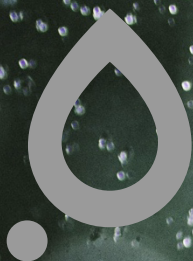


THINKINGWATER



UR-T1319-P001

**Protocolos Específicos de
Sequías en AM Montevideo y
Arroyo San Francisco, Minas.**



Consultoría para proponer un Protocolo Específico de actuación ante Sequías en el sistema de agua potable del área Metropolitana [de Montevideo] y del Arroyo San Francisco en Ciudad de Minas, Uruguay

Entregable n°3

Informe de Análisis de Alternativas y
Protocolo del Escenario Objetivo

Cliente	Fecha	Código y Versión
Banco Interamericano de Desarrollo	30/03/25 (31/05/25)	UR-T1319-ENT3-v3



SUMARIO

I	CONTEXTO	17
2	OBJETO DEL DOCUMENTO Y PROCESO DE TRABAJO	17
2.1	Objetivo del documento	17
2.2	Tareas desarrolladas	18
2.3	Información consultada	20
3	RESUMEN DEL DIAGNÓSTICO Y ESCENARIO BASE	28
3.1	Escenario de partida del sistema Metropolitano	28
3.2	Escenario de partida de ciudad de Minas	31
3.3	Escenarios de análisis elegidos	35
4	CARACTERIZACIÓN DE ALTERNATIVAS DE TRABAJO EN LA UGS METROPOLITANA	36
4.1	Topología del modelo	36
4.1.1	Ajustes a la infografía	36
4.1.2	Topología modificada	36
4.2	Definición de variantes para cada elemento clave del modelo	37
4.2.1	Variantes de oferta	38
4.2.2	Variantes de la demanda	45
4.2.3	Infraestructuras supuestas en los escenarios	50
4.2.4	Restricciones aplicadas	55
4.2.5	Normas o reglas de operación aplicadas	57
4.3	Cambio de paradigma: demanda adaptativa y gestión de sequías	59
4.3.1	Gestión adaptativa	59
4.3.2	Construcción de umbrales	60
4.3.3	Garantías asumibles	62
4.4	Análisis de alternativas del escenario actual 2025	62
4.4.1	Escenario ESC25-0, base	65
4.4.2	Escenario ESC25-1	70
4.4.3	Escenario ESC25-2	74
4.4.4	Escenario ESC25-3	79
4.4.5	Escenario ESC25-4	83



4.4.6	Resumen de las alternativas ESC25 y selección del escenario actual objetivo	88
4.5	Análisis de alternativas del escenario consolidado 2035	90
4.5.1	Escenario ESC35-1	93
4.5.2	Escenario ESC35-2	96
4.5.3	Escenario ESC35-3	100
4.5.4	Escenario ESC35-4	104
4.5.5	Escenario ESC35-5	108
4.5.6	Escenario ESC35-6	115
4.5.7	Escenario ESC35-7	120
4.5.8	Resumen de las alternativas ESC35	125
4.5.9	Breve comparación de alternativas homólogas	127
5	PROTOCOLO DE GESTIÓN DE SEQUÍAS PARA LA UGS METROPOLITANA	130
5.1	Propuesta de Protocolo de Gestión	130
5.1.1	Proceso de ajuste del umbral de sequía	130
5.1.2	Conclusiones	144
5.1.3	Propuesta de protocolo de gestión del escenario base	148
5.2	Propuesta de implementación de actuaciones y hoja de ruta recomendada	152
5.2.1	Recomendaciones respecto al monitoreo	152
5.2.2	Posible hoja de ruta	154
6	CARACTERIZACIÓN DE ALTERNATIVAS DE TRABAJO EN LA UGS CIUDAD DE MINAS	156
6.1	Topología del modelo	156
6.1.1	Ajustes a la infografía	156
6.1.2	Topología modificada	157
6.2	Definición de variantes para cada elemento clave del modelo	158
6.2.1	Variantes de oferta	158
6.2.2	Variantes de la demanda	161
6.2.3	Infraestructuras supuestas en los escenarios	163
6.2.4	Restricciones aplicadas	164
6.2.5	Normas o reglas de operación aplicadas	166
6.3	Análisis de alternativas del escenario actual 2025	167
6.3.1	Escenario ESC25-0, base	170
6.3.2	Escenario ESC25-1	172
6.3.3	Escenario ESC25-2	175
6.3.4	Resumen de las alternativas ESC25 y selección del escenario actual objetivo	177



6.4	Análisis de alternativas del escenario consolidado 2035	179
6.4.1	Escenario ESC35-1	181
6.4.2	Escenario ESC35-2	184
6.4.3	Escenario ESC35-3	187
6.4.4	Escenario ESC35-4	190
6.4.5	Resumen de las alternativas ESC35	192
7	PROTOCOLO DE GESTIÓN DE SEQUÍAS PARA LA UGS CIUDAD DE MINAS	193
7.1	Propuesta de Protocolo de Gestión	193
7.1.1	Proceso de ajuste del umbral de sequía	193
7.1.2	Propuesta de protocolo de gestión del escenario base	195
7.2	Propuesta de implementación de actuaciones y hoja de ruta recomendada	200
7.2.1	Recomendaciones respecto al monitoreo	200
7.2.2	Posible hoja de ruta	201
ANEXO I		203
ACTAS DE TRABAJO FASE DE ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS Y PROTOCOLO DE GESTIÓN DEL ESCENARIO OBJETIVO		203
ANEXO 2		224
MATERIAL DEL TALLER VIRTUAL PARA LA DETERMINACIÓN DE ESCENARIOS ALTERNATIVOS DE TRABAJO		224
ANEXO 3		259
MATERIAL DE APOYO A LA MISIÓN DE CIERRE DE LA ETAPA: PRESENTACIONES DE RESULTADOS Y DIVULGACIÓN INSTITUCIONAL		259
ANEXO 4		595
INFOGRAFÍAS ACTUALIZADAS CON LAS ALTERNATIVAS		595
ANEXO 5		601
ÁRBOL DE FICHEROS DE SIMULACIÓN		601
ANEXO 6		606



MANUAL DE USO DEL MODELO

606



Listado de Tablas

Tabla 1 Documentos e información analizada. Las lista contempla todos los documentos consultados en este proyecto. Hasta la referencia 24 se trata de información disponible en la etapa anterior de diagnóstico y, a partir de la referencia 25 son documentos facilitados posteriormente.	20
Tabla 2 Contenido de las reuniones y talleres de la semana de misión de cierre iniciada el 10/03/25	27
Tabla 3 Aportaciones desagregadas que se han valorado para los escenarios actual y consolidado	44
Tabla 4 Aportaciones externas al Santa Lucía que se han incorporado en alguna de las alternativas	45
Tabla 5 Distribución de demandas medias mensuales del sistema Montevideo servidas desde AACC distinguiendo el porcentaje servido desde cada línea de impulsión.	45
Tabla 6 Ahorros sobre consumo por usuarios facturados conseguidos en la sequía 2022-23.	49
Tabla 6 Reducciones de demanda aplicables en la UGS Metropolitana.	50
Tabla 7 Reducciones de la producción media mensual del trasvase en AACC.	51
Tabla 8 Caudales ambientales en m^3/s según norma, basados en q_{60} para presas y q_{80} para tomas.	55
Tabla 9 Caudales ambientales en m^3/s aplicando valores menos restrictivos en las presas, basados en todos los casos en q_{80} .	56
Tabla 10 Caudales ambientales en m^3/s aplicando valores de sequía en cualquier presa o captación basados en todos los casos en q_{90} .	56
Tabla 12 Garantía exigible al sistema en cada año o mes (el límite habitual es según otras recomendaciones)	62
Tabla 13 Comparativa de las variables clave para cada alternativa del escenario 25.	88
Tabla 14 Comparativa de las variables clave para cada alternativa del escenario 25.	126
Tabla 15 Comparativa de las variables clave de las alternativas con Casupá, ESC35-3 y ESC35-4	127
Tabla 16 Comparativa de las variables clave de las alternativas ESC35-4(Casupá) y ESC35-5 (Arazatí).	128
Tabla 17 Comparativa de las variables clave de ESC35-3(Casupá) y ESC35-6 (Arazatí).	129
Tabla 18 Diversas hipótesis de umbrales del indicador de escasez para el sistema Santa Lucía. En negrita los cambios secuenciales entre hipótesis. Sombreada en azul la hipótesis original.	131
Tabla 19 Variables clave para la comparación de las hipótesis de umbrales del ESC25-2.	133
Tabla 20 Diversas hipótesis de umbrales de alerta del indicador de escasez para el sistema AM.	139
Tabla 21 Variables clave para la comparación de las variantes de umbrales de la hipótesis H1.	140
Tabla 22 Variables clave para la comparación de las variantes de umbrales de la hipótesis H1-3.	141
Tabla 23 Propuesta de umbrales de entrada para el Protocolo de sequías basados en la H1-3.	145
Tabla 24 Umbrales mensuales de entrada del ESTADO de sequía en el sistema	149
Tabla 25 Criterio de determinación mensual del ESTADO del sistema	149
Tabla 26 Regla de operación del Sistema Montevideo.	151
Tabla 27 Recomendaciones de puntos y variables de medida.	152
Tabla 28 Distribución de demandas medias mensuales servidas en el sistema Ciudad de Minas en la actualidad.	161
Tabla 29 Reducciones de demanda aplicables en la UGS Minas	163
Tabla 30 Caudales ambientales en el Sistema de Ciudad de Minas en m^3/s según norma, basados en q_{60} para presas, q_{80} para tomas, y se añaden otros al q_{90} .	165
Tabla 31 Niveles definidos para las situaciones de sequía por la regla de operación y volúmenes equivalentes de reservas estratégicas,	167
Tabla 32 Comparativa de las variables clave para cada alternativa del escenario 25 en UGS Minas.	177
Tabla 33 Comparativa de las variables clave para cada alternativa del escenario 35 en UGS Minas en comparación con el escenario base actual propuesto.	192
Tabla 34 Diversas hipótesis de umbrales del indicador de escasez para el sistema Minas. En negrita los cambios secuenciales entre hipótesis. Sombreada en azul la hipótesis original.	194



Tabla 35	<i>Variables clave para la comparación de las hipótesis de umbrales del ESC25-2.</i>	194
Tabla 36	<i>Umbrales mensuales de entrada del ESTADO de sequía en el sistema en hm³</i>	196
Tabla 25	<i>Criterio de determinación mensual del ESTADO del sistema</i>	196
Tabla 38	<i>Regla de operación del Sistema Minas.</i>	198
Tabla 39	<i>Recomendaciones de puntos y variables de medida.</i>	200



Listado de Figuras

Figura 1 Serie de aportes en AACC de la serie naturalizada (sin regulación) pero con demandas intracuenca descontadas (serie Ribasim).	28
Figura 2 Etapas del trabajo realizado con la modelización numérica de recursos hídricos.	29
Figura 3 Ajustes de la calibración con las dos metodologías comentada en la evolución de reservas.	29
Figura 4 Orígenes del agua captada en AACC a nivel mensual desde 2019 hasta 2024. A la izquierda se muestran los registros reales, y a la derecha la simulación con el modelo de GRH.	30
Figura 5 A la izquierda, evolución simulada de PS y CG con una vaciado en 2023 y una situación límite en 2015; a la derecha, la demanda servida o en su defecto el déficit (rojo) cada año.	30
Figura 6 Tabla de gráficas de ajustes de las tres sequías registradas (columnas) con distintas hipótesis de reducción de aportaciones en régimen de aguas bajas o estiaje (filas), donde R es la reducción hasta el 30% o 50% de la aportación y q es el percentil del 10, 20 o 30 a partir del cual se aplica la reducción.	32
Figura 7 Serie de aportes en embalse Maggiolo de la serie naturalizada. Se presentan los datos anuales, promedio del periodo y las medias móviles a 5 y 10 años.	33
Figura 8 Aportaciones mensuales reducidas entre 2020 y 2023 con diversas medias móviles a 4, 6 y 12 meses.	33
Figura 9 Orígenes del agua mensual captada en Minas, entre 2021 y 2024. A la izquierda los registros directos y a la derecha la simulación realizada.	34
Figura 10 Dos simulaciones de diagnóstico del sistema de Mina. A la izquierda con la serie histórica corregida. A la derecha una aportación pesimista con un 10% menos de aportes de los que se han registrado históricamente. En la parte superior se representa la posible evolución mensual de las reservas en embalse Maggiolo y abajo la distribución de orígenes del agua o fuentes de la demanda total cubierta cada año.	34
Figura 11 Horizontes o escenarios temporales de análisis.	35
Figura 12 Flujograma revisado del Sistema Metropolitano con los datos clave del proyecto y posibles elementos para el análisis de alternativas.	36
Figura 13 Esquema del modelo modificado para poder representar os escenarios alternativos.	37
Figura 14 Variables que componen la modelización numérica para la generación de alternativas.	38
Figura 15 Comparación de ciclos anuales de precipitación media areal en la cuenca del Santa Lucía a partir de las series generadas para los distintos escenarios de precipitación considerados en el proyecto Euroclima+ (fuente: DINAGUA).	39
Figura 16 Proceso de generación de series de caudal alternativas afectadas por sesgos climáticos que se llevaron a cabo en el proyecto Euroclima+ (fuente: DINAGUA).	39
Figura 17 Serie de aportaciones mensuales alteradas del escenario climático E3 del estudio de Euroclima+ (100 años de datos) vs. serie histórica (33 años).	40
Figura 18 Media móvil a 1 año (izquierda) y 2 años (derecha) de la serie de aportaciones alteradas del escenario climático E3 vs. serie histórica. Se destacan los mínimos de las ambas medias móviles.	40
Figura 19 Diversas series de media móvil sobre la serie de aportaciones simuladas E3, superponiendo los periodos para construir una serie del mismo intervalo temporal que la histórica.	41
Figura 20 Aportes anuales y promedios del río Santa Lucía en la presa de AACC de la serie histórica (izquierda) y de la serie de escasez (derecha).	42
Figura 21 Aportes anuales del río Santa Lucía en la presa de AACC de la serie histórica (izquierda) y de la serie pésima inicial (derecha) donde se han cambiado el orden de las aportaciones de los años destacados en los recuadros.	42
Figura 22 Aportes anuales del río Santa Lucía en la presa de AACC de la serie histórica (izquierda) y de la serie pésima final (derecha) donde se han reducido todos los aportes mensuales históricos un 10%.	43
Figura 23 Resumen de la metodología de obtención de serie alterada con cambio climático y la serie pésima confeccionada por consenso.	44



Figura 24 Agua elevada a la red de distribución. Evolución mensual tipo por línea de bombeo.	46
Figura 25 Agua elevada a la red de distribución. Evolución mensual tipo por línea de bombeo.	47
Figura 26 Agua elevada a la red de distribución. Evolución mensual tipo por línea de bombeo.	48
Figura 27 Agua elevada a la red de distribución. Evolución mensual tipo por línea de bombeo.	48
Figura 28 Agua elevada a la red de distribución. Evolución mensual tipo por línea de bombeo.	48
Figura 29 Agua elevada a la red de distribución. Evolución mensual tipo por línea de bombeo.	49
Figura 30 Registro de orígenes del agua o mix de recursos a nivel mensual en la sumatoria de demanda satisfecha por AACC de 2019 a 2024., ambos años incluidos	52
Figura 31 Registro de los niveles aguas arriba y aguas abajo de la presa de AACC y las variaciones de su volumen embalsado en el periodo de sequía 2022-23.	53
Figura 32 Grado de cumplimiento mensual de los caudales ambientales normativos en las presas de Paso Severino y Canelón Grande.	56
Figura 33 Balance dinámico y adaptativo	59
Figura 34 Zonas de normalidad y sequía delimitadas por umbrales con el indicador “volumen embalsado”.	61
Figura 35 Resumen de caracterización de la combinación de variables de cada alternativa modelizada en el escenario actual 2025 en AM.	64
Figura 36 Simulación ESC25-0. A la izquierda evolución mensual de las reservas embalsadas de PS+CG. A la derecha evolución anual de todos los años hidrológicos simulados.	65
Figura 37 Simulación ESC25-0. A la izquierda demanda AM servida y déficit anual. A la derecha demanda servida como suma de volúmenes de distintos recursos o fuentes.	66
Figura 38 Simulación ESC25-0. Grado de cumplimiento de los caudales ambientales dónde la fracción de color rojo significa un volumen anual objetivo de caudal ambiental no cubierto o déficit. A la izquierda el caudal ambiental en Aguas Corrientes, a la derecha superior en presa Paso Severino y en derecha inferior presa de Canelón Grande.	66
Figura 39 Simulación ESC25-0. A la izquierda volúmenes mensuales trasvasados en AACC versus los límites máximos técnicos e históricos. A la derecha gráfico equivalente a nivel anual.	68
Figura 40 Simulación ESC25-0. Volúmenes mensuales trasvasados en AACC, conjuntamente con rebalses en la empresa de captación y reservas en el sistema de embalses del río Santa Lucía.	68
Figura 41 Simulación ESC25-0. Reservas de Paso Severino y destino de las aguas salientes, ya sean consignas directas desde la planta de AACC o el resto de los caudales rebalsados o regulados por fondo. A la izquierda valores mensuales y a la derecha a nivel anual.	69
Figura 42 Simulación ESC25-0. Volúmenes anuales sobrantes aguas abajo de la presa de captación de AACC.	69
Figura 43 Resumen de las hipótesis de trabajo de la simulación ESC25-1.	70
Figura 44 Simulación ESC25-1. A la izquierda la evolución de las reservas de los embalses PS y CG. A la derecha, la misma evolución conjunta de reservas superponiendo en línea roja la evolución simulada anteriormente ESC25-0.	71
Figura 45 Simulación ESC25-1. A la izquierda demanda AM servida y déficit anual, superponiéndose en línea roja la evolución de la demanda servida del ESC25-0. A la derecha demanda servida como suma de volúmenes de distintos recursos o fuentes.	71
Figura 46 Simulación ESC25-1. Grado de cumplimiento de los caudales ambientales. A la izquierda toma de Aguas Corrientes, a la derecha superior presa de Paso Severino y, en derecha inferior, presa de Canelón Grande.	72
Figura 47 Simulación ESC25-1. A la izquierda volúmenes mensuales trasvasados en AACC versus los límites máximos técnicos e históricos. A la derecha, gráfico equivalente a nivel anual.	72
Figura 48 Simulación ESC25-1. A la izquierda volúmenes mensuales de agua del San José bombeados en Paso Valdez versus los límites máximos técnicos. A la derecha, gráfico equivalente a nivel anual.	73
Figura 49 Simulación ESC25-1. Gráfico de balance del sistema AM a nivel anual (evolución de reservas y demandas.	73
Figura 50 Simulación ESC25-1. A la izquierda posibles umbrales de definición de estado hidrológico. A la derecha evolución en los niveles de reservas en PS+CG, umbrales y línea superior como contador de meses en cada estado de sequía.	74
Figura 51 Resumen de las hipótesis de trabajo de la simulación ESC25-2.	75



Figura 52 Simulación ESC2521. A la izquierda la evolución de las reservas de los embalses PS y CG. A la derecha, evolución conjunta de reservas versus la evolución del escenario base ESC25-0. _____	75
Figura 53 Simulación ESC25-2. A la izquierda demanda AM servida y déficit anual, superponiéndose en línea roja la evolución de la demanda servida del ESC25-0. A la derecha demanda servida como suma de volúmenes de distintos recursos o fuentes. _____	76
Figura 54 Simulación ESC25-2. Grado de cumplimiento de los caudales ambientales. A la izquierda toma de Aguas Corrientes, a la derecha superior presa de Paso Severino y, en derecha inferior, presa de Canelón Grande. _____	76
Figura 55 Simulación ESC25-2. A la izquierda volúmenes mensuales trasvasados en AACC versus los límites máximos técnicos e históricos. A la derecha, gráfico equivalente a nivel anual. _____	77
Figura 56 Simulación ESC25-2. A la izquierda volúmenes mensuales de agua del San José bombeados en Paso Valdez versus los límites máximos técnicos. A la derecha, gráfico equivalente a nivel anual. _____	77
Figura 57 Simulación ESC25-2. Gráfico de balance del sistema AM a nivel anual (evolución de reservas y demandas. _____	78
Figura 58 Simulación ESC25-2. A la izquierda posibles umbrales de definición de estado hidrológico. A la derecha evolución en los niveles de reservas en PS+CG, umbrales y línea superior como contador de meses en cada estado de sequía. _____	78
Figura 59 Simulación ESC25-2. Evolución intra anual de toda la serie de simulación de reservas en el embalse de Paso Severino, comparando a la izquierda el escenario base ESC25-0 y a la derecha el escenario ESC25-2. _____	79
Figura 60 Serie de aportaciones alterada con cambio climático según el escenario E3 del proyecto Euroclima+. A la izquierda datos mensuales y a la derecha valores anuales y promedio. _____	79
Figura 61 Resumen de las hipótesis de trabajo de la simulación ESC25-3. _____	80
Figura 62 Simulación ESC25-3. A la izquierda la evolución de las reservas de los embalses PS y CG. A la derecha, evolución conjunta de reservas versus la evolución del escenario base ESC25-0. _____	80
Figura 63 Simulación ESC25-3. A la izquierda demanda AM servida y déficit anual, superponiéndose en línea roja la evolución de la demanda servida del ESC25-0. A la derecha demanda servida como suma de volúmenes de distintos recursos o fuentes. _____	80
Figura 64 Simulación ESC25-3. Grado de cumplimiento de los caudales ambientales. A la izquierda toma de Aguas Corrientes, a la derecha superior presa de Paso Severino y, en derecha inferior, presa de Canelón Grande. _____	81
Figura 65 Simulación ESC25-3. A la izquierda volúmenes mensuales trasvasados en AACC versus los límites máximos técnicos e históricos. A la derecha, gráfico equivalente a nivel anual. _____	81
Figura 66 Simulación ESC25-3. A la izquierda volúmenes mensuales de agua del San José bombeados en Paso Valdez versus los límites máximos técnicos. A la derecha, gráfico equivalente a nivel anual. _____	82
Figura 67 Simulación ESC25-3. Gráfico de balance del sistema AM a nivel anual (evolución de reservas y demandas. _____	82
Figura 68 Simulación ESC25-3. A la izquierda posibles umbrales de definición de estado hidrológico. A la derecha evolución en los niveles de reservas en PS+CG, umbrales y línea superior como contador de meses en cada estado de sequía. _____	83
Figura 69 Comparativa de los caudales anuales históricos en AACC (imagen de la izquierda) con respecto a la serie modificada con un 10% menos de aportaciones. _____	84
Figura 70 Resumen de las hipótesis de trabajo de la simulación ESC25-4. _____	84
Figura 71 Simulación ESC25-4. A la izquierda la evolución de las reservas de los embalses PS y CG. A la derecha, evolución conjunta de reservas versus la evolución del escenario base ESC25-2. _____	85
Figura 72 Simulación ESC25-4. A la izquierda demanda AM servida y déficit anual, superponiéndose en línea roja la evolución de la demanda servida del ESC25-2. A la derecha demanda servida como suma de volúmenes de distintos recursos o fuentes. _____	85
Figura 73 Simulación ESC25-4. Grado de cumplimiento de los caudales ambientales. A la izquierda toma de Aguas Corrientes, a la derecha superior presa de PS y, en derecha inferior, CG. _____	85
Figura 74 Comparación de alternativas, a la izquierda salidas de la simulación de referencia ESC25-2 y, a la derecha la ESC25-4. Arriba, volúmenes mensuales de agua del San José bombeados en Paso Valdez; abajo volúmenes mensuales trasvasados en AACC versus los límites máximos. _____	86



