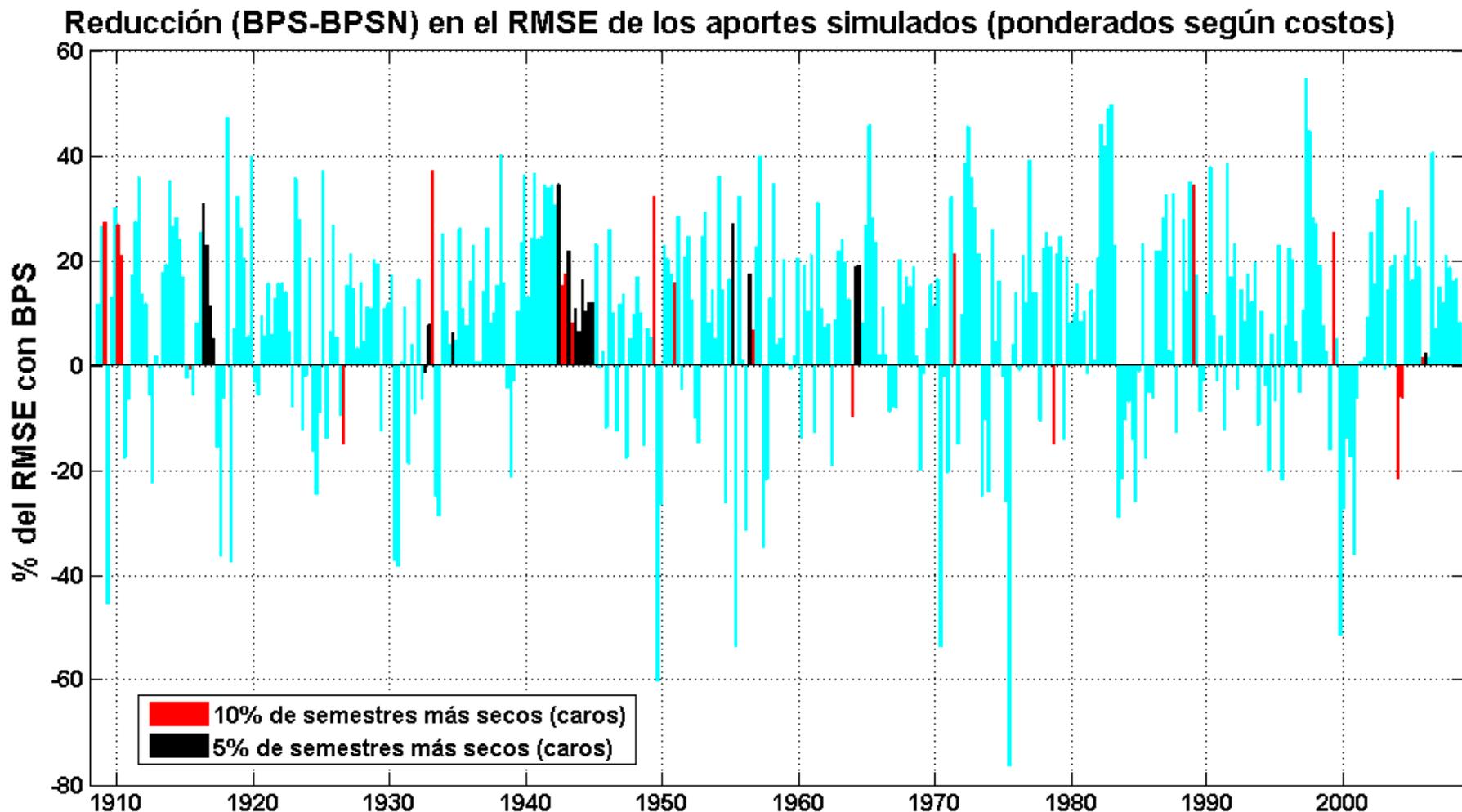
- ◆ Se simulan 100 series sintéticas con el CEGH de 6 meses de longitud, iniciando el 1º/Feb, 1º/May, 1º/Ago y 1º/Nov de cada año desde 1909 al 2008.
- ◆ Se acumulan los aportes en el semestre y se pasa por la función de costos (ver prox. slide) para tener una distribución de 100 estimaciones de costo esperado para el semestre.
- ◆ Se acumulan los aportes históricos en ese semestre y se compara contra las 100 estimaciones para tener un Error Medio Cuadrático.
- ◆ Se repite todo con CEGH con ENOS y se calcula la reducción en Error Medio Cuadrático en la estimación de costos debido a la incorporación de ENOS.