Figura 75 Simulación ESC25-4. Gráfico de balance del sistema AM a nivel.	86
Figura 76 Simulación ESC25-4. A la izquierda posibles umbrales de definición de estado hidrológico. A la derecha evolución en los niveles de reservas en PS+CG, umbrales y línea superior como contador de meses en cada estado de sequía.	87
Figura 77 Comparación del periodo más crítico de evolución de reservas en los embalses del Santa Lucía entre el ESC25-2 (izquierda) y el ESC25-4 (derecha).	87
Figura 78 Resumen de caracterización de la combinación de variables de cada alternativa modelizada en el escenario consolidado 2035 en AM.	92
Figura 79 Resumen de las hipótesis de trabajo de la simulación ESC35-1.	93
Figura 80 Simulación ESC35-1. A la izquierda la evolución de las reservas embalsadas en el Santa Lucía. A la derecha, evolución conjunta de reservas versus la evolución del escenario homólogo ESC25-4.	93
Figura 81 Simulación ESC35-1. A la izquierda demanda AM servida y déficit anual, superponiéndose en línea roja la evolución de la demanda servida del ESC25-4. A la derecha demanda servida como suma de volúmenes de distintas fuentes de suministro.	94
Figura 82 Simulación ESC35-1. A la izquierda volúmenes anuales de agua del San José bombeados en Paso Valdez y a la derecha volúmenes anuales trasvasados en AACC, en ambos casos versus los límites máximos técnicos e históricos.	94
Figura 83 Simulación ESC35-1. A la izquierda posibles umbrales de definición de estado hidrológico. A la derecha evolución en los niveles de reservas en PS+CG, umbrales y línea superior como contador de meses en cada estado de sequía.	95
Figura 84 Comparación del periodo más crítico de evolución de reservas en los embalses del Santa Lucía entre el escenario objetivo ESC25-2 (izquierda) y el ESC35-1 (derecha).	95
Figura 85 Ubicación topológica de las presas de El Soldado y Campanero respecto al conjunto al sistema Metropolitano en el Santa Lucía.	96
Figura 86 Resumen de las hipótesis de trabajo de la simulación ESC35-2.	97
Figura 87 Simulación ESC35-2. A la izquierda la evolución de las reservas embalsadas en el Santa Lucía. A la derecha, evolución conjunta de reservas versus la evolución del escenario homólogo ESC25-4.	97
Figura 88 Simulación ESC35-2. A la izquierda demanda AM servida y déficit anual, superponiéndose en línea roja la evolución de la demanda servida del ESC25-4. A la derecha demanda servida como suma de volúmenes de distintas fuentes de suministro.	98
Figura 89 Simulación ESC35-2. Grado de cumplimiento de los caudales ambientales. A la izquierda toma de Aguas Corrientes, a la derecha superior presa de Paso Severino y, en derecha inferior, presa de Canelón Grande.	98
Figura 90 Simulación ESC35-2. A la izquierda volúmenes anuales de agua del San José bombeados en Paso Valdez y a la derecha volúmenes anuales trasvasados en AACC, en ambos casos versus los límites máximos técnicos e históricos.	99
Figura 91 Simulación ESC35-2. A la izquierda posibles umbrales de definición de estado hidrológico. A la derecha evolución en los niveles de reservas en PS+CG, umbrales y línea superior como contador de meses en cada estado de sequía.	99
Figura 92 Comparación del periodo más crítico de evolución de reservas en los embalses del Santa Lucía entre el escenario objetivo ESC25-2 (izquierda) y el ESC35-2 (derecha).	100
Figura 93 Ubicación topológica de la presa de Casupá y el punto de control de Fray Marcos respecto al conjunto del sistema Metropolitano en el río Santa Lucía.	100
Figura 94 Resumen de las hipótesis de trabajo de la simulación ESC35-3.	101
Figura 95 Simulación ESC35-3. A la izquierda la evolución de las reservas embalsadas en el río Santa Lucía. A la derecha, evolución conjunta de reservas versus la evolución del escenario homólogo ESC25-4.	101
Figura 96 Simulación ESC35-3. A la izquierda demanda AM servida y déficit anual, superponiéndose en línea roja la evolución de la demanda servida del ESC25-4. A la derecha demanda servida como suma de volúmenes de distintas fuentes de suministro.	102
Figura 97 Simulación ESC35-3. Grado de cumplimiento de los caudales ambientales. A la izquierda parte superior toma de Aguas Corrientes y parte inferior presa de Casupá; a la derecha superior presa de Paso Severino y, en derecha inferior, presa de Canelón Grande.	102



Figura 98 Simulación ESC35-3. A la izquierda caudales medios mensuales en Fray Marcos y límite de dilución establecido; a la derecha caudal promedio anual distinguiendo el origen del agua fluyente en el punto.	103
Figura 99 Simulación ESC35-3. A la izquierda posibles umbrales de definición de estado hidrológico. A la derecha evolución en los niveles de reservas en el Santa Lucía (Casupá+PS+CG), umbrales y línea superior como contador de meses en cada estado de sequía.	104
Figura 100 Comparación del periodo más crítico de evolución de reservas en los embalses del Santa Lucía entre el escenario homólogo ESC25-4 (izquierda) y el ESC35-3 (derecha).	104
Figura 101 Resumen de las hipótesis de trabajo de la simulación ESC35-4.	105
Figura 102 Simulación ESC35-4. A la izquierda la evolución de las reservas embalsadas en el Santa Lucía. A la derecha, evolución conjunta de reservas versus la evolución del escenario anterior ESC35-3.	105
Figura 103 Simulación ESC35-4. A la izquierda demanda AM servida y déficit anual, superponiéndose en línea roja la evolución de la demanda servida del ESC35-3 anterior. A la derecha demanda servida como suma de volúmenes de distintas fuentes de suministro.	106
Figura 104 Simulación ESC35-4. Grado de cumplimiento de los caudales ambientales. A la izquierda parte superior toma de Aguas Corrientes y parte inferior presa de Casupá; a la derecha superior presa de Paso Severino y, en derecha inferior, presa de Canelón Grande.	106
Figura 105 Simulación ESC35-4. A la izquierda caudales medios mensuales en Fray Marcos y límite de dilución establecido; a la derecha caudal promedio anual distinguiendo el origen del agua fluyente en el punto.	107
Figura 106 Simulación ESC35-2. A la izquierda volúmenes anuales de agua del San José bombeados en Paso Valdez y a la derecha volúmenes anuales trasvasados en AACC, en ambos casos versus los límites máximos técnicos e históricos.	107
Figura 107 Simulación ESC35-4. A la izquierda posibles umbrales de definición de estado hidrológico. A la derecha evolución en los niveles de reservas en el Santa Lucía (Casupá+PS+CG), umbrales y línea superior como contador de meses en cada estado de sequía.	108
Figura 108 Comparación del periodo más crítico de evolución de reservas en los embalses del Santa Lucía entre el escenario anterior ESC35-3 (izquierda) y el ESC35-4 (derecha).	108
Figura 109 Ubicación topológica de la toma, planta de Arazatí y conducción hasta el tanque Melilla en la red de distribución urbana del sistema Metropolitano.	109
Figura 110 Resumen de las hipótesis de trabajo de la simulación ESC35-5.	110
Figura 111 Simulación ESC35-5. A la izquierda la evolución de las reservas embalsadas en el Santa Lucía. A la derecha, evolución conjunta de reservas versus la evolución del escenario anterior ESC35-4.	111
Figura 112 Simulación ESC35-5. A la izquierda demanda AM servida y déficit anual, superponiéndose en línea roja la evolución de la demanda servida del ESC35-4 anterior. A la derecha demanda servida como suma de volúmenes de distintas fuentes de suministro.	111
Figura 113 Simulación ESC35-5. Grado de cumplimiento de los caudales ambientales. A la izquierda toma de Aguas Corrientes; a la derecha superior presa de Paso Severino y, en derecha inferior, presa de Canelón Grande.	112
Figura 114 Simulación ESC35-5. A la izquierda caudales medios mensuales en Fray Marcos y límite de dilución establecido; a la derecha caudal promedio anual distinguiendo el origen del agua fluyente en el punto.	112
Figura 115 Simulación ESC35-5. A la izquierda volúmenes anuales (detalle mensual superpuesto) de agua del San José bombeados en Paso Valdez y a la derecha volúmenes anuales trasvasados en AACC, en ambos casos versus los límites máximos técnicos e históricos.	113
Figura 116 Simulación ESC35-5. A la izquierda volúmenes entregados por Arazatí, distinguiendo el valor fijo del modular, fracción de demanda D6 y parte enviada a D4; a la derecha volúmenes anuales servidos de la demanda D4 por origen del recurso.	113
Figura 117 Simulación ESC35-5. Variante de la figura anterior donde se ha modelizado la conexión D6 a D4 solamente en caso de sequía y emergencia.	114
Figura 118 Simulación ESC35-5. A la izquierda posibles umbrales de definición de estado hidrológico. A la derecha evolución en los niveles de reservas en el Santa Lucía (PS+CG), umbrales y línea superior como contador de meses en cada estado de sequía.	114



Figura 119 Comparación del periodo más crítico de evolución de reservas en los embalses del Santa Lucía entre el escenario anterior ESC35-4 su homólogo, con Casupá (izquierda) y el actual ESC35-5 (derecha).	115
Figura 120 Simulación ESC35-5. Comparación de los aportes de Arazatí (izquierda) con los caudales mensuales sobrantes en el río Santa Lucía (derecha). La escala vertical está en el mismo rango hasta 80 hm ³ .	115
Figura 121 Resumen de las hipótesis de trabajo de la simulación ESC35-6.	116
Figura 122 Simulación ESC35-6. A la izquierda la evolución de las reservas embalsadas en el Santa Lucía. A la derecha, evolución conjunta de reservas versus la evolución del escenario homólogo con Casupá ESC35-3.	116
Figura 123 Simulación ESC35-6. A la izquierda demanda AM servida y déficit anual, superponiéndose en línea roja la evolución de la demanda servida del ESC35-3 homólogo de Casupá. A la derecha demanda servida como suma de volúmenes de distintas fuentes de suministro.	117
Figura 124 Simulación ESC35-6. Grado de cumplimiento de los caudales ambientales. A la izquierda presa de Paso Severino y, en derecha la presa de Canelón Grande.	117
Figura 125 Simulación ESC35-6. A la izquierda caudales medios mensuales en Fray Marcos y límite de dilución establecido; a la derecha caudal promedio anual distinguiendo el origen del agua fluyente en el punto.	117
Figura 126 Comparación de aportaciones anuales en sequía en las simulaciones anterior ESC35-5 a la izquierda y actual ESC35-6 a la derecha. En la parte superior agua del río San José bombeada en Paso Valdez y en la parte inferior volúmenes trasvasados en AACC.	118
Figura 127 Comparación de aportaciones anuales de Arazatí en las simulaciones anterior ESC35-5 a la izquierda y actual ESC35-6 a la derecha. Se distingue el valor fijo del modular, fracción de demanda D6 y parte enviada a D4.	118
Figura 128 Simulación ESC35-6. A la izquierda posibles umbrales de definición de estado hidrológico. A la derecha evolución en los niveles de reservas en el Santa Lucía (PS+CG), umbrales y línea superior como contador de meses en cada estado de sequía.	119
Figura 129 Comparación de la evolución intra anual de toda la serie de simulación de reservas conjuntas en los embalses del Santa Lucía. A la izquierda el escenario anterior ESC35-5 y a la derecha el actual ESC35-6.	119
Figura 130 Comparación del periodo más crítico de evolución simulada de reservas en los embalses del Santa Lucía entre el escenario homólogo ESC35-3, con Casupá (izquierda) y el actual ESC35-6 (derecha).	120
Figura 131 Comparación de evolución conjunta de reservas en el río Santa Lucía en las alternativas homólogas de Arazatí y Casupá: izquierda, ESC35-5 vs. ESC35-4 con caudales ambientales en AACC y a la derecha, ESC35-6 vs. ESC35-3 sin caudales ambientales en AACC.	120
Figura 132 Ubicación topológica de la presa de Rincón de Carballo y la planta de Ol de Santiago Vázquez respecto el conjunto al sistema Metropolitano en el río Santa Lucía.	121
Figura 133 Resumen de las hipótesis de trabajo de la simulación ESC35-7.	122
Figura 134 Simulación ESC35-7. A la izquierda la evolución de las reservas embalsadas en el Santa Lucía y San José. A la derecha, evolución conjunta de reservas versus la evolución del escenario homólogo con Casupá ESC35-4.	122
Figura 135 Simulación ESC35-7. A la izquierda demanda AM servida y déficit anual, superponiéndose en línea roja la evolución de la demanda servida del ESC35-4. A la derecha demanda servida como suma de volúmenes de distintas fuentes de suministro.	123
Figura 136 Simulación ESC35-7. Grado de cumplimiento de los caudales ambientales. A la izquierda toma de Aguas Corrientes, a la derecha superior presa de Paso Severino y, en derecha inferior, presa de Canelón Grande.	123
Figura 137 Simulación ESC35-7. A la izquierda volúmenes anuales de agua del San José bombeados en Paso Valdez y a la derecha los datos mensuales, con sus respectivos límites técnicos.	124
Figura 138 Simulación ESC35-7. A la izquierda, volúmenes anuales de agua trasvasados en AACC. A la derecha, volúmenes anuales suministrados desde el tanque Melilla, diferenciando los orígenes del agua.	124



Figura 139 Simulación ESC35-7. A la izquierda posibles umbrales de definición de estado hidrológico como reservas de PS+CG. A la derecha evolución del conjunto de las reservas en PS+CG+Rincón de Carballo, umbrales y línea superior como contador de meses en cada estado de sequía. _____	125
Figura 140 Comparación del periodo más crítico de evolución simulada de reservas en los embalses del Santa Lucía entre el escenario homólogo ESC35-4, con Casupá (izquierda) y el actual ESC35-7 (derecha). _____	125
Figura 141 Comparación del periodo más crítico de evolución simulada de reservas en los embalses del Santa Lucía entre el escenario ESC35-3 y el escenario ESC35-4. _____	128
Figura 142 Comparación del periodo más crítico de evolución simulada de reservas en los embalses del Santa Lucía entre el ESC35-4(Casupá) y ESC35-5 (Arazatí). _____	129
Figura 143 Comparación del periodo más crítico de evolución simulada de reservas en los embalses del Santa Lucía entre el ESC35-3(Casupá) y ESC35-6 (Arazatí). _____	129
Figura 144 Ejemplos de umbrales y simulación de la evolución de las reservas en cada caso, con la serie de aportaciones pésima. _____	137
Figura 145 Ejemplos distribución de agua por fuentes en algunas de las hipótesis tanteadas. _____	138
Figura 146 Umbrales definidos para emergencia y sequía del indicador de escasez del sistema Metropolitano con alternativas del umbral del estado de alerta. _____	141
Figura 147 Comparación del mix de fuentes en la demanda servida y el volumen anual trasvasado del San José con aportaciones pésimas. _____	143
Figura 148 Valores mensuales de los umbrales y aspecto de estos en el gráfico del indicador de escasez. _____	146
Figura 149 Esquema del orden de entrada de las fuentes en AM. _____	147
Figura 150 Evolución de reservas mensuales por años de simulación. La línea más gruesa de color rojo es el promedio. Serie 32-33 con marcado circular. _____	147
Figura 151 Valores mensuales de los umbrales de entrada y salida en el sistema Metropolitano. _____	150
Figura 152 Posible secuencia temporal de inicio de actividades clave para robustecer el sistema AM ante episodios de sequía y escasez coyuntural. _____	156
Figura 152 Flujograma revisado del Sistema de Ciudad de Minas con los datos clave del proyecto y posibles elementos para el análisis de alternativas. _____	156
Figura 154 Esquema del modelo Minas modificado para poder representar os escenarios alternativos. _____	157
Figura 155 Aportes anuales históricos corregidos del A° San Francisco en la presa Maggiolo a la izquierda y, a la derecha, aportes de la serie alterada según la metodología del escenario E4 del proyecto Euroclima+. _____	159
Figura 156 Aportes anuales y promedios del A° San Francisco en la presa de Maggiolo de la serie histórica corregida (izquierda) y de la serie de escasez (derecha) o alterada E3 de Euroclima+. _____	159
Figura 157 Aportes anuales y promedios del A° San Francisco en la presa de Maggiolo. Serie histórica corregida (izquierda) y misma serie reducida un 10%, serie de pésima (derecha). _____	160
Figura 158 Evolución de la demanda anual de Ciudad de Minas junto a los promedios de los periodos 2020-23 y 2022-23. _____	162
Figura 159 Detalle de la topología, embalse, nodos de demanda y arcos alrededor de la presa Maggiolo que permiten al modelo de GRH reproducir la captación de agua para la planta y el cumplimiento de restricciones ambientales. _____	165
Figura 160 Esquema resumen de la regla de operación actual del sistema de abastecimiento de Ciudad de Minas. _____	166
Figura 161 Curva del embalse de Maggiolo, proyecto original y relevamiento de 1990. _____	166
Figura 162 Resumen de caracterización de la combinación de variables de cada alternativa modelizada en el escenario actual 2025 en Minas. _____	169
Figura 163 Resumen de las hipótesis de trabajo de la simulación ESC25-0 de UGS Minas. _____	170
Figura 164 Simulación ESC25-0 de la UGS Minas. A la izquierda, la evolución de las reservas embalsadas en presa Maggiolo. A la derecha, demanda servida y déficit anual. _____	170
Figura 165 Simulación ESC25-0 de la UGS Minas. A la izquierda demanda servida anual como suma de volúmenes de distintas fuentes de suministro. A la derecha, detalle mensual de los años 31 al 33. _____	171



Figura 166 Simulación ESC25-0 de la UGS Minas. A la izquierda, balance anual del sistema, orígenes y destinos del agua. A la derecha, grado de cumplimiento mensual del caudal ambiental en presa Maggiolo con superposición de la evolución de las reservas. _____	171
Figura 167 Simulación ESC25-0 de la UGS Minas. A la izquierda, posibles umbrales de definición de estado hidrológico. A la derecha, evolución en los niveles de reservas en presa Maggiolo, umbrales y línea superior como contador de meses en cada estado de sequía. _____	172
Figura 168 Resumen de las hipótesis de trabajo de la simulación ESC25-1 de UGS Minas. _____	172
Figura 169 Simulación ESC25-1 de la UGS Minas, comparativa con superposición de los valores del escenario base ESC25-0. A la izquierda, la evolución de las reservas embalsadas en presa Maggiolo. A la derecha, demanda servida y déficit anual. _____	173
Figura 170 Simulación ESC25-1 de la UGS Minas. A la izquierda demanda servida anual como suma de volúmenes de distintas fuentes de suministro. A la derecha, detalle mensual de los años 6 al 9. _____	173
Figura 171 Simulación ESC25-1 de la UGS Minas, grado de cumplimiento mensual del caudal ambiental en presa Maggiolo con superposición de la evolución de las reservas. A la izquierda, los valores del escenario base ESC25-0 y a la derecha, el escenario actual ESC25-1. _____	174
Figura 172 Simulación ESC25-1 de la UGS Minas. A la izquierda, posibles umbrales de definición de estado hidrológico. A la derecha, evolución en los niveles de reservas en presa Maggiolo, umbrales y línea superior como contador de meses en cada estado de sequía. _____	174
Figura 173 Resumen de las hipótesis de trabajo de la simulación ESC25-2 de UGS Minas. _____	175
Figura 174 Simulación ESC25-2 de la UGS Minas, comparativa con superposición de los valores del escenario base ESC25-0. A la izquierda, la evolución de las reservas embalsadas en presa Maggiolo. A la derecha, demanda servida y déficit anual. _____	175
Figura 175 Simulación ESC25-2 de la UGS Minas. A la izquierda demanda servida anual como suma de volúmenes de distintas fuentes de suministro. A la derecha, detalle mensual de los años 31 al 33. _____	176
Figura 176 Simulación ESC25-2 de la UGS Minas, grado de cumplimiento mensual del caudal ambiental en presa Maggiolo con superposición de la evolución de las reservas. A la izquierda, los valores del escenario base ESC25-0 y a la derecha, el escenario actual ESC25-2. _____	176
Figura 177 Simulación ESC25-2 de la UGS Minas. A la izquierda, posibles umbrales de definición de estado hidrológico. A la derecha, evolución en los niveles de reservas en presa Maggiolo, umbrales y línea superior como contador de meses en cada estado de sequía. _____	176
Figura 178 Resumen de caracterización de la combinación de variables de cada alternativa modelizada en el escenario consolidado 2035 en Minas. _____	180
Figura 179 Ubicación topológica de la presa de Minas Viejas en el arroyo del mismo nombre, afluente del A° San Francisco aguas arriba de presa Maggiolo. _____	181
Figura 180 Resumen de las hipótesis de trabajo de la simulación ESC35-1 de UGS Minas. _____	182
Figura 181 Simulación ESC35-1 de la UGS Minas. A la izquierda, la evolución de las reservas embalsadas en el conjunto de presas Maggiolo y Minas Viejas. A la derecha, comparativa del embalse Maggiolo con superposición de los valores del escenario base ESC25-2. _____	182
Figura 182 Simulación ESC35-1 de la UGS Minas. A la izquierda demanda servida anual comparada con la servida en el ESC25-2 (actual con serie pésima). A la derecha, evolución mensual de fuentes de suministro. _____	182
Figura 183 Simulación ESC35-1 de la UGS Minas. A la izquierda demanda servida anual como suma de volúmenes de distintas fuentes de suministro. A la derecha, detalle mensual de los años 31 al 33. _____	183
Figura 184 Comparativa del nivel de cumplimiento de los caudales ambientales en presa Maggiolo. A la izquierda, simulación ESC25-2 y a la derecha simulación ESC35-1. _____	183
Figura 185 Simulación ESC35-1 de la UGS Minas. A la izquierda, posibles umbrales de definición de estado hidrológico. A la derecha, evolución en los niveles de reservas en presa Maggiolo, umbrales y línea superior como contador de meses en cada estado de sequía. _____	184
Figura 186 Ubicación topológica de la presa de Campanero en el arroyo del mismo nombre, afluente del A° San Francisco aguas abajo de la Ciudad de Minas. _____	185
Figura 187 Resumen de las hipótesis de trabajo de la simulación ESC35-2 de UGS Minas. _____	185



Figura 188 Simulación ESC35-2 de la UGS Minas, comparativa con superposición de los valores del escenario anterior ESC35-1. A la izquierda, la evolución de las reservas embalsadas en presa Maggiolo. A la derecha, demanda servida y déficit anual.	186
Figura 189 Simulación ESC35-2 de la UGS Minas. A la izquierda demanda servida anual como suma de volúmenes de distintas fuentes de suministro donde aparece distinguido el volumen proveniente de Campanero. A la derecha, detalle mensual de los años 31 al 33.	186
Figura 190 Comparativa del nivel de cumplimiento de los caudales ambientales en presa Maggiolo. A la izquierda, simulación anterior ESC35-1 y a la derecha simulación ESC35-2.	187
Figura 191 Simulación ESC35-2 de la UGS Minas. A la izquierda, posibles umbrales de definición de estado hidrológico. A la derecha, evolución en los niveles de reservas en presa Maggiolo, umbrales y línea superior como contador de meses en cada estado de sequía.	187
Figura 192 Resumen de las hipótesis de trabajo de la simulación ESC35-3 de UGS Minas.	188
Figura 193 Simulación ESC35-3 de la UGS Minas, comparativa con superposición de los valores del escenario anterior ESC35-2. A la izquierda, la evolución de las reservas embalsadas en presa Maggiolo. A la derecha, demanda servida y déficit anual.	188
Figura 194 Simulación ESC35-3 de la UGS Minas. A la izquierda demanda servida anual como suma de volúmenes de distintas fuentes de suministro donde aparece distinguido el volumen proveniente de Campanero. A la derecha, detalle mensual de los años 31 al 33.	189
Figura 195 Comparativa del nivel de cumplimiento de los caudales ambientales en presa Maggiolo. A la izquierda, simulación anterior ESC35-2 y a la derecha simulación ESC35-3.	189
Figura 196 Simulación ESC35-3 de la UGS Minas. A la izquierda, posibles umbrales de definición de estado hidrológico. A la derecha, evolución en los niveles de reservas en presa Maggiolo, umbrales y línea superior como contador de meses en cada estado de sequía.	189
Figura 197 Resumen de las hipótesis de trabajo de la simulación ESC35-4 de UGS Minas.	190
Figura 198 Simulación ESC35-4 de la UGS Minas, comparativa con superposición de los valores del escenario inicial ESC35-1. A la izquierda, la evolución de las reservas embalsadas en presa Maggiolo. A la derecha, demanda servida y déficit anual.	190
Figura 199 Simulación ESC35-4 de la UGS Minas. A la izquierda demanda servida anual como suma de volúmenes de distintas fuentes de suministro. A la derecha, los caudales ambientales en presa Maggiolo.	191
Figura 200 Simulación ESC35-4 de la UGS Minas. A la izquierda, posibles umbrales de definición de estado hidrológico. A la derecha, evolución en los niveles de reservas en presa Maggiolo, umbrales y línea superior como contador de meses en cada estado de sequía.	191
Figura 201 Valores mensuales de los umbrales de entrada y salida en el sistema Minas.	197



1 Contexto

La consultoría responde al **objetivo** de redactar el Protocolo Específico de actuación ante Sequías (en adelante PES) en el sistema de agua potable del área Metropolitana [de Montevideo] (AMM) y el PES del Arroyo San Francisco (ASF) en Ciudad de Minas, ambos en la República Oriental del Uruguay, con los siguientes **objetivos específicos**:

- Avanzar en la implementación de lo establecido en el Protocolo Nacional de Sequía.
- Conocer la situación actual, los proyectos en etapa de implementación y definir un escenario base de la UGS del sistema de abastecimiento metropolitana, que a través de la modelización permita identificar riesgos y proponer alternativas de gestión.
- Contar con un PES para la UGS metropolitana que incluya todos los componentes que establece el Protocolo Nacional (incluido el protocolo de gestión de infraestructuras).
- Contar con un PES para la UGS arroyo San Francisco que incluya todos los componentes que establece el Protocolo Nacional (incluido el protocolo de gestión de infraestructuras).
- En caso de que corresponda, realizar propuestas de ajustes al Protocolo Nacional a la luz de los protocolos específicos desarrollados.

Como antecedentes de este contrato, mencionar que en 2023 BID aprobó la operación UR-L1195 con el objetivo de **contribuir a la seguridad hídrica** y a la **sostenibilidad ambiental de Uruguay** con un enfoque de circularidad, adaptación y mitigación al Cambio Climático (CC). Uno de sus objetivos específicos era mejorar la gestión de los Recursos Hídricos (RH) y una de las debilidades identificadas fue la baja capacidad de prevención y respuesta ante eventos extremos. En consecuencia, el préstamo incluyó entre los mecanismos activadores del programático II la implementación de un protocolo de sequía para la cuenca del río Santa Lucía.

En ese marco de colaboración, y en coordinación con DINAGUA y OSE, se seleccionaron el sistema de agua potable del área metropolitana de Montevideo y el arroyo San Francisco (Minas) como prioritarios para desarrollar estos protocolos. Además, estos fueron los sistemas priorizados en la elaboración del **Protocolo Nacional de Sequía redactado en 2023** bajo el auspicio del BID de acuerdo con los criterios de: usos existentes, origen del recurso, organización de la cuenca e intereses sobre el recurso.

2 Objeto del documento y proceso de trabajo

2.1 Objetivo del documento

El estudio propuesto busca **definir** el procedimiento de trabajo detallado o **Protocolo Específico de gestión ante Sequías (PES) para dos Unidades de Gestión de Sequías (UGS)**. Este documento, entregable n°3, responde a los siguientes objetivos específicos:

- **Construir consensuadamente el conjunto de escenarios alternativos** de trabajo factibles o exploratorios para poder comparar con el escenario base.



- Correr las diferentes alternativas, determinar los valores de las variables clave y los niveles de servicio del abastecimiento y **analizar los resultados de forma comparada entre alternativas y con el escenario base** del diagnóstico.
- Definir los **escenarios objetivo** de ambas UGS y determinar para cada una el **indicador clave de escasez coyuntural**, umbrales y estados de sequía.
- Proponer un **protocolo de operación o gestión de sequías** en cada UGS para el escenario objetivo actual.

Según lo establecido en los términos de referencia y recogido en la oferta presentada los trabajos contratados se distribuyen en seis actividades:

- A1. Determinación de la situación de base de la UGS San Francisco.
- A2. Determinación de la situación de base de la UGS Metropolitana de Montevideo.
- A3. Contribuir a la definición y modelación de escenarios en la UGS San Francisco.
- A4. Contribuir a la definición y modelación de escenarios en la UGS Metropolitana de Montevideo.
- A5. Propuesta de protocolo específico de sequía de la UGS Metropolitana y UGS San Francisco.
- A6. Recomendación de ajustes para el Protocolo Nacional.

En el apartado de entregables se establece que el segundo (presente documento) consistirá en el **Informe Análisis de Alternativas y Protocolo del Escenario Objetivo** de ambos sistemas, incluyendo el desarrollo de las actividades A3, A4 y A5 anteriormente descritas. En concreto, el contenido de este documento es:

- Caracterización sistematizada de cada uno de los escenarios trabajados.
- Análisis de aspectos clave del trabajo realizado por el experto modelista internacional.
- Ficheros de cálculo completos (inputs i outputs).
- Análisis de resultados de cada escenario simulado respecto al escenario base.
- Caracterización del escenario objetivo añadiendo recomendaciones para la operación de las infraestructuras.
- Protocolo conjunto de gestión de las infraestructuras de regulación y captación de los sistemas de abastecimiento clave en cada UGS analizada en función del estado de las reservas.
- Curvas guía o umbrales en el escenario objetivo.
- Material para la presentación final de resultados en público (taller de presentación, validación y capacitación).
- Actas de las reuniones.

2.2 Tareas desarrolladas

Las **tareas desarrolladas** en esta etapa, duplicadas para UGS Metropolitana y para UGS Minas, han sido:

- **Taller virtual de:**
 - a. Exposición de resultados al Comité de Seguimiento y posibles usuarios.



- b. Consenso con los responsables del seguimiento del estudio sobre los niveles de riesgo asumibles en cada sistema.
- c. Debate y generación de los escenarios de simulación de interés para cada UGS:
 - Series de oferta distintas a la registradas. Valoración del uso de series alteradas con cambio climático que hayan sido ya desarrolladas para Uruguay.
 - Incorporación y caracterización de nuevas infraestructuras permanentes o temporales de generación de oferta.
 - Variaciones asumibles de demanda a corto - medio plazo.
 - Variaciones de reglas de operación en conjunto del sistema o por subsistema en cada UGS.
 - Variación de las limitaciones ambientales.
 - Posibilidad de limitantes o cambios infraestructurales.
- Cierre del consenso con los usuarios de los escenarios a simular a través de la combinatoria de las variables anteriormente estudiadas en el taller anterior.
- Adaptación de las series de aportaciones alteradas que puedan aproximar los cambios en la respuesta hidrológica ante el cambio climático de las cuencas aportantes a cada UGS.
- Revisión de la distribución de los volúmenes para abastecimiento (recursos locales complementarios) y otros en cada escenario alternativo.
- Coordinación de la generación de los ficheros modificados del modelo de simulación respecto a los valores base por parte del experto externo.
- Supervisión de la generación de resultados del modelo para cada uno de los escenarios de estudio de cada UGS.
- Presentación de resultados de las simulaciones, comparativamente con el escenario base en cada UGS:
 - Probabilidades de ocurrencia de escenarios extremos y riesgos de sequía operativa.
 - Garantías y estadísticos del nivel de servicio de los caudales ecológicos y las demandas, individuales y agrupados por infraestructura, abastecimiento de agua potable, etc.
 - Diferencias comparativas entre escenario simulado y base o entre escenarios de la misma familia.
- Supervisión de la generación de las variantes de los escenarios anteriores que hayan podido surgir de la presentación de los resultados parciales y el debate con los responsables del proyecto.
- Análisis comparativo de alternativas y determinación de conclusiones sobre todos los resultados obtenidos en cada UGS.
 - Niveles de riesgo en que puede incurrir el sistema y las garantías ambientales.
 - Seguridad hídrica de los usuarios de abastecimiento.
 - Nivel de cumplimiento de acuerdos locales sobre la distribución del agua.
 - Prioridades de los usos y su satisfacción.
 - Recomendaciones para la operación de las infraestructuras.



- Determinación del escenario técnico deseado u objetivo para definir el protocolo óptimo de gestión de cada USG para superar los episodios de sequía convenidos.
- Se supervisará que el modelo numérico quede establecido para poder conectarse en el futuro con nuevas infraestructuras o demandas previstas.
- Construcción del protocolo específico de gestión de sequías (PES) en función del estado de las reservas o de las masas de agua en cada UGS.
- Determinación de las curvas de garantía o umbrales guía para los operadores del abastecimiento en el escenario objetivo de cada UGS.
- **Taller presencial** para presentación de resultados, ajuste y validación de los PES.
 - a. Exposición de resultados al Comité de Seguimiento y posibles usuarios y grupos de interés.
 - b. Debate y ajustes al PES de cada UGS.
 - c. Supervisión de la entrega de los ficheros del modelo, tanto de la situación base como de los escenarios alternativos creados, al equipo técnico definido por el cliente, tarea que realizará el experto modelista externo.
 - d. Generación de contenidos divulgativos (pptx) para la exposición de los PES de ambas USG a grupos de interés más amplios.
- Incorporar en el redactado del informe el reporte y comentarios clave del experto modelista externo.

2.3 Información consultada

En el desarrollo de los trabajos se ha recibido múltiple información por parte del BID, DINAGUA y OSE, que ha sido organizada en un repositorio. A continuación, se listan los estudios y documentos analizados para establecer las condiciones de partida de este análisis. La fecha es la de redacción del documento si se encuentra identificada en el mismo y, el origen hace referencia a qué entidad suministró el documento.

Tabla 1 Documentos e información analizada. La lista contempla todos los documentos consultados en este proyecto. Hasta la *referencia 24* se trata de información disponible en la etapa anterior de diagnóstico y, a partir de la *referencia 25* son documentos facilitados posteriormente.

ID	Documento/Ficheros	Fecha	Origen
Ref. 1	Datos de la cuenca: -Datos observados en 5 estaciones de aforo (datos diarios desde 1980). -Datos de simulación mensuales desde 1980 realizados con modelo Témez (3 ficheros xlsx) con memoria del balance hídrico del plan nacional de gestión integrada de recursos hídricos con adaptación al cambio climático en Uruguay – Planagua. -Datos simulados diarios con modelo <i>Wflow</i> desde 2009 a 2019. -Datos mensuales simulados con Ribasim de 2009 a 2019.	18/10/24	DINAGUA



ID	Documento/Ficheros	Fecha	Origen
	-Capas GIS: cuencas, red fluvial y red de estaciones hidrométricas. -Información sobre el proyecto Euroclima (5 ficheros pdf). -Indicador de sequía: <i>SPI-3_estaciones.xlsx</i> -<i>Plan de Cuenca del Rio Santa Lucía.pdf</i>		
Ref. 2	Planificación OSE: -“Selección de la alternativa para el aseguramiento del abastecimiento de agua potable al sistema metropolitano”, 2013 (Aguasur) (5 ficheros pdf) -“Estudio y Recomendación de la Alternativa más conveniente para asegurar el Abastecimiento de Agua Potable para el Sistema Metropolitano”, 2017 (Seinco y H&S). Alternativa de Casupá. (1 fichero pdf)	23/10/24	BID
Ref. 3	Plan de contingencia de Minas: -<i>Plan de Contingencia Sequia Minas.pdf</i> -<i>Informe Sequía en Lavalleja.pdf</i>	23/10/24	OSE
Ref. 4	Planificación OSE: -Plan Director -IPA Proyecto de Factibilidad de Neptuno (Arazatí) volúmenes 1 a 5 en pdf. -<i>Protocolo de contingencia en caso de Déficit Hídrico de la cuenca del Río Santa Lucía.pdf</i> -<i>Protocolo de contingencia en caso de crecidas del Río Santa Lucía.pdf</i> -PSA Minas (9 ficheros pdf) -PSA Montevideo (7 ficheros pdf) Otros documentos de caracterización del evento de sequía y datos de interés: -<i>Emergencia Hídrica Sistema Metropolitano 2023.pdf</i> -<i>Historico Niveles Severino Canelon Gde y AACC .xlsx</i> (datos diarios desde 17/01/1989) -<i>Comunicado 28 de Febrero de 2023 reiteración exhortación en Ciudad de Minas relativas a Usos del Agua Potable.pdf</i> -<i>2023.03-Plan de Reduccion de presiones-v1.pdf</i>	25/10/24	OSE



ID	Documento/Ficheros	Fecha	Origen
	<i>-Plan de gestión de presiones Sub Gerencia de Aducción.pdf</i> <i>-Plan de reducción de presiones de la red de agua potable de MVD para limitar el consumo frente al déficit hídrico-vf.pdf</i>		
Ref. 5	Actas de la Comisión Asesora durante el episodio de sequías de 2023 (6 ficheros pdf con las minutas de las reuniones).	29/10/24	BID
Ref. 6	<i>Encuesta Recursos Hídricos_06-06-2024_AUA.pdf</i>	29/10/24	BID
Ref. 7	Datos de evaporación en la zona: <i>TanqueA-LB-mm_dia-1988-2021.xls</i> (ampliado a 2024)	30/10/24	DINAGUA
Ref. 8	Informe hidrológico de la sequía 2022-23: <i>boletin_especial_periodo_20202023_fecha_21_2_2024.pdf</i>	30/10/24	DINAGUA
Ref. 9	Registros de Evolución de Consumos mensuales de área Metropolitana y específico de Montevideo desde enero de 2016 hasta septiembre 2024. <i>- 2024.09-Evolucion del consumo de agua de Montevideo y Sistema Metropolitano.xlsx</i>	31/10/24	OSE
Ref. 10	Presentación pptx sobre Usina Aguas Corrientes e infraestructura principal del sistema.	01/11/24	OSE
Ref. 11	Informe histórico sobre registros de nivel en la presa Maggiolo del A° San Francisco: <i>- 0032_10_informes uso presa SF firmado.pdf</i>	07/11/24	OSE
Ref. 12	Planos originales de la presa Ing. Maggiolo en el A° San Francisco (8 ficheros pdf)	07/11/24	OSE
Ref. 13	Información sobre caudales ambientales: <i>- Regionaliza_2019_07.pdf</i>	11/11/24	DINAGUA
Ref. 14	Información sobre el acuífero Raigón (5 ficheros): <i>- AlfonsoFlaquer_ModelaciónNuméricaDelSAR.pdf</i> <i>- Carta Mapa Hidrogeológico - Raigon A0.pdf</i> <i>- Carta Vulnerabilidad - Raigon A1.pdf</i> <i>- Informe Final FPTA307 - Gestión Ambiental del Acuífero Raigón.pdf</i>	11/11/24	OSE



ID	Documento/Ficheros	Fecha	Origen
Ref. 15	5 ficheros relacionados con la caracterización de la demanda e infraestructura de distribución asociada: - <i>Abastecimiento e Interconexiones LBs.docx</i> - <i>F-AyS-001 Planilla inundación transvase San José.xlsx</i> - <i>Resena bombeo de trasvase de l a cuenca del rio San Jose .docx</i> - <i>Resumen de las acciones tomadas para el control de presiones sobre la Red Aductora del Sistema Metropolitano.pdf</i> - <i>Unknown.pdf</i> (imagen de las áreas de influencia de cada línea de bombeo)	12/11/24	OSE
Ref. 16	Datos de la planta de Aguas Corrientes: -Bombeos por fuente (partes diarios): 155 ficheros tipo "<i>Consumo y Reservas MesX AñoY.xlsx</i>" entre enero de 2011 y noviembre de 2024, con datos diarios. -Bombeos trasvase San José a Belastiquí: 157 ficheros diarios tipo "<i>DíaX.mesY.Planilla trasvase río San José.xlsx</i>" con datos horarios entre el 10 de octubre de 2023 y el 14 de marzo de 2024. -Curva Embalse de Paso Severino, tres ficheros de nombre: <i>Cota vs volumen y Area represa P. SeverinoProyecto Original.docx</i>, <i>Tabla volumen es Severino completa debajo de cota 36.xlsx</i> <i>Batimetria Severino año 2015.pdf</i> -Curva Embalse Canelón Grande, dos ficheros de nombre: <i>CurvaH-V-S-CanelónGrandeOriginal.jpg</i> <i>Curva h-V Canelon Grande segun vuelo 2023.xlsx</i>	12/11/24	OSE
Ref. 17	Ficheros de caudales diarios restituidos con el modelo <i>wflow</i> : - <i>wflow_diario.xlsx</i> (Sata Lucía para AMM) - <i>wflow_pes_minas.xlsx</i> (Subcuencas Minas)	18/11/24	OSE
Ref. 18	Series decenales (10 días) de caudales en los puntos de interés del río Santa Lucía y A° SF modelizados con el modelo <i>Ribasim</i> con los usos actuales: - <i>Series_RIBASIM_2009-2019.xlsx</i>	21/11/24	DINAGUA /IMFIA



ID	Documento/Ficheros	Fecha	Origen
Ref. 19	Informe OSE de análisis de la demanda esperada en AMM a corto y medio plazo: <i>-2024.11-Demanda esperada 2025 y 2035.pdf</i>	22/11/24	OSE
Ref. 20	Actualización serie de aportes diarios en los puntos de interés con el modelo Wflow entre 1991-2024 sobre los ficheros anteriores	29/11/24	DINAGUA
Ref. 21	Ficheros producción de agua en Minas según fuentes existentes: <i>-2020.xlsx, 2021.slsx, 2022.slsx y 2023.xlsx.</i> - Informes de balance anual del sistema Minas: <i>-CB Minas 2021.pdf, CB Minas 2022.pdf y CB Minas 202.pdf</i>	29/11/24	OSE
Ref. 22	<i>Total de m3 por línea 2016 – 2024.xlsx</i>	02/12/24	OSE
Ref. 23	Fichero consolidado de datos diarios de aportaciones en Aguas Corrientes y registros de salida de los embalses de Canelón Grande y Paso Severino: <i>-2019-2024-Aportaciones cuenca AACC.xlsx</i>	04/12/24	OSE
Ref. 24	Fichero de registro de demandas mensuales por usos en la red de AMM: <i>-2017-2024-m3 industriales.xlsx</i>	10/12/24	OSE
Ref. 25	Datos de salida del Ribasim: <i>-AACC-P.Severino-CanelonG-1988-2023.xlsx</i> <i>-Demandas_NO_Metropolitanas.xlsx</i> <i>-Demandas_NO_Metropolitanas.xlsx</i>	17/12/24	UdelaR
Ref. 26	Salidas Ribasim sin simular regulación de presas: <i>-Q_salida_Severino_Canelon.xlsx</i>	20/12/24	UdelaR
Ref. 27	Análisis curva de gastos en estaciones hidrométricas y aforos <i>in situ</i> antes y durante el evento <i>-aforos_117_pasoroldan.xls</i> <i>-aforos_133_santalucia_R11.xls</i> <i>-aforos_440_fraymarcos.xls</i> <i>-aforos_591_pasopache.xls</i> <i>-resAFOROS0440.xls</i> <i>-resAFOROS1150.xls</i>	10/01/25	DINAGUA



ID	Documento/Ficheros	Fecha	Origen
	-resAFOROS1170.xls -resAFOROS1190.xls -resAFOROS1330.xls		
Ref. 28	-Historico Niveles Canelon Gde .xlsx	14/01/25	OSE
Ref. 29	-Informe Minas Viejas.pdf	03/02/25	OSE
Ref. 30	Anexo de hidrología y clima del proyecto de la presa del Arroyo Casupá: -OH2260-7-HI-AX2-Hidrolo_Clima-Ed01.pdf	03/02/25	OSE
Ref. 31	Aportes en las nuevas presas de las alternativas -wflow_diario_1988-2025.xlsx	06/02/25	DINAGUA
Ref. 32	Aportes simulados con Ribasim a partir de escenarios climáticos futuros: ESC3 es reducción del 5% de la precipitación y aumento del 10% de la evaporación y el ESC4 es el denominado Niña Perpetua. -Series_RIBASIM_ESC3.xlsx -Series_RIBASIM_ESC4.xlsx	07/02/25	UdelaR
Ref. 33	Evolución de las demandas servidas desde AACC, previsiones para la próxima década, análisis de picos de calor y actualización de los aportes en la captación hasta 2025. -2025.01-Evolucion del consumo de agua de Montevideo y Sistema Metropolitano.xlsx -Total de m3 por línea 2016 - 2024-v2.xlsx -2022-2025-Aportaciones cuenca AACC.xlsx -Incremento de consumo por ola de calor en períodos secos.docx	11/02/25	OSE
Ref. 34	Evolución de la facturación mensual por tipologías de clientes de 2017 a 2025. - 2017-2025-m3 FACTURACIONs.xlsx	18/02/25	OSE
Ref. 35	Estudio definitivo para la obra de captación de agua y estación de bombeo definitiva del río San José para trasvase al río Santa Lucía. -Informe de analisis hidrológico 15 diciembre 23.docx	28/02/25	OSE
Ref. 36	Evolución del agua no contabilizada respecto a la facturada.	05/03/25	OSE



ID	Documento/Ficheros	Fecha	Origen
	-Gráficas lineales Año Móvil - Metropolitana a Nov-24.pdf -Reporte Año Móvil - Metropolitana a Nov-24.pdf		
Ref. 37	Detalles de la hidrología del proyecto de Casupá, caudales de diseño y régimen de explotación esperado. -3-OH2260-4-HI-AX-Modelo_Gestion_Embalse-Ed1.pdf -Aportes_Casupá_TYPSA.xlsx	06/03/25	OSE
Ref. 38	Análisis de la consistencia de los caudales del Arroyo Casupá según los registros históricos -CAUALES MEDIOS ESPECÍFICOS crsl.docx	07/03/25	DINAGUA
Ref. 39	Aportes Ribasim del San José en la ubicación de la posible presa Rincón de Carballo. -Q_ribasim_RinconCarballo.xlsx	18/03/25	DINAGUA
Ref. 40	Niveles diarios del río Santa Lucía aguas arriba y aguas abajo de la presa de captación de AACC. -Nivel río AA y Aa en epoca de sequía - 2022-2023.xlsx	25/04/25	OSE

Dentro del proceso de elaboración del informe se han mantenido múltiples reuniones con los especialistas del BID y de las entidades implicadas en la comisión de seguimiento, DINAGUA y OSE, prácticamente de carácter semanal. Las **actas** clave de las reuniones se recogen en el **anexo n°1**. Como cierre de la etapa de diagnóstico e inicio de la etapa de análisis de alternativas, se procedió a realizar una serie de reuniones específicas (taller virtual según el cronograma original) para poder debatir y consensuar los escenarios alternativos a modelizar y caracterizarlos adecuadamente. Esa primera versión de los escenarios definidos se encuentra en una presentación de cierre del 2 de febrero en el **anexo n°2**.