Funciones de costo por semestre

Se trabajo con 2 escenarios de respaldo del sistema



Mejora en la estimación de costos por semestre



Frecuencia de mejora:

73%

83%

95%

Media de mejora:

9.0%

12.8%

14.5%

Mejora en la estimación de costos por semestre

RESUMEN

Respaldo "2014"

$\Delta = \text{BPS} - \text{BPSN}$	Años $\Delta_{\text{RMSE}} > 0$ (%)	Δ_{RMSE} (MUSD)	$\Delta_{\text{RMSE}} / \text{RMSE}_{\text{BPS}}$ (%)	$\Delta_{\text{RMSE}} / \text{Aportes}$ (%)
1° febrero	66.0	17.9	3.6	1.2
1° mayo	77.0	31.1	10.8	2.5
1° agosto	84.0	52.6	16.5	3.3
1° noviembre	67.0	20.7	4.8	1.4
Global	73.5	30.6	8.9	2.1

Global	73.0	38.0	9.0	1.4
---------------	-------------	-------------	------------	------------

Respaldo "2012"

Implementación en el EDF

- ◆ Se construyó un proceso estocástico "tipo-EDF", cadena de Markov con misma definición de clases. Se implementó y verificó que mantiene la distribución de aportes en cada clase.
- ◆ Se definieron una variedad de estados hidrológicos (tipo ESHY con distintas longitudes de promediación), climáticos (N3.4) y combinaciones.
- ◆ Se hizo la evaluación semestral tal cual fue descripta para el CEGH.

Resumen

- ◆ N34 solo es el mejor modelo en casi todos los casos menos en los casos más costosos y secos.
- ◆ La inclusión de N3.4 como segundo estado reduce todos los errores de los modelos ESHY_X.

ESHY12(actual) .vs. ESHY12+N3.4

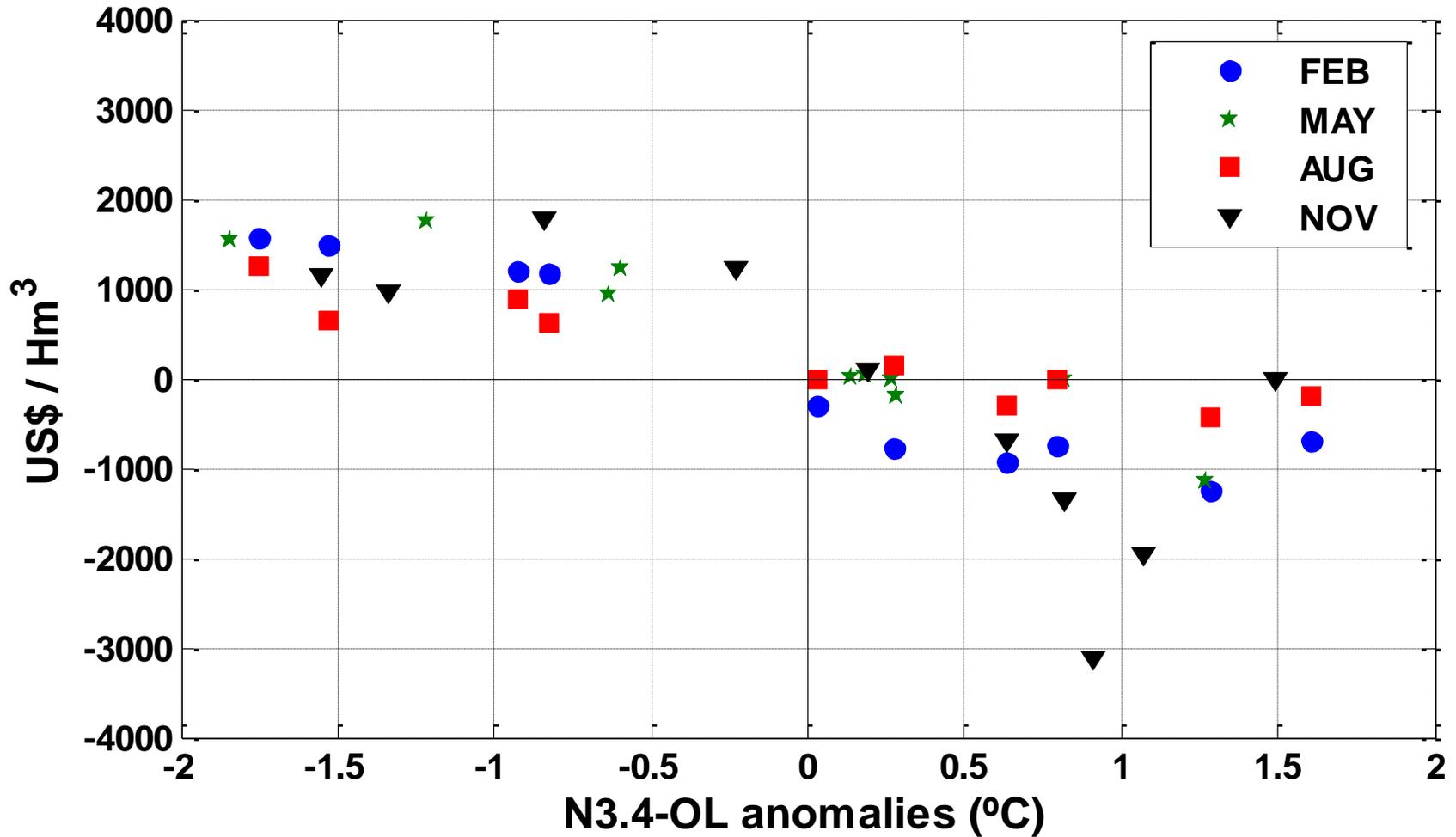
$\Delta_{\text{RMSE}} =$ Eshy12-Neshy12	# $\Delta > 0$ (%)	Δ Medio (MUSD)	$\Delta / \text{RMSE}_{\text{Eshy12}}$ (%)	$\Delta / \text{Obs.}$ (%)	# $\Delta_{10\text{til}} > 0$	# $\Delta_{5\text{til}} > 0$
1° febrero	64 %	20	5 %	0,7 %	8 / 10	4 / 5
1° mayo	64 %	59	10 %	1,8 %	9 / 10	5 / 5
1° agosto	73 %	52	16 %	1,7 %	9 / 10	5 / 5
1° noviembre	72 %	48	11 %	1,7 %	9 / 10	4 / 5
ANUAL	68 %	42	10 %	1,5 %	35 / 40	18 / 20