Finalmente, se realizó una **segunda misión de los especialistas a Montevideo entre el 10 y el 13 de marzo** del presente año, cuando se realizaron talleres de presentación de los resultados, ajustes y nuevas corridas de variantes de los escenarios consensuados inicialmente. Los detalles de la agenda de esta misión se recogen en la **tabla n°2**. Las **reuniones** también recogieron ámbitos de divulgación de los trabajos realizados y los resultados para otras instituciones vinculadas a la gestión de sequías que no estaban participando del día a día del desarrollo de los trabajos. Las **presentaciones** utilizadas en la misión se recogen en el **anexo n°3**. Finalmente, en un ambiente de gran colaboración e interés por parte de los equipos de OSE y de DINAGUA, se mantuvieron charlas más allá de la visita para incorporar nuevas variantes y ajustar al máximo el producto final, el protocolo de gestión de sequías del escenario actual hasta fines del mes de marzo¹.

¹ NOTA a la versión 2 de este documento: con posterioridad al cierre del documento en marzo de 2025, se han venido haciendo pequeños ajustes especialmente centrados en la validación y mejora de datos de aportaciones del río San José y la actualización de datos durante el 2025 para reflejar el funcionamiento actual del sistema Metropolitano.



Tabla 2 Contenido de las reuniones y talleres de la semana de misión de cierre iniciada el 10/03/25

	Día 10/03	Día 11/03	Día 12/03	Día 13/03
9:00-13:00	Reunión de coordinación con el financiador BID	Sesión de trabajo n°1 Alternativas ESC25 y debate Alternativas ESC35 y debate <i>Comité de Seguimiento</i>	Sesión de trabajo n°2 Resultados de variantes, discusión y propuesta PES PNS y nuevas UGS <i>Comité de Seguimiento</i>	Presentación de resultados y cierre de la misión <i>Comité de Seguimiento + resto de instituciones implicadas: INUMET, SINAE, MGAP, MEF.</i>
Almuerzo				
15:00-17:00	Presentación Inicial de la Misión: estado de situación y agenda <i>Comité de Seguimiento</i>	Trabajo interno de la consultora corriendo y analizando las nuevas variantes	Requerimientos para la implementación de los PES en las UGS <i>Comité de Seguimiento</i>	Sesión sobre la implementación del protocolo <i>Equipos técnicos</i>
17:00-19:00			Reuniones individuales con responsables técnicos de las instituciones	Reunión de cierre con el financiador - BID



3 Resumen del diagnóstico y escenario base

3.1 Escenario de partida del sistema Metropolitano

Los aportes medios del río Santa Lucía a la altura de la presa de Aguas Corrientes (AACC) del periodo de 33 años comprendidos entre los años hidrológicos 1991/92 a 2023/24, ascienden a 4.266 hm³ anuales. La media de los últimos 5 años presenta un descenso del 35% hasta 2.789 hm³ anuales. En la figura siguiente se muestran los valores anuales, el promedio del periodo y las medias móviles a 5 y 10 años.

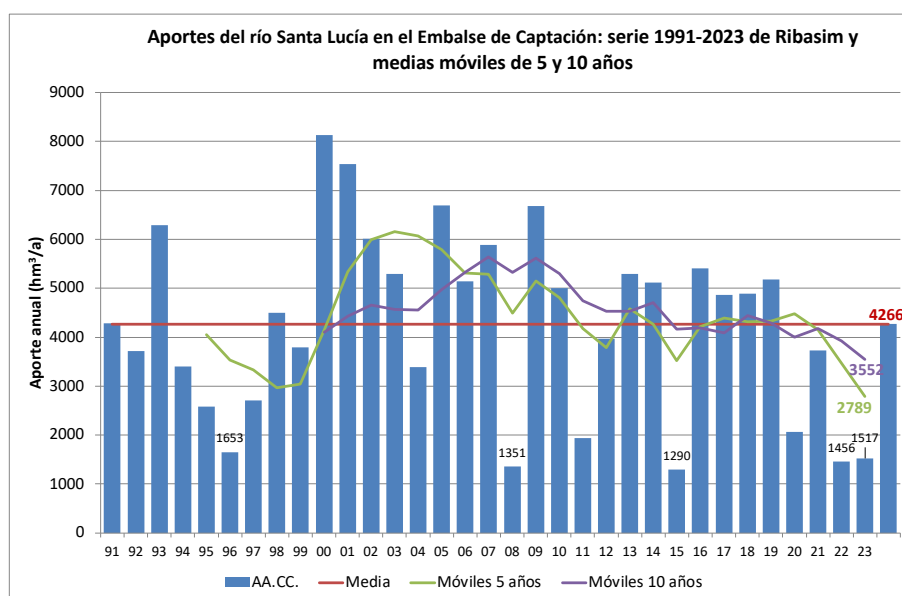


Figura 1 Serie de aportes en AACC de la serie naturalizada (sin regulación) pero con demandas intracuenca descontadas (serie Ribasim).

La serie de aportes hidrológicos empleada ha sido la generada con Ribasim®, facilitada por DINAGUA con carácter general y homogéneo para la cuenca, donde se han utilizado las aportaciones naturales en las diferentes subcuencas generadas por el modelo hidrológico Wflow® y se han substraído las demandas concedidas o licenciadas en cada tramo. Para caracterizar la demanda se han usado los datos facilitados por OSE, que en el caso del área metropolitana han sido datos de registro de niveles y volúmenes de embalses y producción de agua en Aguas Corrientes a nivel diario desde enero de 2019 en adelante. También se ha dispuesto del agua facturada mensual por sectores en Montevideo y el Departamento de Lavalleja desde el año 2017 y del agua elevada por cada línea de impulsión desde Aguas Corrientes a nivel mensual desde inicio del 2016.

La consultoría ha recopilado toda la información del evento 2022-23, los datos hidrológicos más actualizados del río Santa Lucía y los datos de gestión de los sistemas Metropolitano y Minas, en especial los registros internos del evento. Asimismo, se ha implementado un modelo de gestión de recursos hídricos para poder analizar el evento pasado y simular situaciones futuras.

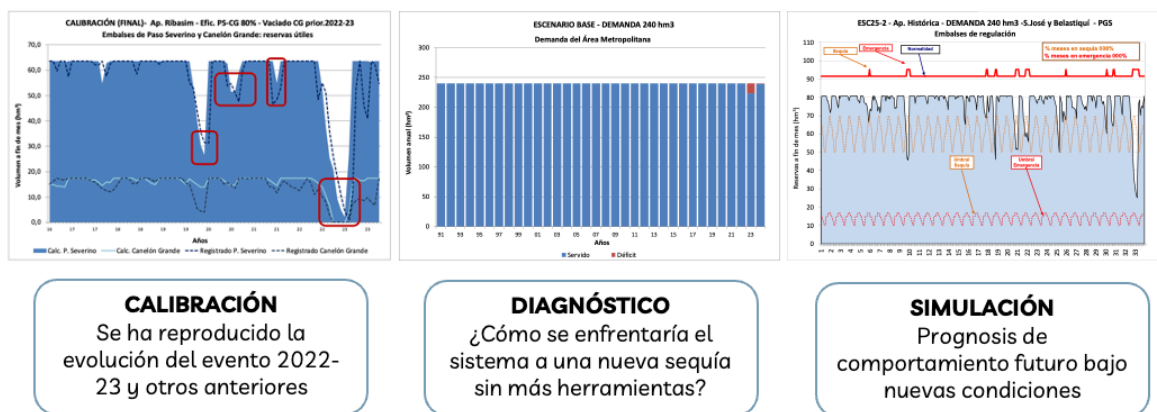


Figura 2 Etapas del trabajo realizado con la modelización numérica de recursos hídricos.

En una primera etapa, se ha procedido a **calibrar el modelo numérico** para reproducir los efectos de la última sequía. Para un correcto proceder, se han caracterizado también el funcionamiento de las infraestructuras que se utilizaron en emergencia en Metropolitana, la captación de aguas del río San José, en Paso Valdez y el dique de represamiento del remanso del río de la Plata en Belastiquí. En esta etapa se requirió ajustar los aportes en aguas bajas, ya que el sistema utilizado por DINAGUA para generar series continuas de caudales, sobrevalora los caudales menores. Para ello se procedió con diversos métodos de ajuste. Un primer método fue reducir drásticamente hasta un 70% en menos los aportes inferiores al percentil 20, es decir aquellos caudales diarios superados el 80% del tiempo. Si bien se lograba un correcto ajuste de las sequías más intensas vividas en los últimos años, se carecía de evidencias de estos porcentajes de ajuste a través de los registros directos en las estaciones de medida, ya que los valores obtenidos durante la sequía en su mayoría presentaban problemas: estaban fuera de rango de medición, punto de medida afectado por remansos, curva de gasto en error equivalente a la magnitud de la medida, etc. Se procedió a utilizar un segundo método de ajuste para conseguir la calibración: **aplicar una ineficiencia de uso a los volúmenes desembalsados para AACC desde las presas de Paso Severino y Canelón Grande**, reproduciendo de esa manera los desajustes naturales que se generan entre la definición de una nueva consigna de desembalse desde la planta de AACC, la maniobra de desembalse, el tiempo de tránsito, las oscilaciones en el río y en la misma toma de AACC y los errores de medida existentes. El valor de eficiencia elegido fue 80%. Los resultados han sido muy satisfactorios para el sistema Metropolitano. En la **Figura 3** se muestra el ajuste en el periodo de los últimos 8 años con presencia de varias sequías, también la 2022-23.

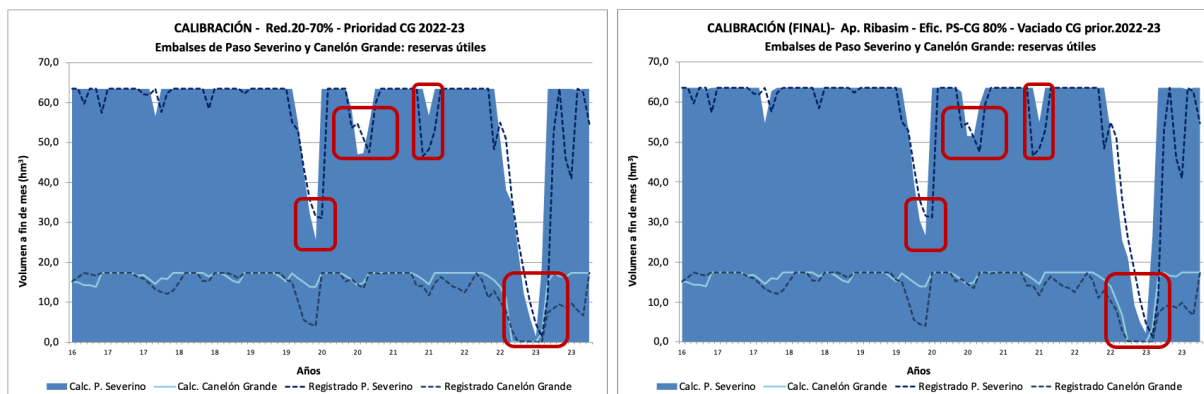


Figura 3 Ajustes de la calibración con las dos metodologías comentada en la evolución de reservas.



También se comprobó que el ajuste no solamente representara una evolución similar de las reservas embalsadas en Paso Severino (PS) y Canelón Grande (CG), sino también replicara la regla de explotación con la que ha operado AACC. En la siguiente figura se compara el mix del agua producida en la planta de AACC en función de su origen. Para realizar ese cálculo tanto en la simulación como en el registro real se han etiquetado los diferentes orígenes del agua a través de algoritmos. Sabiendo que hasta 2021 se había priorizado primero vaciar Paso Severino y luego Canelón Grande y que esta regla se había invertido en la última sequía (2022-23), se dio ese cambio de prelación de agua servida en el modelo de simulación. Los resultados son congruentes como se puede observar en la **Figura 4**, aunque los trasvases de registros y de modelo no son iguales, porque el modelo solo lo usa en estricta necesidad. La priorización de CG no siempre ha sido la última en agua regulada.

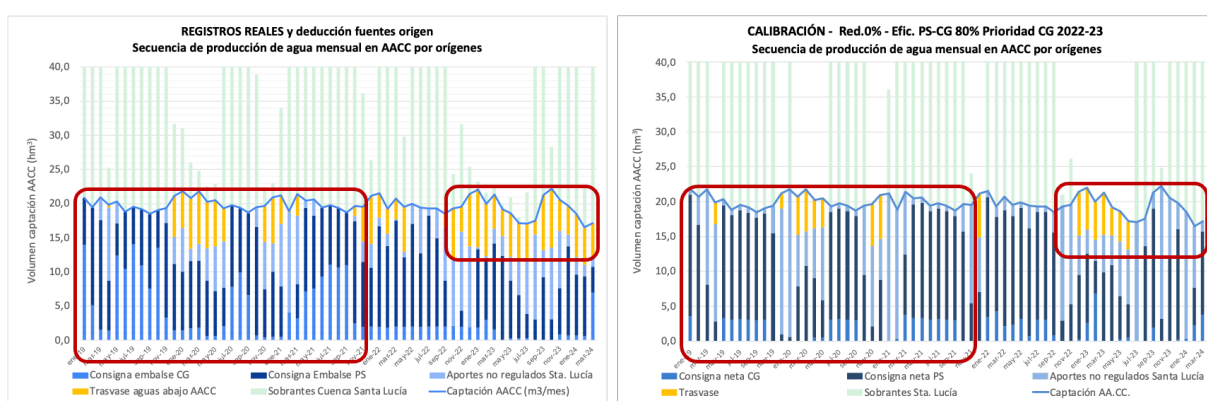


Figura 4 Orígenes del agua captada en AACC a nivel mensual desde 2019 hasta 2024. A la izquierda se muestran los registros reales, y a la derecha la simulación con el modelo de GRH.

Posteriormente, una vez calibrado el modelo, se ha procedido a hacer el **diagnóstico del sistema**, valorando con paso mensual el nivel de garantía al que se puede aspirar hoy día con la infraestructura existente y las demandas esperadas para el 2025, una vez se recupere la demanda anterior al evento de sequía, y que se valora en una disponibilidad de agua bruta en la planta de Aguas Corrientes de 240 hm³ anuales. En el diagnóstico se asume un proceder normal de las captaciones y la regulación y no se incorporan las obras de emergencia. Incluso en el caso de no liberar los caudales ambientales previstos en la normativa, el **sistema de Metropolitano, con aportaciones equivalentes a las de la serie histórica, volvería a presentar déficits** en el peor episodio registrado, equivalente al 2022-23.

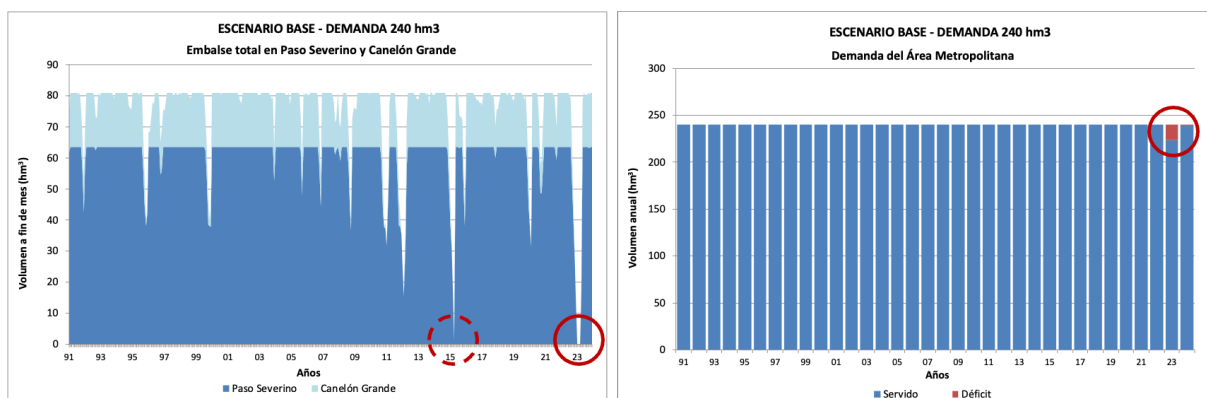


Figura 5 A la izquierda, evolución simulada de PS y CG con una vaciado en 2023 y una situación límite en 2015; a la derecha, la demanda servida o en su defecto el déficit (rojo) cada año.



3.2 Escenario de partida de ciudad de Minas

En el caso de Minas inicialmente se siguió el mismo procedimiento de calibración del modelo de gestión de recursos hídricos con la dificultad añadida de que no existen registros continuos de la evolución del embalse de Maggiolo. A través de los actuales responsables de la gestión del abastecimiento de la Ciudad de Minas se consiguió tener un registro casi diario de la evolución de las reservas y la producción mensual de la usina Maggiolo, así como de los aportes mensuales de pozos y el agua generada por las UPA's desde la usina de respaldo en Campanero (agua del Santa Lucía) en todo el episodio de 2022-23. Eso permitió reconstruir el balance a nivel diario, prorrateando la demanda y las producciones de cada origen, y asumiendo la serie de aportes original del modelo Wflow tanto para los caudales entrantes en la presa Maggiolo como los fluyentes en el Santa Lucía a la altura de la toma de las UPAs en el área del camping de cerro Arequita.

A través de informes históricos de otras sequías anteriores, se pudo tener dos series más de registros de Maggiolo:

- Un episodio en 1991, donde constaba una demanda mayor a la actual, equivalente a 4,14 hm³ anuales.
- Otro episodio con registros entre inicios de febrero de 2010 a mayo de 2013, donde la demanda también era distinta, de 3,12 hm³ anuales, valor que había disminuido desde los noventa, pero era superior a los valores actuales en la ciudad.

Gracias a la disponibilidad de caudales diarios, se construyó un modelo de balance en excel a nivel diario que permitía reproducir los procesos de vaciado de las tres secas. La demanda en todos los casos se ajustó a los valores anuales que se estaban sirviendo, prorrateando a nivel diario.

Como había ocurrido en el caso del sistema Metropolitano, los caudales de Wflow sobrevaloran la disponibilidad del recurso natural en caudales de estiaje o muy bajos, algo que se ha magnificado en Minas donde podrían estar influyendo, además de los efectos de *downscaling* a los puntos de interés que se encuentran muy lejos del área de influencia de los pluviómetros de calibración del modelo hidrológico. En definitiva, estamos usando una información con mucho error asociado, error que proporcionalmente es mayor en caudales bajos. Por eso, se procedió a aplicar la reducción de caudales aportados a partir de un percentil del caudal diario.

Tal como se aprecia en la **figura 6**, tras diversas pruebas, el mejor ajuste se consiguió con una reducción al 30% de las aportaciones a partir del percentil 30, es decir en los caudales que se superan el 70% del tiempo. Hay que tener en cuenta que las condiciones de la sequía 2022-23 se conocen perfectamente, por eso el ajuste es muy bueno, las condiciones del 1991 son simples porque solamente se aportaba agua desde Maggiolo y el ajuste vuelve a ser casi perfecto, mientras que en las secas de 2011 y 2012 ya funcionaban las plantas de la usina de respaldo, pero no se dispone de los datos aportados por estas instalaciones, con lo que es normal que la modelización empeore la evolución del embalse de Maggiolo respecto al registro real del mismo.

Posteriormente a este proceso de calibración, se adaptaron las condiciones en el modelo de gestión de recursos hídricos empleado también en Metropolitano, con paso mensual, para poder hacer el diagnóstico y el análisis de alternativas, y en ese caso los valores a partir del percentil 30 son reducidos hasta el 20% para mantener los ajustes de la calibración, pero a nivel mensual.

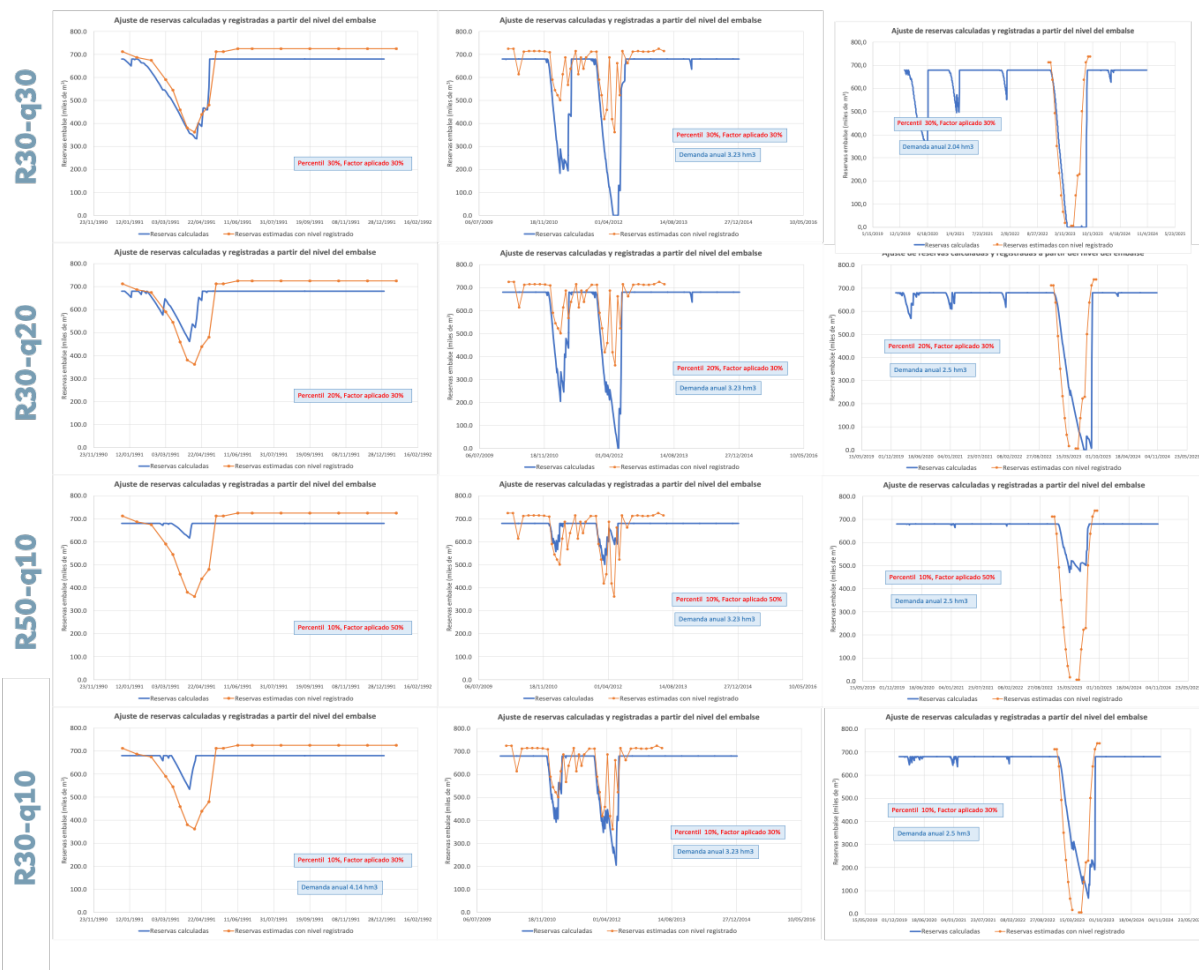


Figura 6 Tabla de gráficas de ajustes de las tres sequías registradas (columnas) con distintas hipótesis de reducción de aportaciones en régimen de aguas bajas o estiaje (filas), donde R es la reducción hasta el 30% o 50% de la aportación y q es el percentil del 10, 20 o 30 a partir del cual se aplica la reducción.

Los aportes en la presa Maggiolo para el período de estudio de 1991/92 a 2023/24, muestra un aporte promedio de 57 hm³ anuales, pero como ocurría en el global del Santa Lucía, los promedios de los 10 o 5 últimos años han empeorado, como se puede ver en la **Figura 7**. En este último caso con un 61% de los valores históricos, el promedio se sitúa en 35 hm³ anuales. Igualmente, en comparación con los 2,4 hm³ al año de consumo de la usina principal, esas aportaciones son suficientes y mucho mayores. ¿Qué pasa entonces en las sequías? Se puede observar en la **Figura 8** de aportes mensuales, como las variaciones mensuales son muy altas y tras un periodo no muy sostenido de reducción de precipitación, los caudales decaen drásticamente. Se reproduce muy bien la reducción drástica de aportes entre fines de 2022 y los primeros meses de 2023 que llevaron al vaciado del embalse Maggiolo. La alternativa utilizada en Metropolitana de aplicar una eficiencia en la toma no produce el efecto deseado de reducir drásticamente la disponibilidad y reproducir los registros de nivel de la presa en el último episodio de sequía.

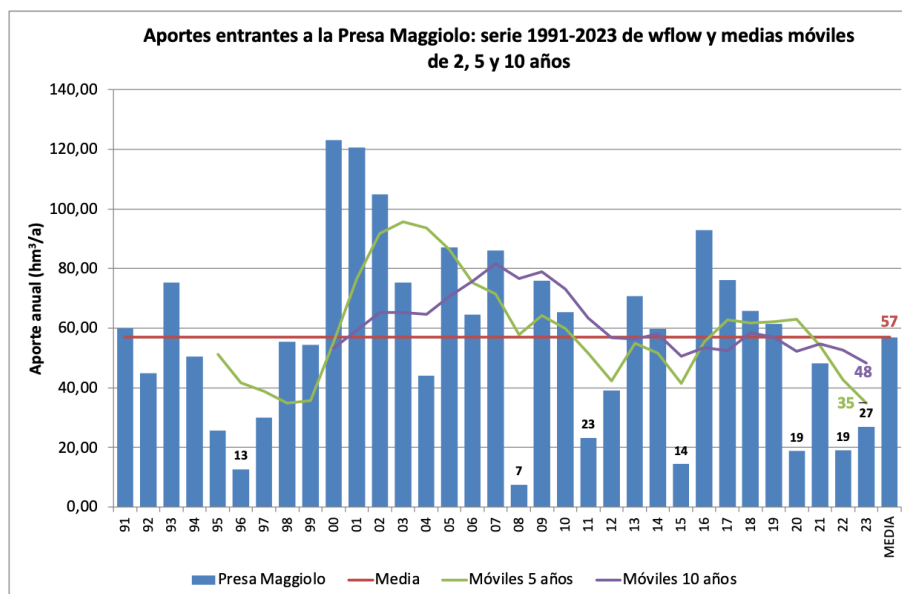


Figura 7 Serie de aportes en embalse Maggiolo de la serie naturalizada. Se presentan los datos anuales, promedio del periodo y las medias móviles a 5 y 10 años.

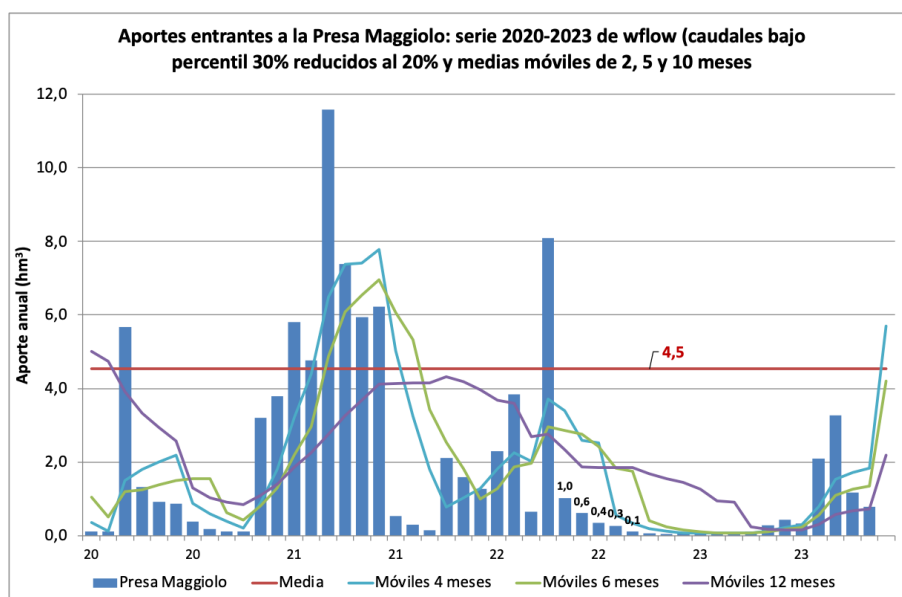


Figura 8 Aportaciones mensuales reducidas entre 2020 y 2023 con diversas medias móviles a 4, 6 y 12 meses.

En la calibración, más allá de repetir la evolución real registrada de las reservas, se han comparado la demanda servida discriminando el origen de los recursos en cada caso según el registro real llevado a cabo por el equipo de OSE y la simulación de aportación de cada fuente incorporada en el modelo de gestión de recursos hídricos. Como se puede ver en la **Figura 10**, el modelo presenta ligeras diferencias entre la disponibilidad de agua del A° San Francisco y los recursos de UPAs y pozos, pero en general se reproduce bien el proceso de distribución de fuentes. Hay que tener en cuenta que en la realidad se está poniendo en servicio agua de pozo permanentemente, mientras que el modelo en aras de ahorrar ese recurso, tal como tenía establecidas las hipótesis de prioridades en la etapa de calibración, servía toda a demanda desde Maggiolo si el embalse rebalsaba.

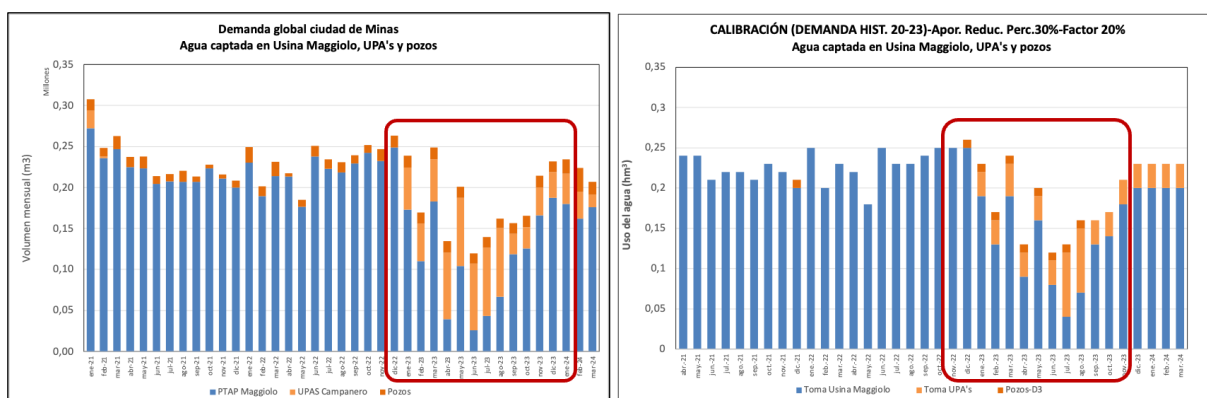


Figura 9 Orígenes del agua mensual captada en Minas, entre 2021 y 2024. A la izquierda los registros directos y a la derecha la simulación realizada.

Con el modelo ajustado se ha procedido a correr la serie completa de aportaciones históricas corregidas con la demanda y las infraestructuras actuales y la regla de operación existente, generando una evolución posible del sistema si se repitieran en el futuro los aportes históricos, diagnosticando el nivel de servicio del sistema. Con el protocolo actual que ya se aplica en Minas no habría fallo (gráficos izquierdos de la **Figura 10**).

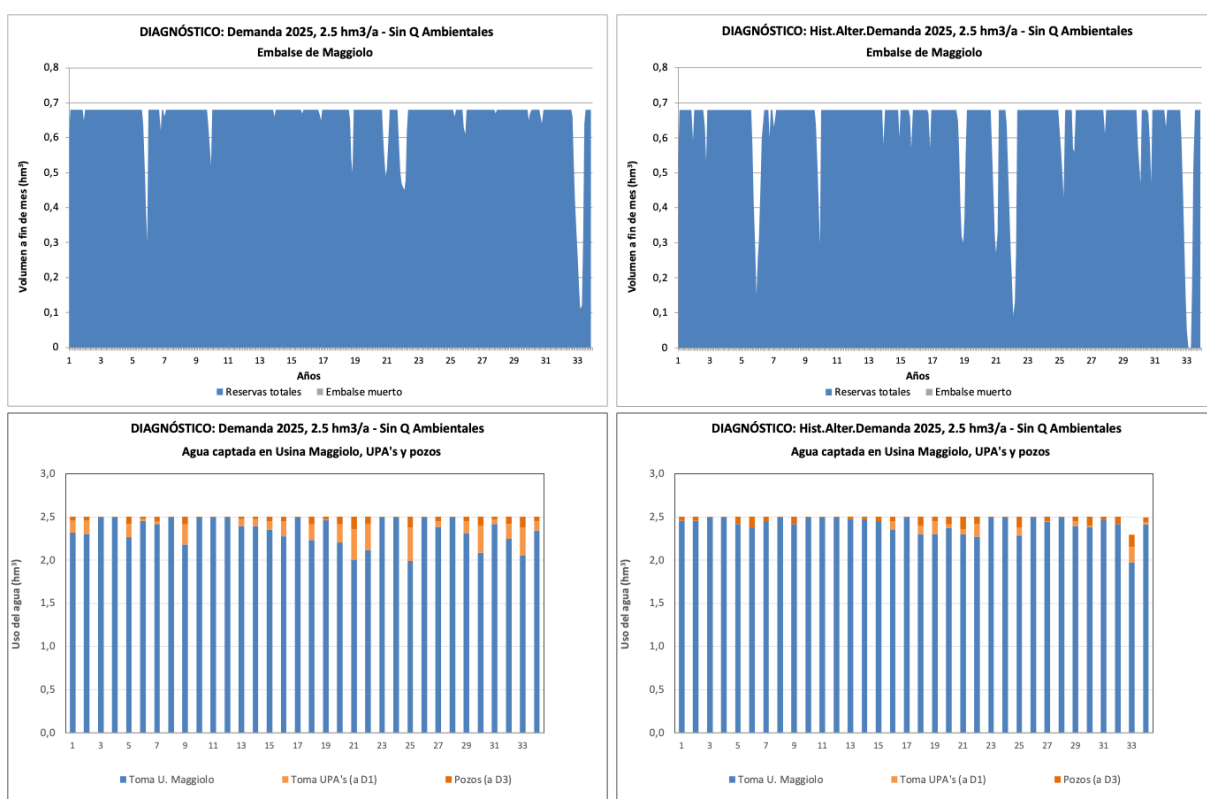


Figura 10 Dos simulaciones de diagnóstico del sistema de Mina. A la izquierda con la serie histórica corregida. A la derecha una aportación pesimista con un 10% menos de aportes de los que se han registrado históricamente. En la parte superior se representa la posible evolución mensual de las reservas en embalse Maggiolo y abajo la distribución de orígenes del agua o fuentes de la demanda total cubierta cada año.

No obstante, se somete a una serie alternativa de aportes un 10% menores que la histórica corregida, la que denominaremos serie pesimista. En ese caso, el volumen de Maggiolo volvería a pasar por el nivel nulo de reservas cuando llegara una situación de mínimos aportes



y, también se puede apreciar que las UPAs y el agua de pozo podría suplir en parte esa falta de recurso, pero se produciría un déficit importante, que parece que no se daría en ningún otro año de la serie. Por tanto, puede concluirse que el sistema tiene una seguridad inestable, a la merced de que pequeñas variaciones de las aportaciones ante un nuevo episodio de sequía pueden hacer inviable el servicio completo.

Los casos aportados en este apartado, tanto en UGS Metropolitana como en UGS Minas, representarían el **escenario de partida o diagnóstico** de comparación para el análisis de alternativas, siendo deficitarios en Metropolitana con la serie histórica de aportes y en Ciudad de Minas con una serie de aportes empeorada un 10%, **demostrando la vulnerabilidad de ambos sistemas ante sequías extremas como la vivida en 2022-23.**

3.3 Escenarios de análisis elegidos

Antes de iniciar el análisis de alternativas hay que definir adecuadamente el escenario de trabajo que se va a analizar. En el estudio se han definido dos escenarios de trabajo.

- Escenario actual o 2025.** Se aplican las demandas previstas para el presente año, se utilizan las infraestructuras existentes, se suman las obras de emergencia del último episodio de sequías y se realizan procedimientos de gestión de la demanda.
- Escenario consolidado o 2035** definido como aquél en el que transcurridos 10 años o más desde la actualidad, se han podido consolidar infraestructuras de carácter permanente que aporten nuevos recursos a los sistemas. En este caso la demanda proyectada es a 2035 o 2045 en función de las infraestructuras que se prevea incorporar.

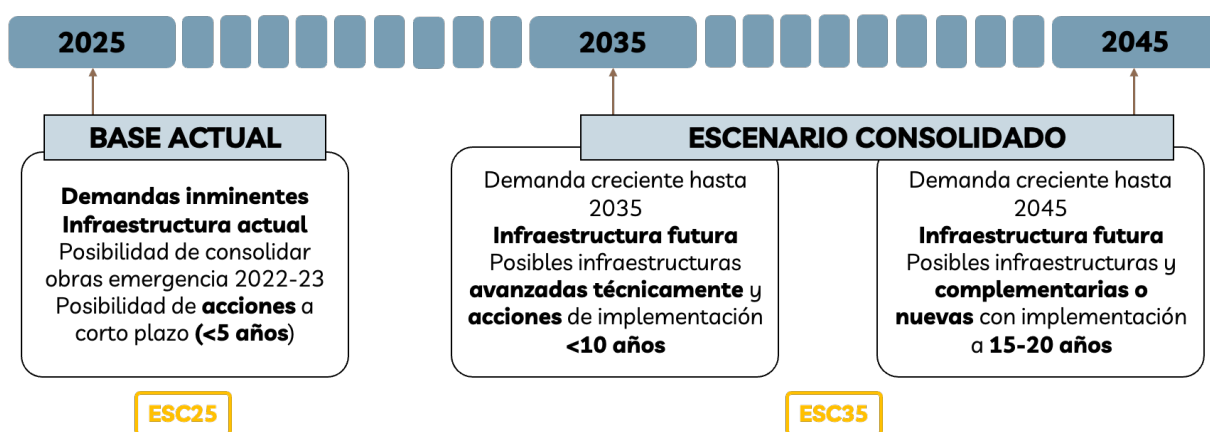


Figura 11 Horizontes o escenarios temporales de análisis.

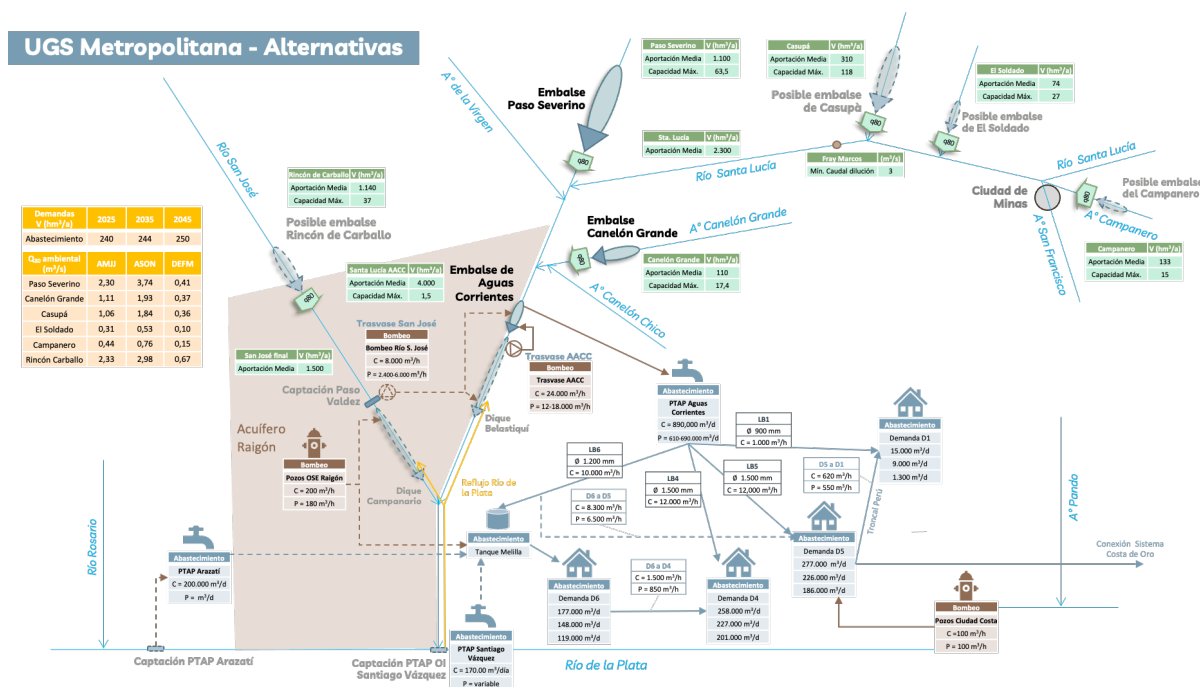


4 Caracterización de alternativas de trabajo en la UGS Metropolitana

4.1 Topología del modelo

4.1.1 Ajustes a la infografía

A medida que se desarrollaba la consultoría, se han encontrado errores e imprecisiones en la infografía original que ha sido necesario enmendar. La estructura final del esquema hidráulico ha recogido estos ajustes. En la **Figura 12** pueden leerse los datos clave de la red fluvial, las infraestructuras, consumos de cada aducción desde AACC y el volumen de agua aportada por cada infraestructura, capacidades de las presas, etc. También aparece un cuadro resumen de las demandas de abastecimiento anuales a varios horizontes temporales y los requisitos de caudal ambiental por cuatrimestres aguas abajo de las presas.



Posteriormente, en el **Anexo 4** se presenta la infografía a mayor detalle y con su correspondiente leyenda.

4.1.2 Topología modificada

El esquema del modelo también se ha alterado respecto el empleado en la etapa inicial, para dar cabida a todas las alternativas infraestructurales y reglas de operación que se han analizado en esta etapa de la consultoría. La topología del modelo representa el flujo del agua en la cuenca y la posición relativa de los embalses, tomas y demandas. Parte de la infografía, mostrada en el apartado anterior, sitúa los nudos y arcos geográficamente para facilitar la comprensión al lector.



Además de adecuarse a los cambios y ajustes ya propuestos en el nuevo flujograma que se representa en la infografía revisada, la simulación de determinados escenarios consolidados (2035) han requerido de ciertos añadidos al modelo, cuyo uso se comentará más adelante. En concreto los cambios se presentan en la **Figura 13 Esquema del modelo modificado para** . Se ha requerido:

- Modificar los arcos del nodo 32 que permite representar la complejidad (numérica) del sistema de trasvase desde aguas abajo de la presa de AACC.
- Ajustar las conexiones internas en el sistema de distribución de agua de Montevideo, arcos que permiten el trasvase de agua potable entre distritos de demanda.
- Añadir algunos nodos y arcos para incorporar todas las posibles nuevas infraestructuras que se evaluarán en este análisis.

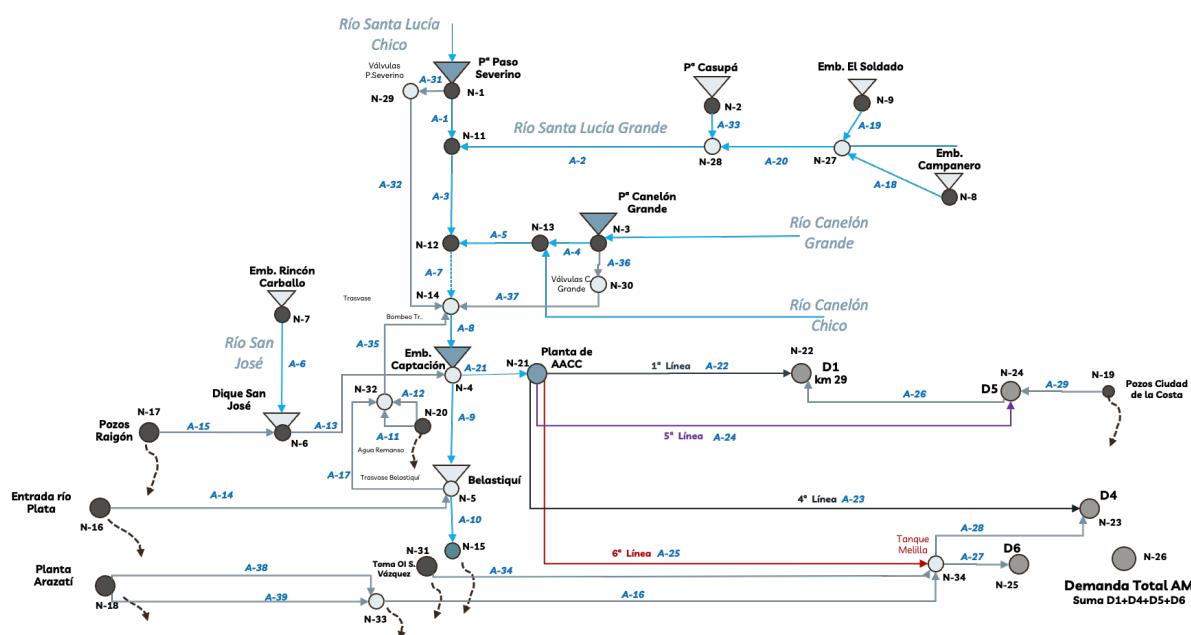


Figura 13 Esquema del modelo modificado para poder representar os escenarios alternativos.