Implementación en el SimSEE

- ◆ **Optimización: BPS y BPSN.** También se instrumentó la optimización sobre trayectorias conocidas de N3.4, ya sea las observadas o la predicciones disponibles en su momento. Optimización única de 20 años.
- ◆ **Simulaciones** de 6 meses con inicio el **Feb, Mayo, Ago y Nov**, del **2002-2011**, sobre la **trayectoria observada de BPSN**. 100 crónicas que difieren en las suertes de las otras componentes aleatorias (rotura de máquinas y velocidad del viento).
- ◆ **40 casos con y sin ENOS.** Cada par parte de la misma condición inicial del lago y sigue la misma trayectoria de aportes. Se comparan las Políticas de Operación (valor del agua al inicio) y los costos totales (Directos +Futuros) en el semestre.

Valor del agua al inicio: BPSN- BPS

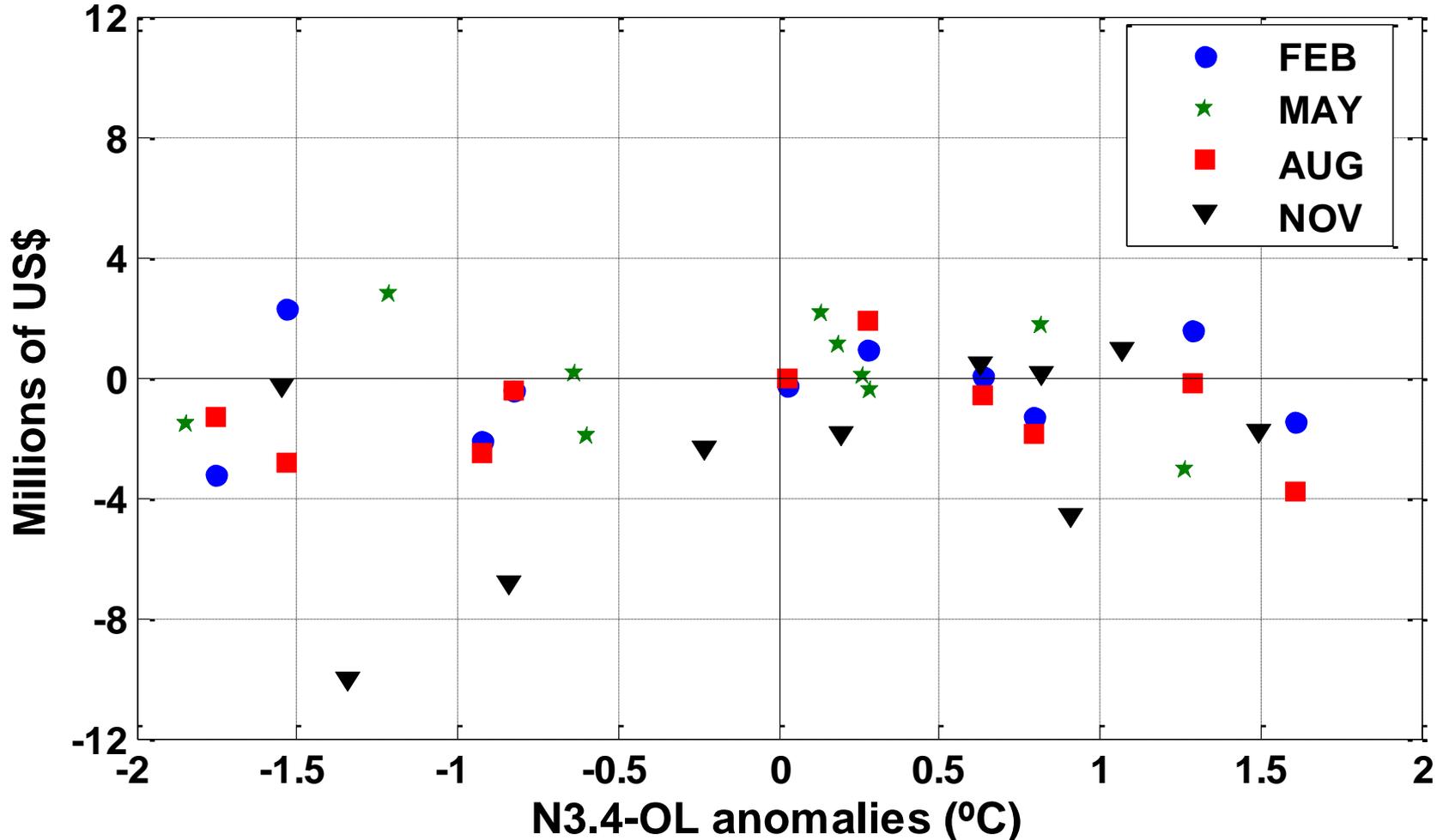
Difference in initial value of water: BPSN - BPS