4.2 Definición de variantes para cada elemento clave del modelo

El objetivo del estudio es analizar el comportamiento del sistema de abastecimiento Metropolitano de Montevideo en diferentes escenarios de gestión con diversas hipótesis de oferta, demanda, nueva infraestructura de ser el caso, regla de operación y restricciones ambientales. Con el análisis de alternativas, se establecerá un protocolo de operación de un escenario objetivo que busca garantizar una segura satisfacción de las demandas de abastecimiento de agua potable.

El escenario base de la etapa I de este estudio se definió a partir de un análisis de los datos disponibles. Esos datos se clasifican en cinco categorías: oferta, demanda, infraestructura, restricciones y reglas de operación.

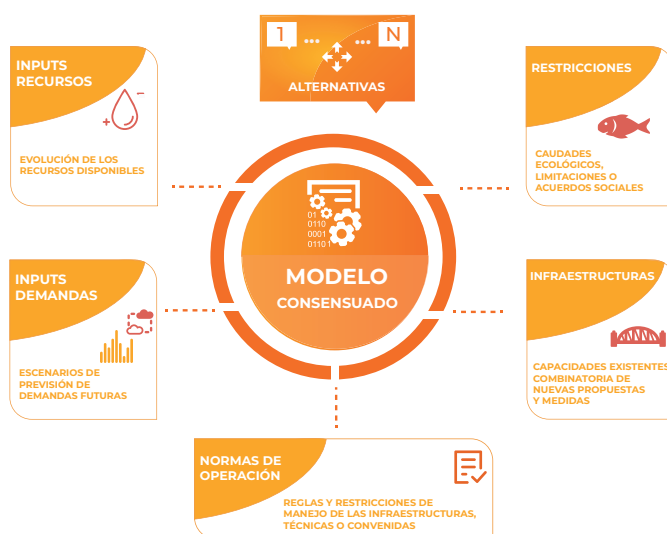


Figura 14 Variables que componen la modelización numérica para la generación de alternativas

4.2.1 Variantes de oferta

A) Variantes de la oferta en el Santa Lucía

En la formulación de alternativas se analizarán tres opciones de series de aportaciones:

- i. **Serie histórica:** se denomina así a la serie modelizada con Ribasim® (decenal, es decir 3 datos por mes) que detrae las demandas existentes por tramos fluviales según el registro de derechos de agua a partir de la serie hidrológica natural generada por Wflow®.
- ii. **Serie escasez.** En el entorno de investigación del proyecto Euroclima+ liderado por el Instituto de Mecánica de los Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFIA) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República (Udelar) y en estrecha colaboración con DINAGUA, se han generado series meteorológicas alternativas a partir de la serie histórica, con el objetivo del poder cuantificar los efectos del cambio climático en Uruguay. El sistema empleado en el proyecto no traspone en Uruguay las previsiones meteorológicas de los diversos escenarios y modelos del IPCC, sino que establece un **modelo de generación del tiempo meteorológico** que permite producir nuevas series estocásticas climatológicas, determinando valores de temperatura y precipitación a nivel diario para un periodo de 100 años. A través del análisis de patrones del comportamiento de los diversos fenómenos climáticos regionales que influyen en el clima de Uruguay tanto desde el Atlántico como desde el Pacífico, como el ENSO, la ODP o la posición el anticiclón del Atlántico Sur, entre otros, se determinan sesgos en las variables clave con las que caracterizar e influir en los datos de esas nuevas series generadas. Esas series sintéticas de clima estarán más afectadas por un fenómeno o tendencia en una o más variables según se desee, eligiendo así un sesgo particular. En concreto, de las que se estudiaron en el proyecto Euroclima+, se han analizado dos series. La generada en el escenario 3 (E3) y la analizada en el escenario 4 (E4). La amplitud del rango elegido de variaciones está inspirada en la amplitud histórica observada en la tendencia (en el caso de la evapotranspiración) y en las variaciones multianuales (en el caso de los parámetros del generador de tiempo meteorológico).



- **E3, escenario seco.** En este caso se supone una pérdida de precipitación del 5% y un aumento de la evapotranspiración (ETP) del 10%, con respecto a los valores históricos.
- **E4, Niña perpetua** (Generador de tiempo condicionado a años Niña). Se reproducen valores condicionados a la influencia continua del fenómeno de La Niña, usualmente asociado a sequías en Uruguay, pero manteniendo la ETP histórica.

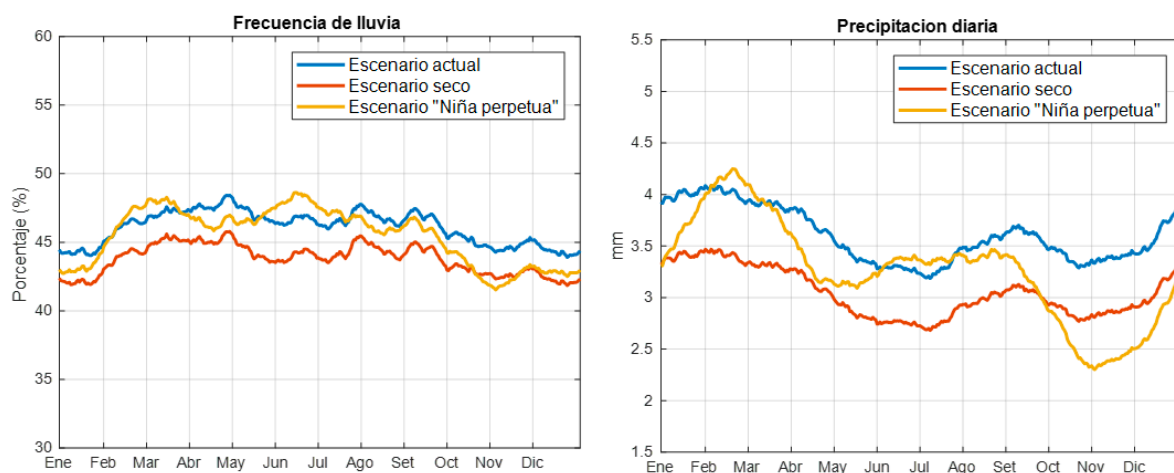


Figura 15 Comparación de ciclos anuales de precipitación media areal en la cuenca del Santa Lucía a partir de las series generadas para los distintos escenarios de precipitación considerados en el proyecto Euroclima⁺ (fuente: DINAGUA).

Como en el caso de los datos históricos, partir de esas series sintéticas de clima, se han generado valores de aportaciones naturales o caudales medios decenales (tres datos por mes) a través del modelo hidrológico Wflow[®] y se ha procedido a ajustar los valores trayendo demandas por tramos con el modelo de GRH Ribasim[®]. Los resultados son **series de aportes en los puntos de interés congruentes con la histórica, pero alternativas, que intentan representar una posible alteración del agua disponible en los próximos años o décadas.**



Figura 16 Proceso de generación de series de caudal alternativas afectadas por sesgos climáticos que se llevaron a cabo en el proyecto Euroclima⁺ (fuente: DINAGUA).

Las nuevas series sintéticas se agregan a valores mensuales y, al ser de 100 años triplican la longitud de la serie histórica de 33 años (ver **Figura 17**). Se procede a analizar los valores promedios, medias móviles a diversos intervalos y valores mínimos de aportaciones. El análisis se realiza en años consecutivos no naturales, es decir, la serie de aportaciones histórica se sitúa del 2000 al 2033 para comprarlas. En realidad, ya no hay un sentido temporal real, sino de valoración de diferencias, tendencias, incrementos o decrementos de los caudales disponibles esperables en el



futuro respecto a los que se han venido registrando en el pasado hasta el momento actual.

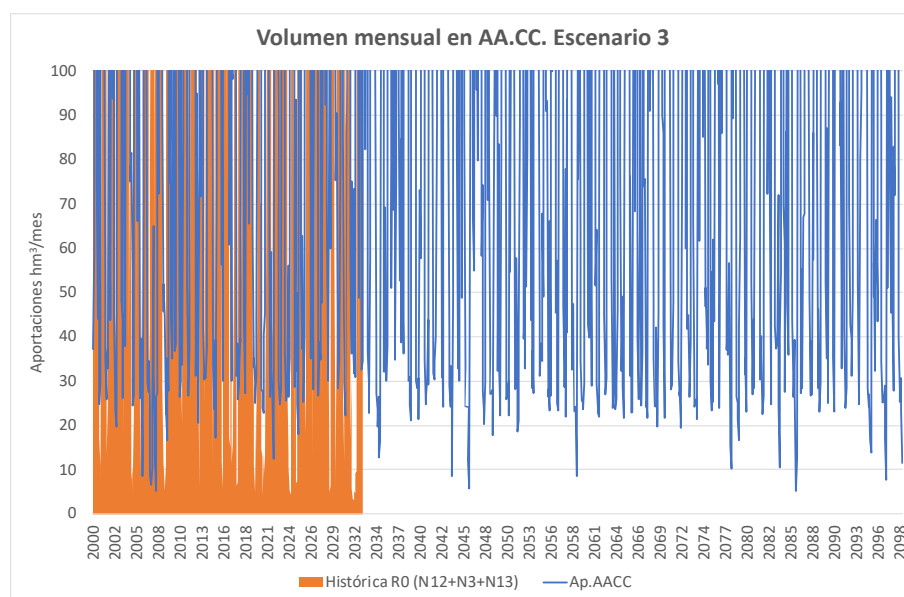


Figura 17 Serie de aportaciones mensuales alteradas del escenario climático E3 del estudio de Euroclima⁺ (100 años de datos) vs. serie histórica (33 años).

En la imagen anterior se puede apreciar como los valores históricos (área anaranjada) registran valores mensuales más bajos de forma sistemática (mayor descenso respecto a la línea azul). El gráfico está limitado a 100 hm^3/mes , pero acá exponemos que, en el caso de los caudales altos, los meses de máximas avenidas históricas superan los valores máximos de las series sintéticas simuladas. En líneas generales, tanto E3 como E4 no presentan meses peores que la serie histórica, pero si cambian las persistencias de meses secos. En concreto, el escenario E3 que resultó ser el peor de los analizados en Euroclima⁺ en términos de sequías, no presenta ningún mes con menos aportes que los mínimos del 32-33 históricos (correspondiente al 2022-23 reales), pero sus medias móviles a 12 meses y 24 meses presentan valores peores a sus medias móviles homólogas de la serie histórica. En la **Figura 18** pueden apreciarse esas dos medias móviles con sus mínimos destacados y, en cada caso, se superponen en línea discontinua su promedio equivalente de la serie histórica. Por ejemplo, para 2 años, el valor promedio mensual de una ventana de 24 meses es cercana a 70 hm^3 , mientras que esos promedios sobre valores reales siempre superan los 100 hm^3/mes .

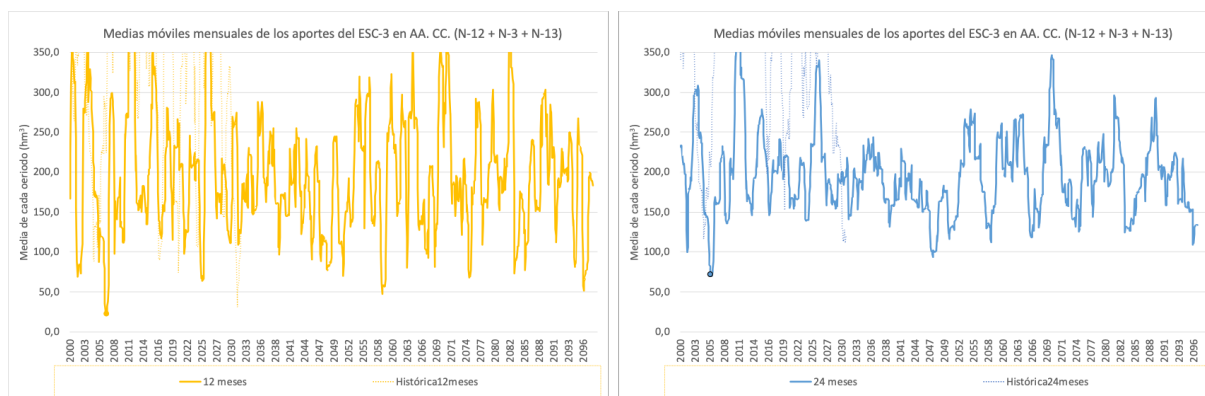


Figura 18 Media móvil a 1 año (izquierda) y 2 años (derecha) de la serie de aportaciones alteradas del escenario climático E3 vs. serie histórica. Se destacan los mínimos de las ambas medias móviles.



Lo mismo ocurre con ventanas a 36 y 60 meses. Por tanto, estamos **ante sequías más persistentes, aunque puntualmente no presenten meses de tanta intensidad como en el caso histórico**. Estas medias móviles también detectan los periodos de la serie sintética donde se dan los mínimos. En el gráfico siguiente se puede apreciar como se detectan esos mínimos móviles y se propone generar una serie del mismo intervalo temporal que la histórica, 33 años de datos mensuales, pero escogiendo dos periodos de la simulada que presenten las situaciones más desfavorables: los 13 primeros años y otro grupo de 20 años posteriores también muy secos.

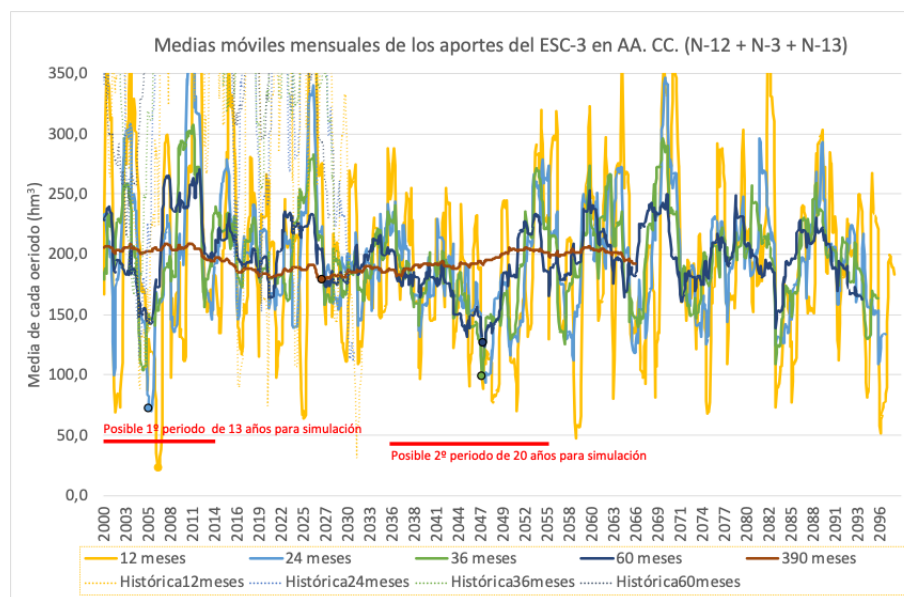


Figura 19 Diversas series de media móvil sobre la serie de aportaciones simuladas E3, superponiendo los periodos para construir una serie del mismo intervalo temporal que la histórica.

En definitiva, se construyó una serie equivalente a nivel temporal que la serie histórica, pero con valores más secos, denominada **serie de escasez**, fruto de la simulación de una posible evolución del clima por efecto del cambio climático, donde las temperaturas generarán un incremento del 10% de la evapotranspiración a la vez que la precipitación disminuyera un 5% respecto a los valores históricos, definida como escenario E3 del proyecto Euroclima+. La construcción de esta serie sintética además forzaba a incluir en la selección de los 33 años, los periodos de peores valores de los 100 años de simulación con el generador de tiempo meteorológico del proyecto. Dándole un aspecto equivalente a los que se vienen manejando en este informe, en la **Figura 20** se muestran la serie histórica y la serie de escasez y a simple vista se puede apreciar el grave empeoramiento de los aportes del Santa Lucía a la altura de la captación de la usina de AACC. **Los valores promedio también son claramente peores**, pasando del promedio anual de 4.266 hm³ a poco más de la mitad 2.434 hm³.

Sorpresivamente, la modelización del sistema de GRH con estos **aportes de escasez no empeora la situación histórica del nivel de servicio del sistema Metropolitano**, como se verá en una de las alternativas. El motivo es una demanda de la planta siempre por debajo de los aportes mensuales simulados por E3 en el Santa Lucía o de estos más los volúmenes complementarios de PS y CG, un hecho que se incumplió en la realidad, donde se han medido caudales disponibles mucho menores (y persistentes) a las necesidades de planta en diversas oportunidades de la historia reciente.

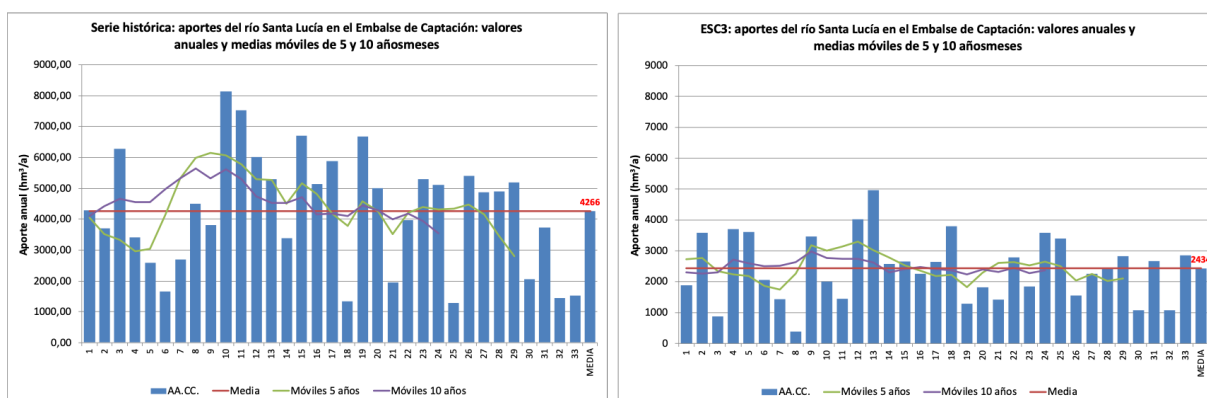


Figura 20 Aportes anuales y promedios del río Santa Lucía en la presa de AACC de la serie histórica (izquierda) y de la serie de escasez (derecha).

iii. **Serie Pésima:** ante la incapacidad de, a través de los solventes estudios de cambio climático del Uruguay, poder generar una serie de aportaciones con efectos peores o más intensos a los vividos históricamente en las instalaciones de OSE para el servicio de agua potable del sistema Metropolitano, se evaluaron diversas metodologías complementarias. Estas metodologías generarían una serie sintética por consenso, es decir, poder construir un serie peor o pésima de aportes a través de un mecanismo sencillo, razonable, conocido y aceptado por el comité de seguimiento del proyecto, cuyo objetivo fuera poner a prueba o en crisis el sistema. Se barajaron varias alternativas.

- **Alterar el orden cronológico** de determinados años de la serie histórica para hacer más persistentes las sequías. En concreto, y siguiendo una cronología consecutiva de los 33 años de datos, se cambió el año 21 por el 24, generando concatenación de dos años muy secos consecutivos junto al 25 (recuadro anaranjado de la **Figura 21**). Se intercambiaron el año 30 por el 31, generando una sequía de 3 años consecutivos (recuadro rojo de la misma figura). Por supuesto, en este caso el promedio de las series no cambia.

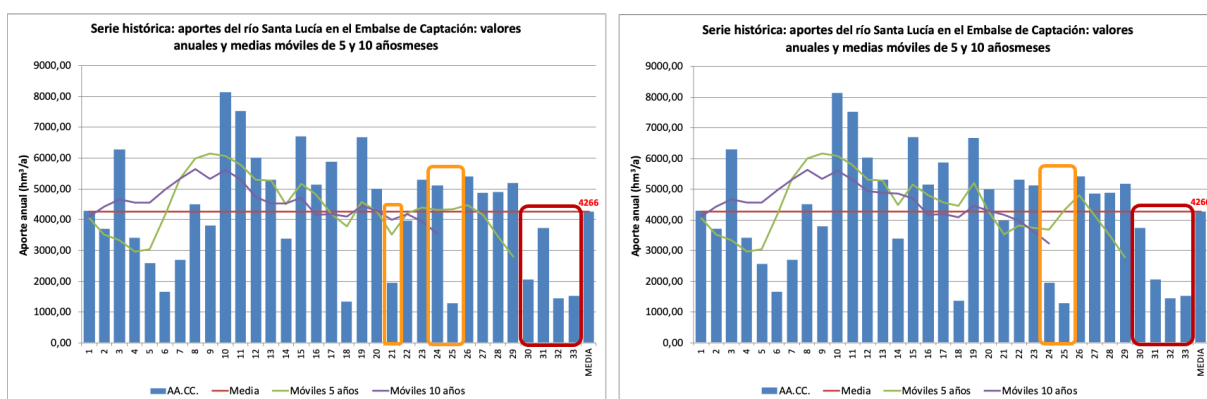


Figura 21 Aportes anuales del río Santa Lucía en la presa de AACC de la serie histórica (izquierda) y de la serie pésima inicial (derecha) donde se han cambiado el orden de las aportaciones de los años destacados en los recuadros.

Nuevamente, de forma totalmente no intuitiva, no se empeoraba el comportamiento del sistema cuando se modelizaba con esta serie de aportes respecto a la histórica. No había más déficit. El motivo, analizando paso a paso de simulación, volvía a ser, como en la serie escasez, que no se lograba



empeorar el valor mensual y que los años naturales presentaban una correlación de meses secos que finalmente siempre concatenaban alguno donde los embalses se recuperaban para poder asumir las demandas ordinarias, aunque los aportes globales fueran bajos. Como se ha comentado antes, las demandas de AACC son casi siempre inferiores a los aportes del Santa Lucía. Pequeñas recuperaciones temporales que en términos hidrológicos no acabarían con la sequía, si recuperan el sistema para aguantar unos meses más y lograr superar el evento completo de sequía. **La escasez de aportes que afecta al sistema Metropolitano es muy coyuntural.**

- **Reducir todos los valores de la serie en un porcentaje.** Esta metodología, poco científica, pero muy práctica para responder a la pregunta de qué pasaría si se dieran unas aportaciones peores a las vividas y más críticas para el sistema Metropolitano, resultó ser la adecuada para probar el empeoramiento de los niveles de servicio del abastecimiento de Montevideo. Sin ser ortodoxa, sí es una metodología muy difundida en todo el globo, por ser fácil de transmitir y entender, rápida para generar una nueva serie sin incluir modelos de clima, y que puede elegirse empeorando unos meses o todos los años. En este caso, el equipo de trabajo con el comité de seguimiento integrado por BID, OSE y DINAGUA consensuó aplicar una **disminución de los aportes de un 10% en todos los meses de la serie histórica**, sin cambiar el orden cronológico de los datos. A ésta se le llamó **serie de aportes histórica alterada o pésima**.

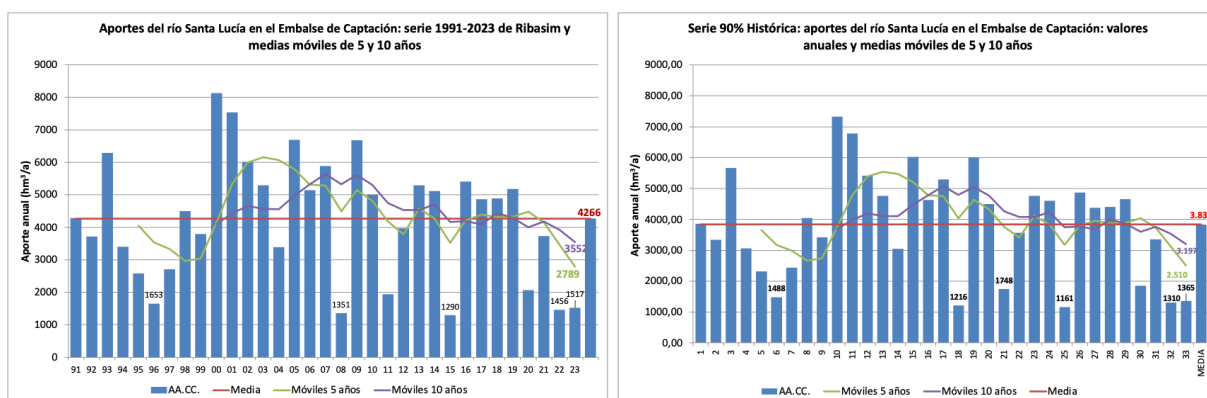


Figura 22 Aportes anuales del río Santa Lucía en la presa de AACC de la serie histórica (izquierda) y de la serie pésima final (derecha) donde se han reducido todos los aportes mensuales históricos un 10%.

Este caso si es capaz de proveer de meses con peores aportaciones, con concatenación de una secuencia de varios meses que es peor que la vivida, pues todos los valores son menores. Eso si produce una situación donde el sistema no se puede recuperar como si lo hiciera con la serie histórica y eso permitirá probar la efectividad de las medidas en el análisis de alternativas.

En la siguiente figura se resumen las series de aportaciones que se han utilizado de forma alternativa en el análisis de escenarios.

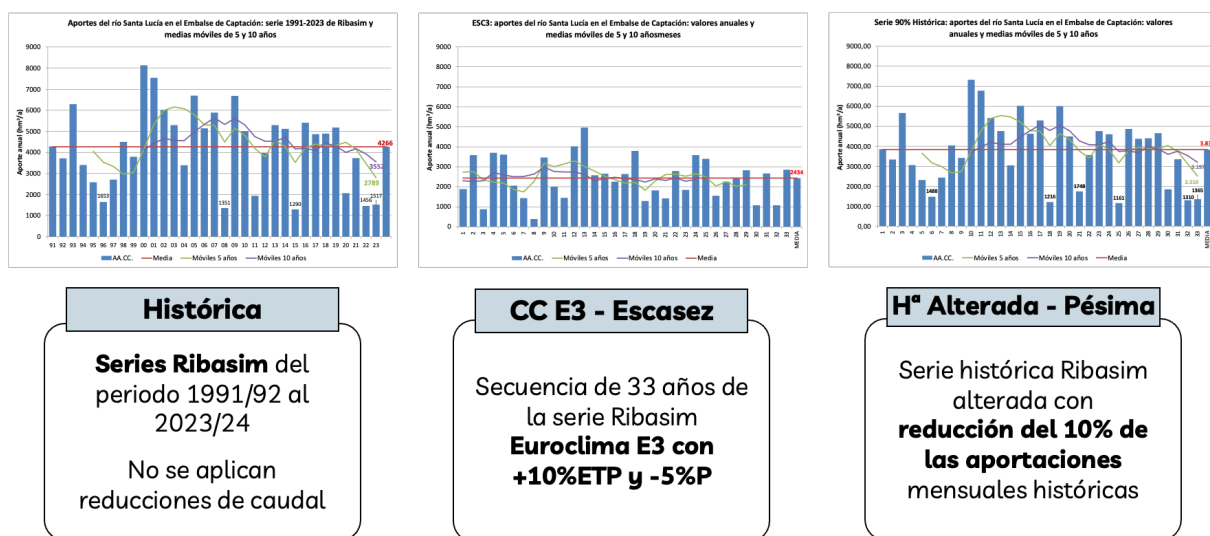


Figura 23 Resumen de la metodología de obtención de serie alterada con cambio climático y la serie pésima confeccionada por consenso

B) Oferta desagregada del Santa Lucía y sus variantes

En las diferentes alternativas que se han estudiado tanto del escenario actual como consolidado, se ha requerido desagregar la oferta del Santa Lucía en alguno de sus afluentes, donde las metodologías seguidas han sido coherentes con las anteriores descritas para el conjunto de la cuenca. En concreto se han discretizado las siguientes aportaciones.

Tabla 3 Aportaciones desagregadas que se han valorado para los escenarios actual y consolidado

Afluente	Sección de aportes	Observación	H-E-P ²
Río San José	Paso Valdez	Se han utilizado series de aportes Ribasim y se ha corregido reduciendo al 30% los caudales inferiores al percentil 20.	H, E, P
Río San José	Cierre de Rincón de Carballo	Se han utilizado series de aportes Ribasim en el punto más cercano	H, P
Arroyo Casupá	Cierre de la posible presa de Casupá	Se han utilizado series de aportes Ribasim y se ha corregido mediante factor facilitado por la estación de control de DINAGUA (reducción de aportes en general)	H, P
Arroyo El Soldado	Cierre de la posible presa de El Soldado	Se han utilizado series Wflow	H, P
Arroyo Campanero	Cierre de la cuenca	Se han utilizado series Wflow	H, P

² Se identifica si se han desarrollado, además de la serie histórica (H), la serie de escasez (E) a partir del escenario de Euroclima⁺ ESC3 y la serie pésima (P) como reducción directa de las aportaciones históricas.



C) Oferta extraordinaria

Para alguna de las alternativas ha sido necesario definir una oferta específica externa al río Santa Lucía coma y que en algunos casos viene caracterizada por una capacidad de una infraestructura o planta de producción de agua. En concreto estos son los caudales que se han incorporado para alguna de las variantes.

Tabla 4 Aportaciones externas al Santa Lucía que se han incorporado en alguna de las alternativas

Fuente	Infraestructura aportante	Capacidad	Nivel del estudio
Río de la Plata	Retención remanso por dique de Belastiquí	8.000 m ³ /h	Estudio caso real 2023
Río de la Plata	Planta de Arazatí	200.000 m ³ /día	Factibilidad
Río de la Plata	Planta de Ol en Santiago Vázquez	7.200 m ³ /h	Perfil
Acuífero Raigón	Nuevos pozos de sequía	180 m ³ /h	Idea inicial

Las aportaciones de las fuentes ordinarias, como el trasvase, son las mismas que las comentadas en el documento inicial de diagnóstico.

4.2.2 Variantes de la demanda

Las demandas aplicadas en el análisis de alternativas son mayoritariamente las determinadas la etapa de diagnóstico. En concreto, los valores consensuados para cada horizonte temporal han sido:

- **Actualmente**, horizonte **2025**, se aplican **240 hm³ anuales de agua cruda entrante a la planta de AACC**. Los valores de agua elevada a la red son cercanos a un 10% inferiores, 220 hm³.
- En el horizonte **2035, consolidado**, que se toman **244 hm³ anuales** y en el **2045** se modelizan los escenarios con **250 hm³ anuales**.

Como se puede apreciar de los valores anteriores, el análisis de la evolución de la demanda realizado por OSE presenta un crecimiento pequeño fruto de la contención del ritmo de crecimiento poblacional y mejoras de gestión de la red. En todos los casos, la distribución mensual de esas demandas anuales es la promediada de los datos históricos de demanda servida, y se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 5 Distribución de demandas medias mensuales del sistema Montevideo servidas desde AACC distinguiendo el porcentaje servido desde cada línea de impulsión.

Mes	LB1 (D1)	LB4 (D4)	LB5 (D5)	LB6 (D6)	Patrón consumo
enero	1,54%	35,42%	38,72%	24,32%	9,04%
febrero	1,42%	35,79%	38,12%	24,66%	8,32%
marzo	1,47%	36,11%	37,65%	24,77%	9,00%
abril	1,45%	36,49%	37,04%	25,02%	8,43%



mayo	1,57%	37,12%	36,30%	25,00%	8,52%
junio	1,63%	37,87%	35,96%	24,54%	8,00%
julio	1,72%	38,64%	35,56%	24,08%	8,12%
agosto	1,60%	38,85%	36,01%	23,55%	8,03%
septiembre	1,41%	38,78%	36,07%	23,74%	7,66%
octubre	1,51%	38,08%	36,51%	23,90%	8,07%
noviembre	1,45%	37,54%	37,64%	23,37%	8,06%
diciembre	1,45%	36,30%	38,38%	23,87%	8,78%
Anual	1,52%	37,20%	37,03%	24,25%	100%

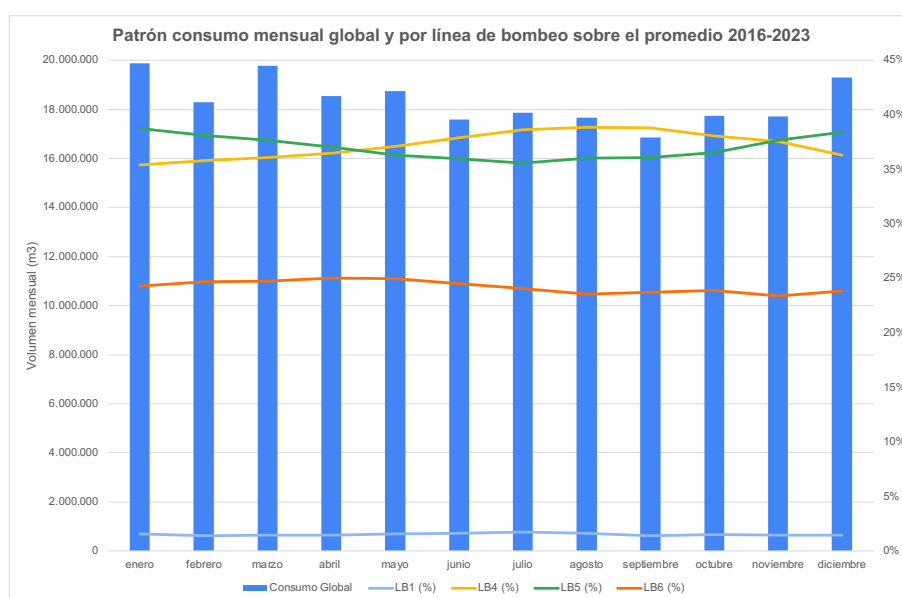


Figura 24 Agua elevada a la red de distribución. Evolución mensual tipo por línea de bombeo.

Para analizar la **capacidad de gestión de la demanda** ante un episodio de sequía intensa o extrema, se ha **analizado el comportamiento de los consumos en el episodio de la seca 2022-23 a través de las diferentes tipologías de usuarios de la red**. Este análisis compara la evolución de los últimos años de la demanda de cada sector diferenciado en el proceso de facturación contra los valores registrados en el episodio de sequía y, finalmente contra los valores nuevamente normalizados tras finalizar el episodio. En general, la seca representa una contracción de demanda de la que conviene diferenciar la fracción de contracción temporal debidas a las medidas coyunturales, de la fracción de reducción permanente del consumo fruto de cambios de hábito o mejoras consolidadas en la gestión de la red.

- El **uso industrial**, con un peso del 5,7% del total del agua facturada, hizo unos ajustes medios en el último episodio del 27,3% respecto al promedio 2017-22, de los que en los últimos meses a los que se accedió a los datos, sigue existiendo un ahorro del 2,5%. Ese remanente podemos llamarlo reducción permanente o consolidada de la demanda y pueden responder a cambios de comportamiento o a la consolidación de fuentes propias de algunos usuarios, nuevas o recuperadas, que hayan reducido la demanda del agua de red. Es de esperar que, llegado el caso de un nuevo episodio el **24,8% restante sería nuevamente recuperable como reducción de la demanda**



industrial con metodologías similares a las que nos han comentado que se llevaron a cabo en 2023.

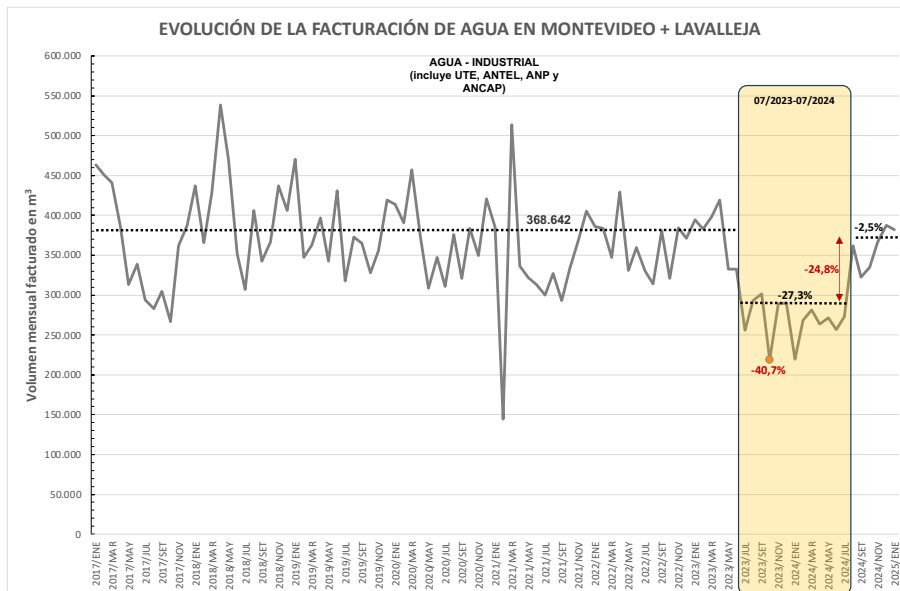


Figura 25 Agua elevada a la red de distribución. Evolución mensual tipo por línea de bombeo.

- En el caso del **uso residencial o doméstico**, tras una contracción del 7,9% en el periodo post pico de sequía, en los últimos meses el ahorro respecto al promedio 2017-22 ha sido del 4%. Esa fracción sería la consolidada, sea por cambio de hábitos o por mejoras de instalaciones individuales, etc. Mientras que podríamos suponer que, ante un nuevo episodio, se podría ganar de nuevo la diferencia, **3,9 o 4% más**. Cabe destacar que en el mes de agosto de 2023 con menores temperaturas y justo tras el periodo de máxima tensión de la anterior seca, se llegó a una reducción puntual del 15,5%. Es decir, podría haber mayor posibilidad de contracción en el caso que fuese necesario. El peso del residencial en el conjunto del agua facturada es del 70%, lo que la hace clave para cualquier ahorro.

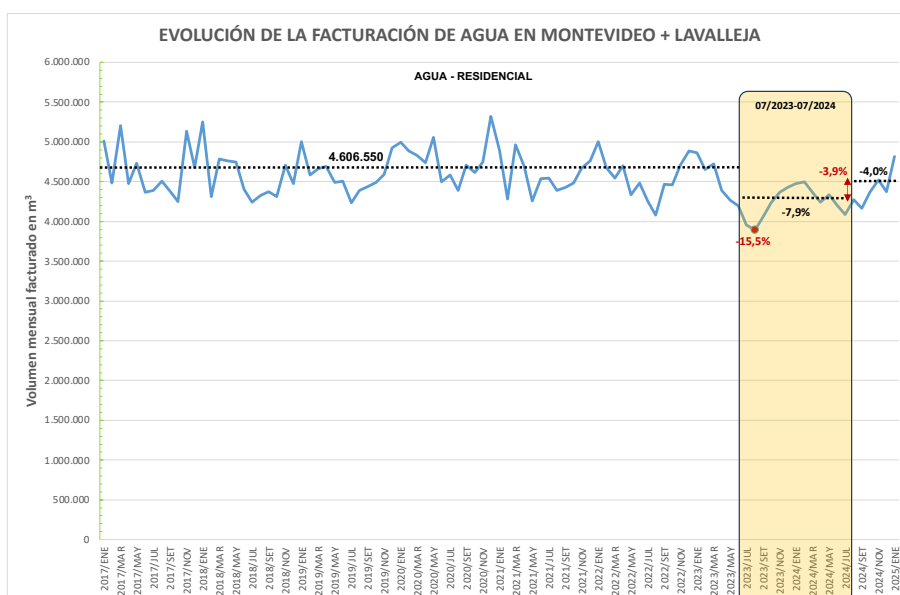




Figura 26 Agua elevada a la red de distribución. Evolución mensual tipo por línea de bombeo.

- El **resto de los usuarios** presentan evoluciones relaciones más erráticas, como un incremento permanente de los bonificados que no responde a ningún efecto de la sequía, sino a otras dinámicas.

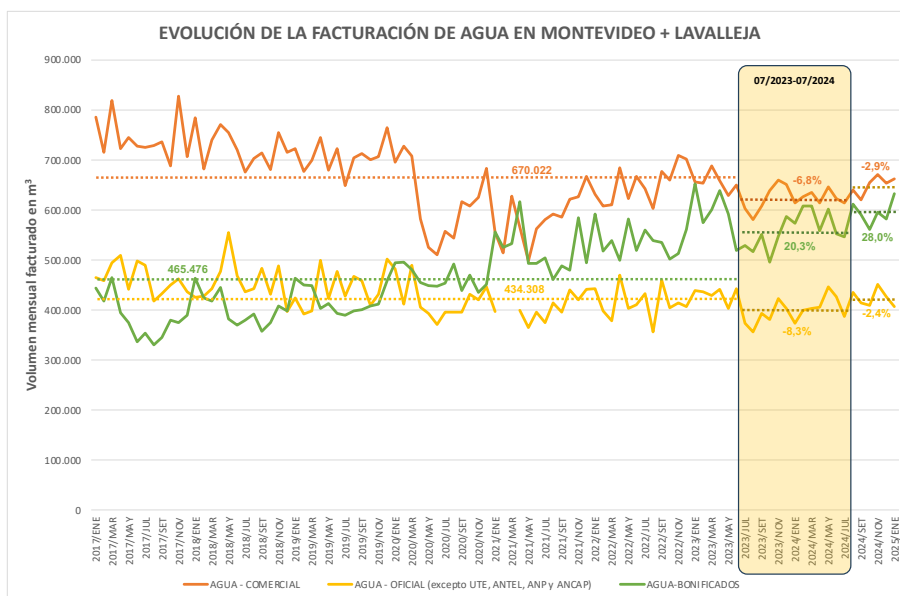


Figura 27 Agua elevada a la red de distribución. Evolución mensual tipo por línea de bombeo.

- Analizando el **conjunto del agua facturada**, la reducción fue algo menor, del 6,8% de la cual hoy queda un 1,3% de contracción consolidada. Es de **esperar que el 5,5% restante sea movilizable en caso de un nuevo evento**. En el mes punta del ahorro durante el episodio se **llegó al 13,7%** de contracción respecto al promedio 2017-22.

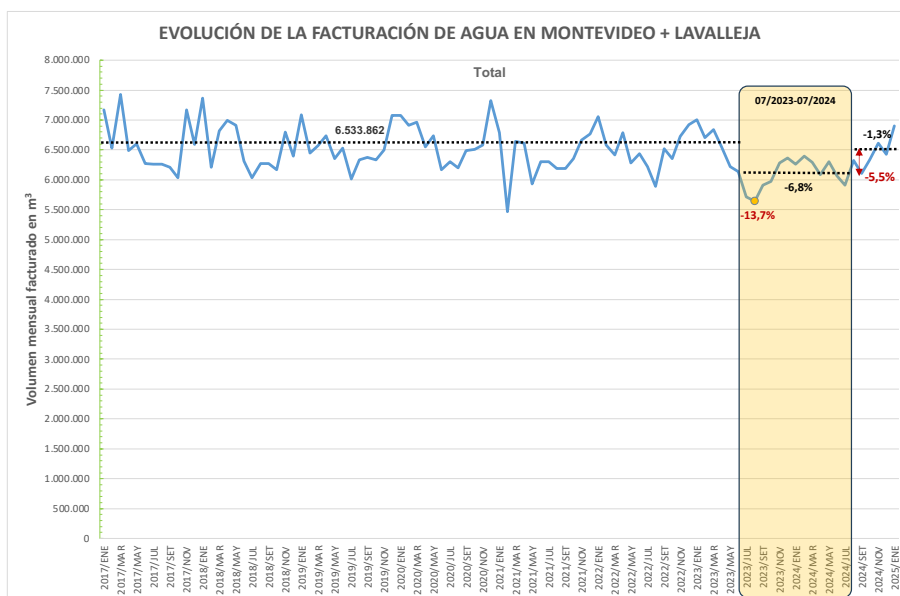


Figura 28 Agua elevada a la red de distribución. Evolución mensual tipo por línea de bombeo.



Tabla 6 Ahorros sobre consumo por usuarios facturados conseguidos en la sequía 2022-23.

Años	2023			2024/25	Potencial
Tipo Consumo	Peso	Máximo	Promedio	Consolidado	Remanente
Uso Industrial	5,7%	-40,7%	-27,3%	-2,5%	-24,8%
Uso Residencial	69,8%	-15,5%	-7,9%	-4,0%	-3,9%
Uso Comercial	10,5%	-13,5%	-6,8%	-2,9%	-3,9%
Uso Oficial	6,5%	-17,4%	-8,3%	-2,4%	-5,9%
Uso Bonificados	7,5%		20,2%	27,9%	
Ahorro Usuarios	100%	-13,7%	-6,8%	-1,3%	-5,5%

Esto son efectos directos de **ahorro sobre usuarios (consumos)**, aunque sean inducidos por el operador y hay que distinguirlos de los efectos que también obtiene el **operador a nivel global por mejora de la eficiencia en la red** y su gestión, que como se había expuesto en el agua elevada sigue un patrón algo diferente, con un 6,6% de ahorro en 2023 y un 7,7% en 2024.