Depende del estado del sistema:
ENSO, semana del año y condición inicial del lago de Bonete

Diferencia (BPSN-BPS) en Total de Costos (Directos + Futuros)

Difference in Total Costs: BPSN - BPS



2/3 de los cases -y la media- implican ahorros

CONCLUSIONES

- ◆ La **incorporación** de información de ENOS a los generadores estocásticos de aportes CEGH/EDF reduce el RMSE del cono de incertidumbre esperado, en particular mejor mucho la estimación de costos.
- ◆ Su **inclusión** en el SimSEE (en la optimización y simulación) **mejora el desempeño** a escala estacional generando ahorros 2/3 de los semestres.
- ◆ Los resultados son válidos para diferentes escenarios de respaldo del sistema, aunque el impacto relativo a los costos totales se va reduciendo.

LÍNEAS A FUTURO

- ◆ Se exploró la existencia de **procesos de memoria más larga que la estacional**, pero queda pendiente analizar la viabilidad de incorporar este tipo de escalas a los procesos estocásticos.
- ◆ El sistema eléctrico, depende ahora de la incertidumbre climática en diversas escalas de tiempo (de horario a multianual) a través de diversas variables (solar, eólica, hidro, temperatura-demanda), lo cual plantea el desafío de una **modelación conjunta y coherente**.



¡Gracias!

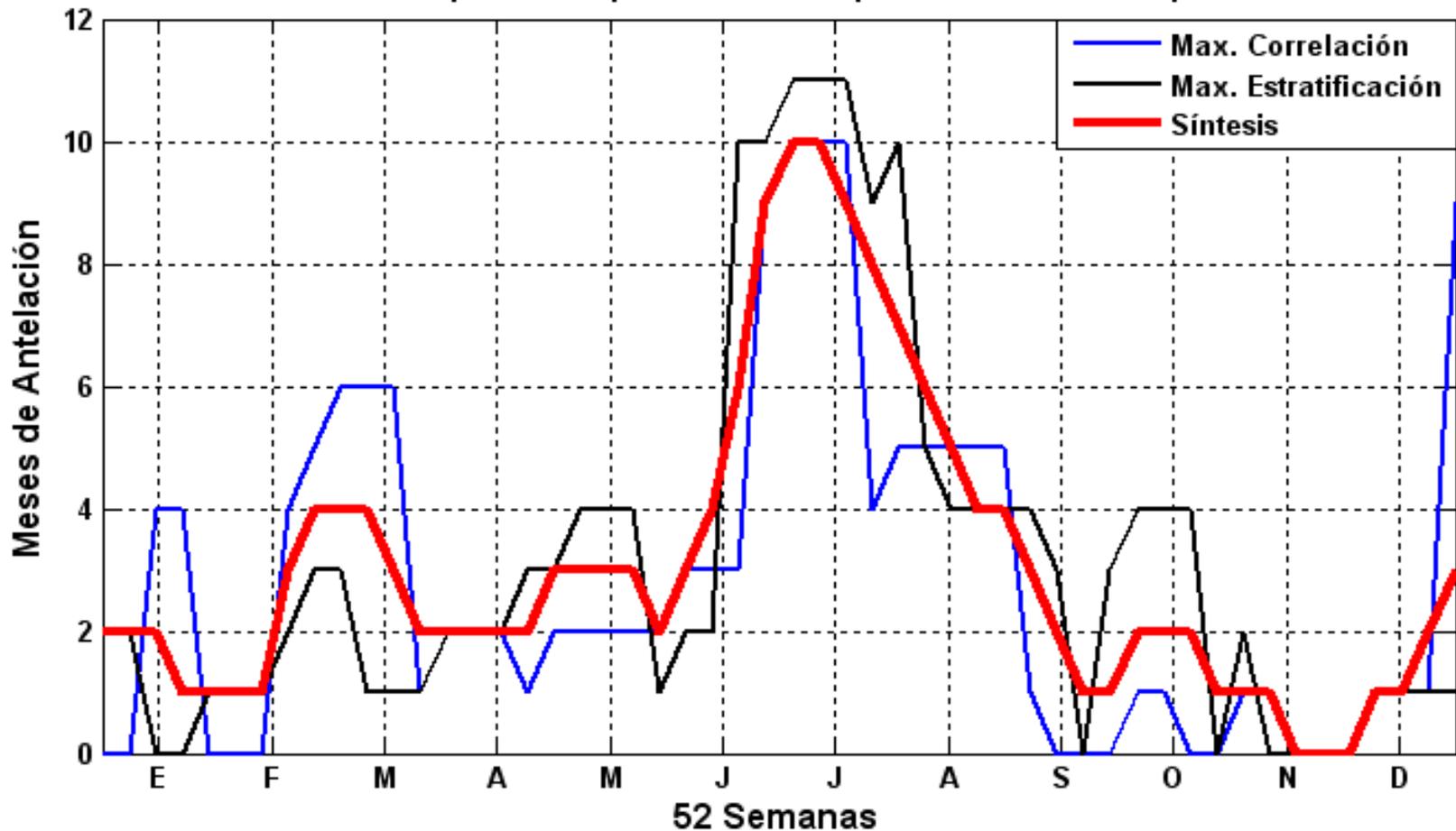
Rafael Terra – Franco Robledo

Álvaro Díaz | Ruben Chaer | Jorge Graneri | Juan Kalemkerian | Fernanda Maciel | Marco Scavino
Ma.Cristina Álvarez | Claudia Cabrera | Milton Di Cristóforo | Guillermo Failache | Daniel Larrosa



Predictor climático asociado a ENOS: N3.4_AO

Antelación óptima del predictor N3.4 para caudales complexivos



Candidato a Estado Climático

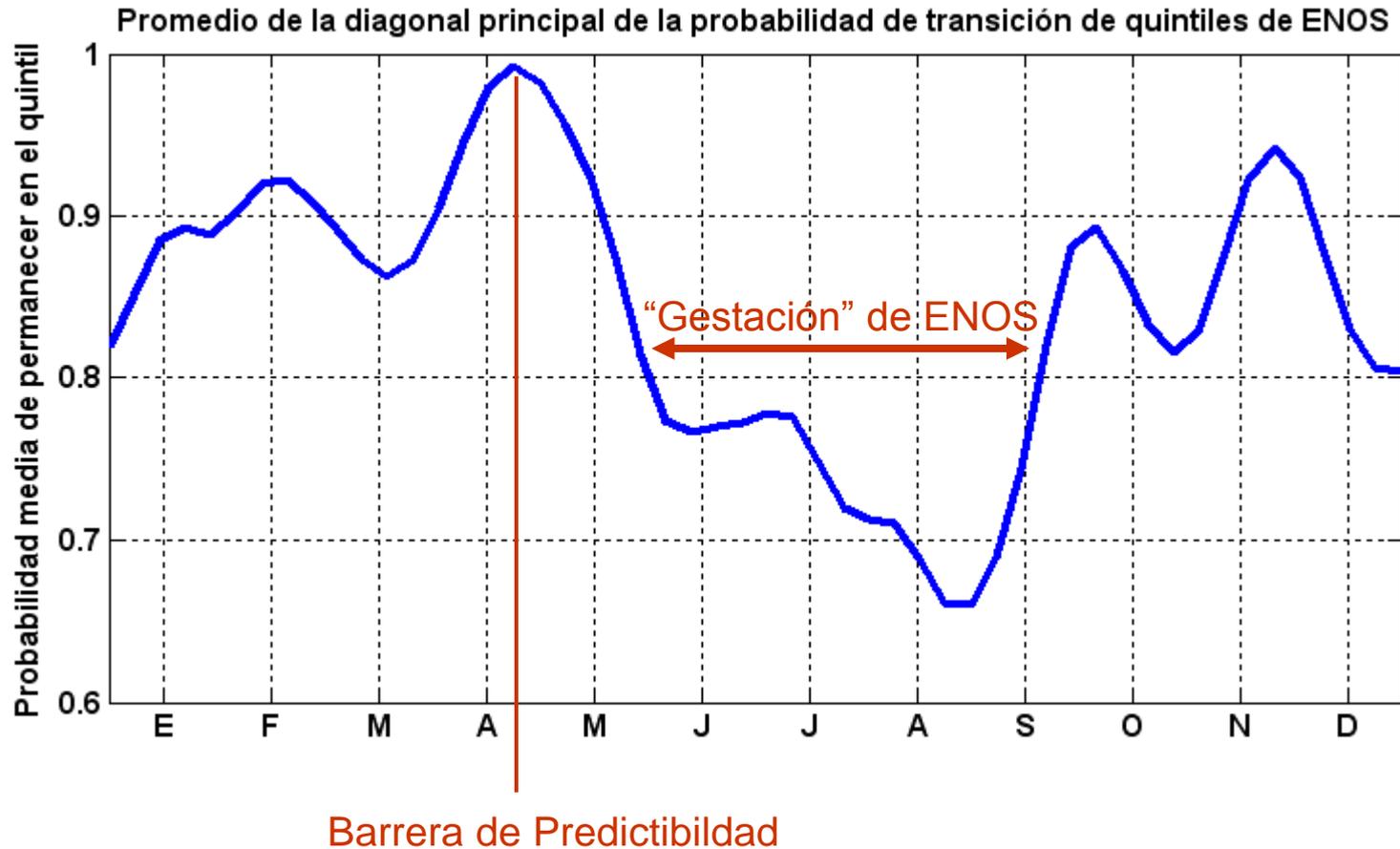
Mucho mayor inercia que los caudales

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
Q1	0.96	0.04	0	0	0
Q2	0.04	0.94	0.02	0	0
Q3	0	0.02	0.96	0.02	0
Q4	0	0	0.02	0.94	0.04
Q5	0	0	0	0.04	0.96

Ej.: Semana 48

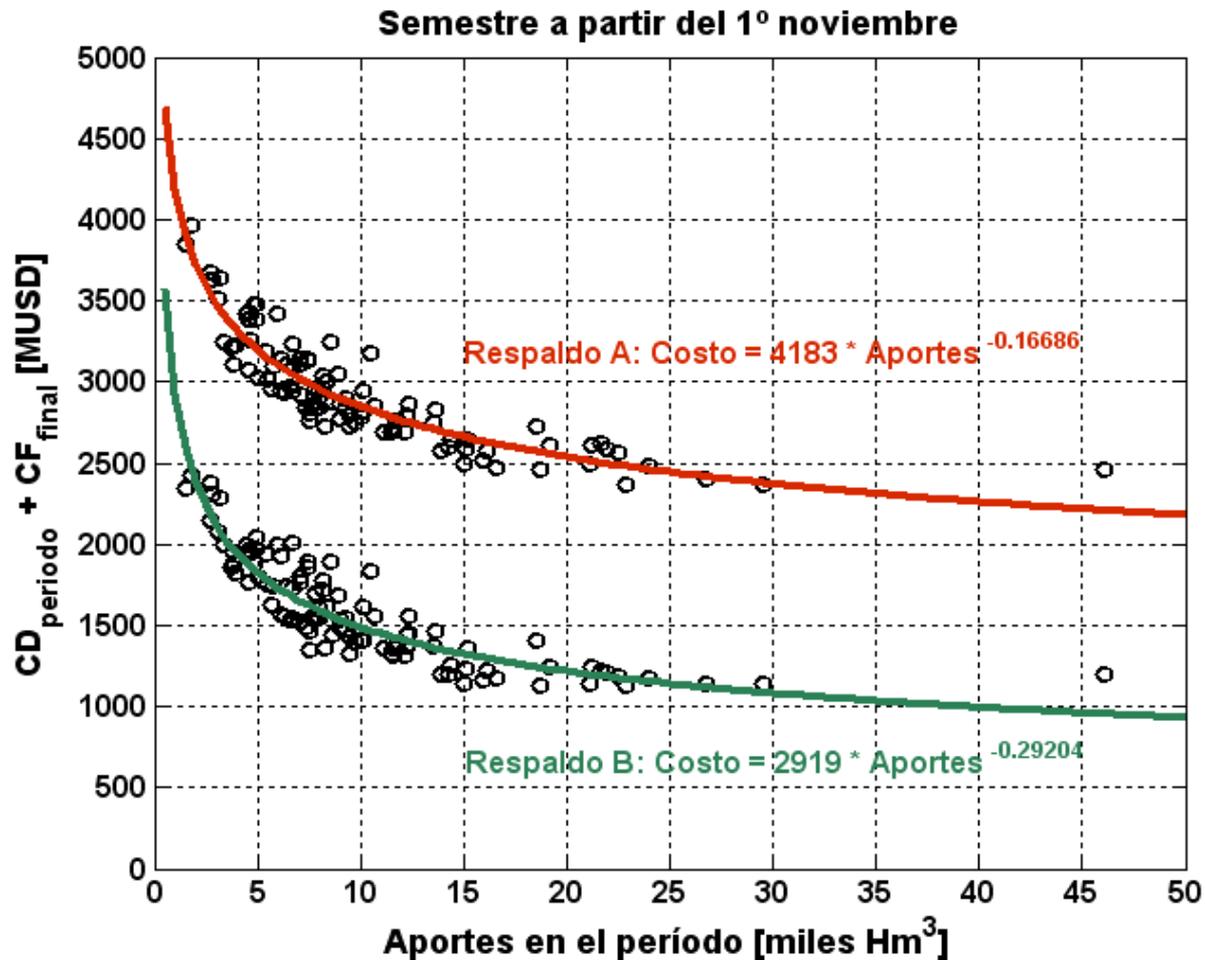
**Probabilidades de transición
de los quintiles de ENOS para cada semana**

Estacionalidad de su evolución y de su influencia en el clima local

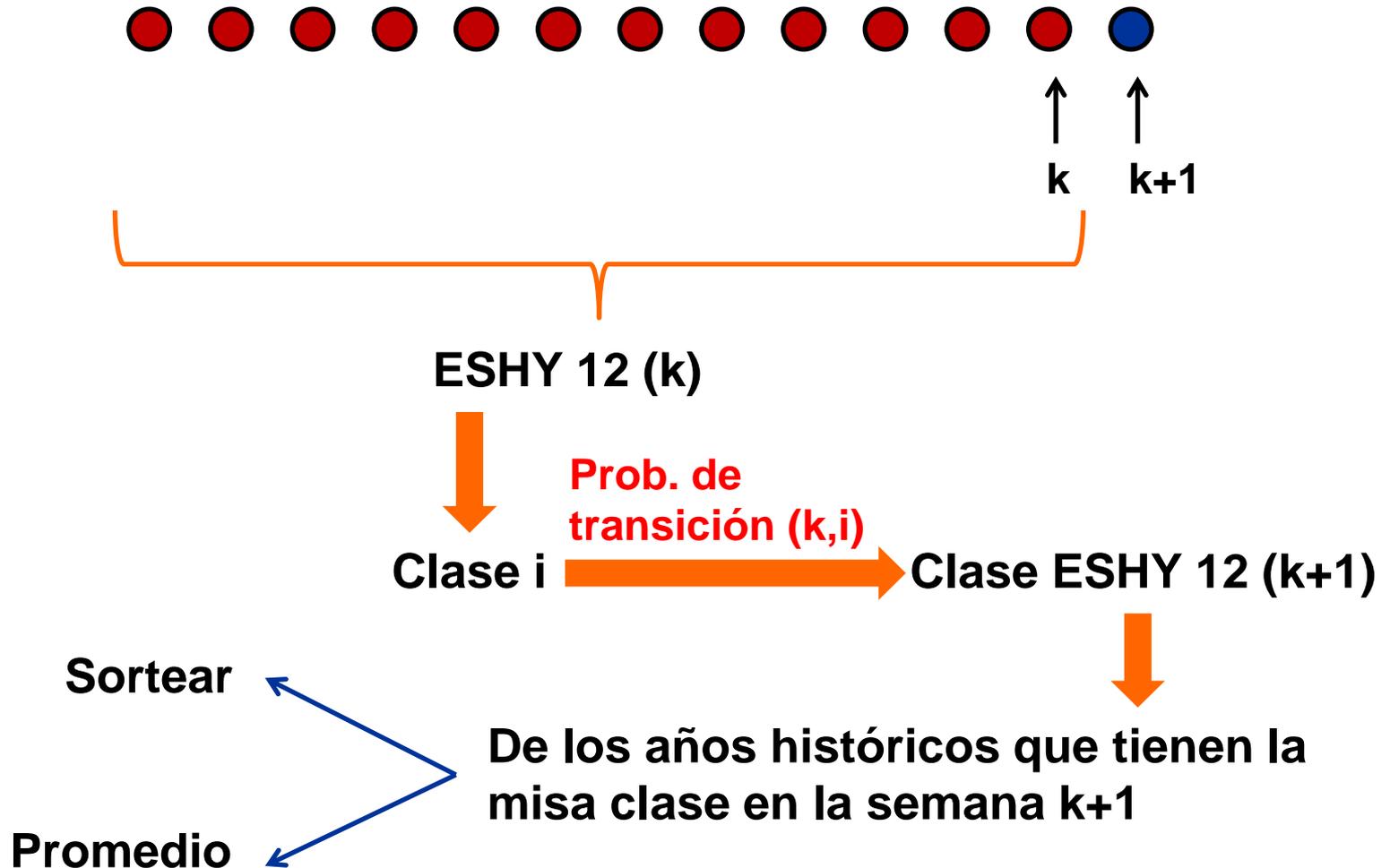


Probabilidad media de permanencia en el quintil

Sensibilidad al respaldo del Sistema

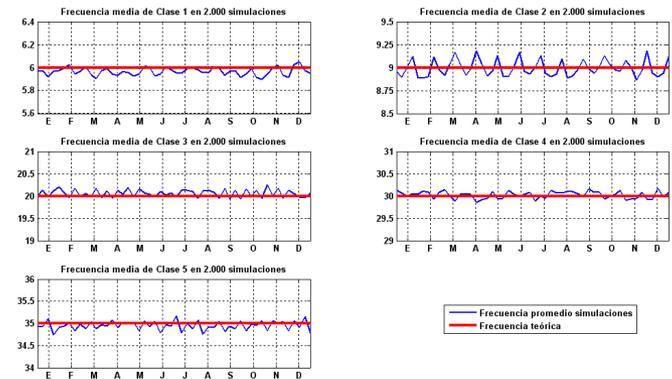


Modelado de aportes tipo EDF



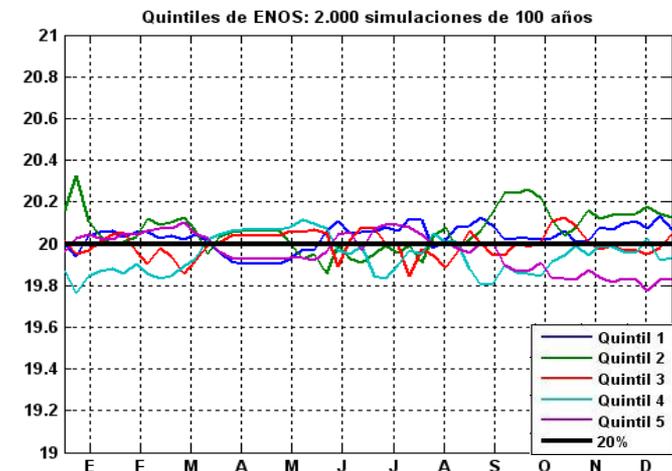
Implementación y Verificación

Confirmar que las series sintéticas respetan las frecuencias históricas de las clases hidrológicas y la clase climática asociada a N3.4_AO que se incorpora.



Cuidados con el número de años en la muestra y la combinación de estados con menos frecuencia

Comparación entre sorteos (tipo k-tiles) y promedios en aportes condicionados.



Incorporación de ENOS al EDF

1 Estado

N3.4_AO: Estado climático

ESHY_X: Estado hidrológico (Promedio de X semanas de aportes complexivos)

2 Estados: N34_AO +

ESHY_X (condicional a N3.4_AO)

Se probaron también variables de estados combinados (hidroclimáticos) sin mayor éxito (no se muestra)

Evaluación estacional

- ◆ Ídem CEGH:
 - ◆ 100 simulaciones de 6 meses.
 - ◆ Inicio en Feb, May, Ago y Nov a partir de la condición observada en cada año (100x100x4).
 - ◆ Para c/año y c/fecha inicio, se calcula RMSE 100 simulaciones (aportes acumulados) respecto observado ponderado por costos.

Simulaciones sin pronóstico de ENSO:

N34_AO (1 estado)
ESHY_X (1 estado)

Simulaciones con información del pronóstico de ENSO:

N34_AO (0 estado)
N34_AO + ESHY_X (1 estado)

Evaluación estacional (RMSE)

ESTADO	MEDIAN	MEAN	90	95	97,5	MAX
N34_AO	192	256	476	572	758	2077
ESHY15	266	303	527	607	693	1730
ESHY12	270	309	512	601	717	1665
ESHY9	290	325	541	619	747	1636
ESHY6	303	344	541	645	765	1725
ESHY3	319	356	531	633	783	1911

ESTADO	MEDIAN	MEAN	90	95	97,5	MAX
N34_AO	160	212	435	559	706	2024
N34_AO + ESHY15	212	259	471	587	656	1541
N34_AO + ESHY12	229	267	473	579	651	1412
N34_AO + ESHY9	241	281	480	608	714	1177
N34_AO + ESHY6	256	292	459	584	748	1452
N34_AO + ESHY3	280	310	486	587	755	1528