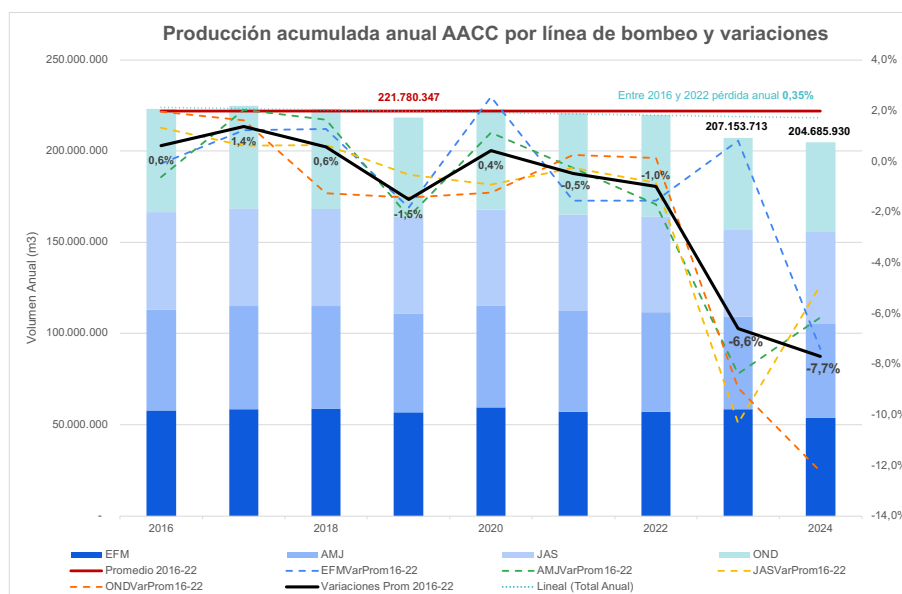


Figura 29 Agua elevada a la red de distribución. Evolución mensual tipo por línea de bombeo.

- Si se comparan estos anuales con los de facturación con los de ahorro del agua elevada, se detecta una reducción extra para 2024, que son **los efectos directos sobre la operación de red con el cambio de presiones que se nos ha comentado desde OSE**. Se debe esperar que parte de esa gestión se relaje parcialmente a medida que se distancie de la sequía, pero parte de los puntos ganados en la mejora de la ratio del ANC se van a consolidar (entre 2 y 3 puntos según los últimos informes de OSE sobre la ANC en Montevideo). Se va a suponer que este cambio/esfuerzo de explotación se va a sostener, e incluso puede incrementar su ahorro fruto de algún plan de mejora infraestructural de la red y su eficiencia.



- Se considera un **incremento porcentual de la demanda del trimestre enero-febrero-marzo en situaciones de sequía**, determinado según los datos históricos en cerca de un 3% en las olas de calor que suelen acompañar las sequías, valor que se descontará de los ahorros potenciales anuales.

Ante los datos expuestos y con criterio conservador, eligiendo el rango menor de valores de los intervalos de ahorro obtenidos, se acuerda aplicar la siguiente tabla de ahorros probables en un nuevo episodio de sequía a través de la gestión de la demanda.

Tabla 7 Reducciones de demanda aplicables en la UGS Metropolitana.

Medidas aplicadas	Normalidad	Sequía Excepcional	Emergencia
Ahorro por medidas temporales de gestión de la demanda ante episodio de sequía	0%	7%	10%
Ahorro por medidas permanentes de gestión de la red (mejora de la eficiencia) – Plan de mejora a 5 años	5%	12%	15%
Ahorro por medidas permanentes - Plan de mejora de la eficiencia a 10 años	10%	15%	18%

Conviene recordar que **para garantizar estas contracciones de la demanda**, que se van a suponer efectivas en la modelización de escenarios alternativos, **hay que asumir acciones que requieren de su definición detallada**, que no se incluyen en esta consultoría, pero que podríamos listar en:

- Plan de sensibilización en el uso eficiencia del agua por parte de los usuarios, en especial el usuario residencial por el volumen sectorial que representa.
- Medidas de contención, prohibiciones de usos suntuosos y sectoriales de agua en la red llegados a un determinado nivel de sequía. Por ejemplo, prohibir lavar las calles, regar jardines, llenar piscinas, etc. En este apartado deberán incluirse los listados de usuarios vulnerables y usuarios con capacidad de aplicarse un cambio de origen del recurso o fuente de suministro, como los industriales que pueden tomar de pozos propios si le conviene a la red.
- Plan de mejora de la eficiencia de la red y reducción del agua no contabilizada (ANC).
- Valorar cambiar tarifas o límites de los tramos de facturación, penalidades por exceso de consumo o bonificaciones por ahorro.

4.2.3 Infraestructuras supuestas en los escenarios

Para el análisis de escenarios, además de las infraestructuras existentes se consideran las infraestructuras de los posibles proyectos a incorporar en el futuro para el escenario consolidado 2035.

A) Variantes de la infraestructura existente en el Santa Lucía

De la infraestructura existente en el Santa Lucía como se han actualizado los datos y se ha analizado su capacidad de respuesta, no solamente con el régimen hidrológico normal, sino también con situaciones de sequía y sequía extrema, para poder valorar adecuadamente la incorporación del recurso en las alternativas modelizadas. A continuación, se listan los ajustes incorporados:



- **Embalse de Paso Severino:** Se ha actualizado la curva de nivel-volumen con la que se contaba en el diagnóstico. La **capacidad máxima** de retención de este embalse es de **63,5 hm³**, no habiendo ningún volumen muerto o ingestible, pero sí se hace constar que a partir de la cota equivalente a 25 hm³ el régimen de salidas de caudal por el desagüe de fondo no puede garantizar el volumen total de demanda de la planta de AACC (8 m³/s).
- **Embalse de Canelón Grande:** Se ha actualizado la curva de nivel-volumen con la y la nueva **capacidad máxima** del embalse es de **17,4 hm³**, no habiendo ningún volumen muerto.
- **Trasvase AACC:** se trata de limitar el trasvase desde el remanso aguas abajo de la presa de toma al embalse de captación. Aunque la capacidad instalada es bombeo es de 24.000 m³/h, se suponen los siguientes valores limitativos en función del estado hidrológico de la cuenca:

Tabla 8 Reducciones de la producción media mensual del trasvase en AACC.

Aporte de la infraestructura	Normalidad	Sequía Excepcional	Emergencia
Trasvase en AACC desde aguas abajo de la presa	18.000 m ³ /h	12.000 m ³ /h	Cambia a aporte de Belastiquí

Sobre las capacidades de trasvase se han establecido algunos controles tanto mensuales como anuales en las simulaciones. La limitante mensual que se establece en la tabla anterior también tiene su equivalente a nivel anual, todos ellos determinados por el análisis histórico de las extracciones máximas, y así valorar las limitaciones que podría sufrir esta fuente. En concreto, en valor máximo mensual al que se llegó en la última sequía antes de agotarse el remanso final del Santa Lucía fue de 8,5 hm³, equivalente a ese valor de 12.000 m³/h de promedio. Pero el agotamiento de la renovación natural del remanso por caudales del cuerpo de agua Santa Lucía y acuíferos subálveos influentes, se seca a intervalos, lo que disminuye la producción a valores inferiores a 4 hm³/mes, y además, se acaba generando la entrada de agua salobre del río de La Plata de ahí la importancia del dique de Belastiquí para poder seguir trasvasando agua. En la figura siguiente se presentan los registros mensuales por fuente de suministro, donde la fracción anaranjada representa el agua de trasvase y las granates son los trasvases parcialmente facilitados en junio y julio de 2023 por la existencia del dique de Belastiquí (más adelante se cuantifica exactamente la fracción debida a Belastiquí).

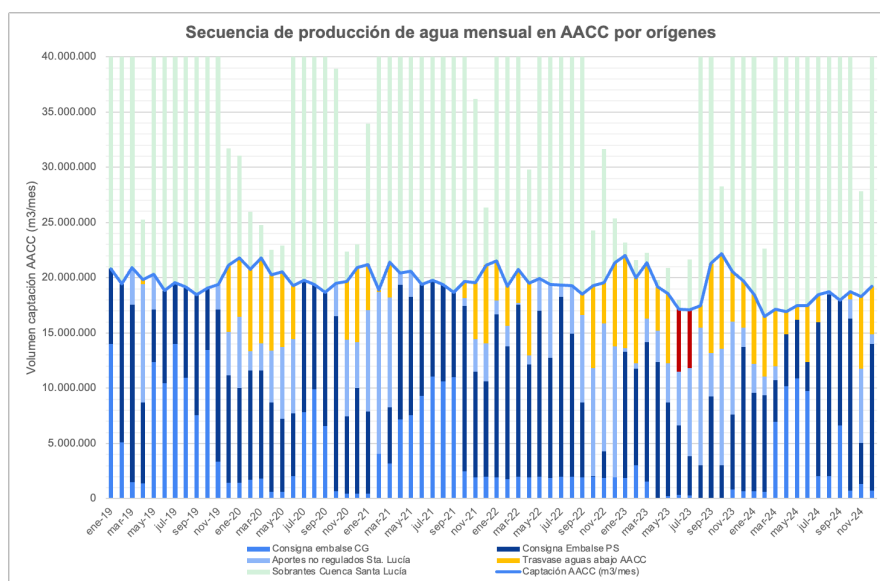


Figura 30 Registro de orígenes del agua o mix de recursos a nivel mensual en la sumatoria de demanda satisfecha por AACC de 2019 a 2024., ambos años incluidos

El valor anual máximo del trasvase se registró en 2023 con casi 70 hm³, si bien la media de los últimos años ha sido cercana a 40 hm³ anuales.

B) Posible nueva infraestructura incorporada en el análisis de alternativas

En la lista de nueva infraestructura a incorporar para el análisis, conviene empezar por las obras que se utilizaron durante el último evento de sequía, alguna de ellas ya desaparecidas, pero otras que están parcialmente desmanteladas, y pueden ponerse en funcionamiento de forma rápida si fuese necesario, siempre ante la hipótesis de una nueva situación de emergencia antes de poder disponer de infraestructuras que generen nuevos aportes de recursos o mejora substancial de la regulación del Santa Lucía.

- **Captación de Paso Valdez y bombeo del río San José.** La obra civil de la toma y captación para las bombas, así como la conducción de impulsión del agua desde el paso Valdez al embalse de captación de AACC o a aguas abajo de la presa (zona del dique temporal de Belastiquí) existen y podrían ponerse operativas con celeridad. La mitad de las bombas están reservadas en las instalaciones de OSE y, la otra mitad deberían adquirirse llegado el caso de ser requerida esta agua. Los servicios de OSE valoran entre 1 y 1,5 meses la puesta en funcionamiento operativa de la toma de ser necesario. Hay que contemplar también realizar en ese tiempo un dique temporal (como el que hubo en 2023) o permanente aguas abajo de la captación, en la zona denominada Campanario, para poder garantizar un nivel de agua adecuado para la succión de las bombas.

Los valores de agua aportada estarían limitados por la capacidad del sistema de bombeo, valorado en 8.000 m³/h, si bien en las modelaciones se ha incorporado un valor limitante de **6.000 m³/h de caudal promedio mensual**. Pero, en este caso el bombeo, además de cumplir la condición de estado de sequía intensa que lo podría activar, se limitará al caudal existente en la toma de Paso Valdez, caudal que podría ser inferior algunos meses, o como mínimo algunos días del mes según los casos de sequías históricas de los que se tienen mediciones o informes con datos cualitativos de los caudales fluyentes por el San José.



- **Dique de Belastiquí:** cuando se supone que este dique se reconstruye, o si se estableciera de forma definitiva, se le asignará un valor de aporte equivalente a lo que contribuyó durante la seca 2022-23. En concreto, como muestra la **Figura 31**, el dique estuvo operativo para retener el agua de las mareas del río de La Plata entre el 24 de mayo y el 17 de agosto aproximadamente, cuando una avenida lo arrojó. Entre el 7 de junio y el 12 de julio, la única agua trasvasada desde aguas abajo a la presa de toma fue la retenida por el dique, lo que permite suponer una **capacidad de aporte medio de 8.000 m³/h**. Hay que tener en cuenta que ese valor no es constante, porque las oscilaciones de la marea no son siempre de la misma duración, pero la capacidad de bombeo es la misma que para el trasvase ordinario, 24.000 m³/h, con lo que se puede hacer la modulación que convenga y jugar con el pequeño volumen retenido o reserva de la presa de AACC. Es una **gestión intradía**.

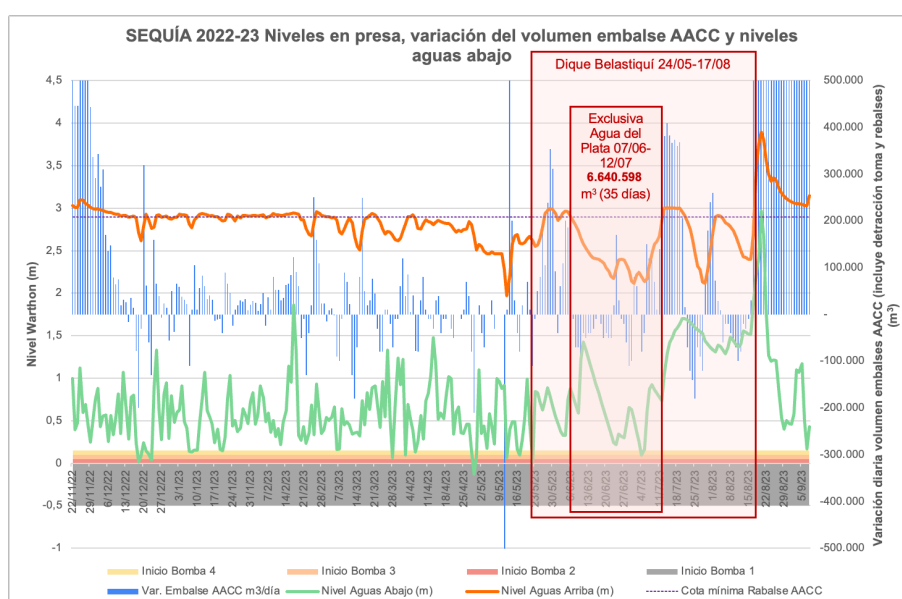


Figura 31 Registro de los niveles aguas arriba y aguas abajo de la presa de AACC y las variaciones de su volumen embalsado en el periodo de sequía 2022-23.

- La solución planteada en el proyecto Neptuno, **planta de Arazatí**, se ha ajustado respecto al estudio de factibilidad y, actualmente se ha reducido la capacidad máxima de tratamiento a **200.000 m³/día**. El volumen del embalse asociado a la planta, como elemento de seguridad ante las oscilaciones de la salinidad del agua del río de La Plata en el punto de captación, está todavía en discusión, pero en las hipótesis de trabajo se valora que pueda hacer frente a cualquier contingencia temporal de agua salobre en la toma de la planta en el río de la Plata.

Esta solución tiene una serie de características técnicas de las que conviene destacar una: **su aporte** no se hace en AACC, sino en el **tanque denominado Melilla**, depósito donde llega el agua potable de la planta de AACC por la línea de bombeo LB6. La salida de agua de este tanque viene condicionada por la demanda agregada que se ha denominado análogamente D6, en promedio histórico de 148.000 m³/día. Esta demanda es inferior a la capacidad de producción de la planta de Arazatí. Existe la posibilidad de reforzar la demanda D4 abastecida desde la línea de impulsión LB4, pero esto se hace con una conducción de emergencia que solamente se usa cuando hay problemas en la propia impulsión LB4. Esta conexión aun teniendo una capacidad máxima de 1.500 m³/h, no puede contarse con ella más allá de un caudal medio mensual equivalente a 850-900 m³/h (20-22.000 m³/día).



- La **presa de Casupá** tiene un proyecto a nivel ejecutivo (constructivo) de 2017 de la consultora Typsa-Engecorps, que determinó el **volumen útil en 118 hm³**. El proyecto contiene un estudio hidrológico que justificó el volumen de regulación. En ese momento se le exigió un caudal ambiental de q60. El efecto de Casupá que previeron era que se podía respetar el q80 en AACC y que, el trasvase ordinario desde aguas abajo de la presa de AACC hasta el embalse de captación no sería necesario. En la modelización hidrológica de este proyecto, se valoró que hubiera sueltas superiores al caudal ambiental o a la consigna de desembalse dictada desde AACC que fueran condicionadas por las necesidades de mejora de la calidad del agua del Santa Lucía en periodos de estiaje, viabilizando así el tratamiento del agua en la usina. El motivo es la generación de *blooms* algares con episodios de geosmina que pueden imposibilitar el tratamiento del agua en la planta tradicional de AACC. Para mantener esta calidad deseada se valoró que el caudal del Santa Lucía aguas abajo de la incorporación del arroyo Casupá no debería descender de los 3 m³/s.
- **Presa El Soldado**, analizada históricamente su ubicación en el arroyo del mismo nombre y valorada en estudios anteriores con una capacidad útil en **27 hm³**.
- **Presa Campanero**, con un proceso equivalente al anterior en materia de estudio elementales previos que determinaban la ubicación en el arroyo del mismo nombre y una capacidad útil en **15 hm³**. La presa Campanero está ubicada en el área de la ciudad de Minas, con lo que podría tener sinergias con la solución definitiva que se plantee en esa UGS.
- **Presa Rincón de Carballo**. Se trata de una presa ubicada en el río San José, con una previsión en estudios precedentes de volumen útil de **37 hm³** mayor que las presas alternativas a Casupá en la cabecera del Santa Lucía, y con la ventaja de poner a disposición un volumen regulado extra al actual aporte del Santa Lucía hasta AACC. Como dificultad, este aporte requeriría de la captación y bombeo de paso Valdez (incluso su ampliación) o bien de una conducción complementaria más aguas arriba que llevara el recurso por gravedad hasta la toma de la usina de AACC.
- **Pozos Raigón**. Idea elemental planteada a la luz de los aportes del estudio previo de caracterización, balance y diagnóstico del acuífero Raigón, el mejor estudiado del país y cercano al área de la UGS Metropolitana. En concreto, las valoraciones de extracción conservadoras están en unos **180 m³/h de extracción media**, lo que hace pensar en unas baterías de pozos a determinar su ubicación, que sumen 200 o más m³/h de capacidad instalada. Los pozos estarían en alguna zona de la margen derecha del río San José y podrían conectarse a la tubería de impulsión del San José o bien botar el agua al río para que ésta fuera captada en paso Valdez.
- **Planta** ubicada en **Santiago Vázquez** con tratamiento de **ósmosis inversa** para desalinizar el agua del río de La Plata, con concentraciones variables de salinidad. Esta planta estudiada a un nivel elemental en informes previos se valoró con una capacidad de **2 m³/s** de agua producida (captación hasta 4 m³/s) el equivalente a 172.800 m³/día. Como en el caso de Arazatí, la conducción del agua tratada se inyectaría directamente al **tanque Melilla**, que justo tendría esa capacidad de satisfacción de demanda propia (D6) o inducida (parcial D4) con la infraestructura de red de distribución actual.



4.2.4 Restricciones aplicadas

La normativa Uruguay en materia de **caudales ambientales** incluye una metodología para el cálculo de dichos caudales en cualquier curso de agua del país, con estacionalidad marcada por cuatrimestres, es decir, tras valores distintos a lo largo del año, según lo que ya se presentó en el diagnóstico, y que no es totalmente conclusiva para determinadas infraestructuras. En concreto, hay que destacar dos aspectos fundamentales:

- La normativa establece que tentativamente el caudal ambiental en una nueva **presa** debe fundamentarse en el q60 (percentil 40) de la serie histórica de aportes en el punto y en el q80 (percentil 20) para nuevas **captaciones o tomas**. Pero, en caso de infraestructuras existentes, establece la posibilidad de que estos valores se determinen, caso por caso para adecuarse y tener en cuenta los niveles de vulnerabilidad de los usos según se apliquen unos valores u otros.
- La norma no está aplicándose de forma obligatoria para las **infraestructuras existentes** en la medida que no hay un requerimiento a presentar estos estudios específicos y, por tanto, no hay un caudal definido que no pueda ser derivado por estas infraestructuras del curso fluvial.

Ante esta situación se ha aprovechado este estudio para hacer la determinación de los posibles valores de caudales ambientales. En concreto, en las tablas siguientes se presentan para todos los puntos de interés estos valores.

Tabla 9 Caudales ambientales en m^3/s según norma, basados en q60 para presas y q80 para tomas.

Punto	Curso fluvial	Base	AMJJ	ASON	DEFM
Presa de Paso Severino	Sta. Lucía Chico	q60	6,15	7,12	1,57
Presa Canelón Grande	A° Canelón	q60	1,07	1,31	0,31
Posible Presa de Casupá	A° Casupá	q60	2,54	3,09	0,74
Posible Presa de El Soldado	A° El Soldado	q60	0,74	0,90	0,22
Posible Presa de Campanero	A° Campanero	q60	1,06	1,28	0,31
Posible Presa de Rincón de Carballo	Río San José	q60	5,18	5,36	1,45
Captación presa AACC	Río Santa Lucía	q80	11,94	20,40	3,56
Captación Paso Valdez	Río San José	q80	3,66	4,68	1,05

Antes incluso de tantear simulaciones de escenarios alternativos, se analizó el grado de cumplimiento que hoy tendrían los valores expresados en la **Tabla 9**, y se pudo constatar que Tanto Paso Severino como Canelón Grande, con las series de caudales desembalsados desde 1991 hasta 2024 se incumplen ampliamente en el tiempo un caudal ambiental basado en el q60, incluso del q80, lo que significa la necesidad de hacer desembalses específicos incrementado las consignas de agua desembalsada para AACC (**Figura 32**). Con el q60 el 26% del tiempo se incumpliría en PS y un 45% en CG. Con el q80, los valores pasa a ser un 14% de incumplimientos en PS y un 40% en Canelón Grande.



PES para el sistema de agua potable del área Metropolitana (de Montevideo) y del Arroyo San Francisco en Ciudad de Minas, Uruguay
Informe Análisis de Alternativas y Protocolo del Escenario Objetivo

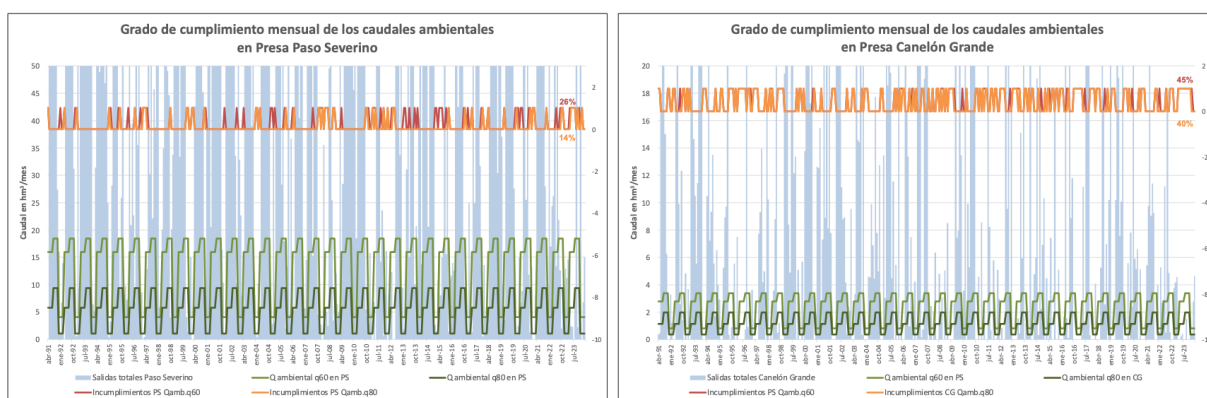


Figura 32 Grado de cumplimiento mensual de los caudales ambientales normativos en las presas de Paso Severino y Canelón Grande.

A raíz de estos datos, se planteó en el foro de la comisión de seguimiento, intentar que las simulaciones ya contemplaran el cumplimiento de los caudales ambientales al menos en el escenario consolidado, pero relajar estos valores a la realidad hidrológica de tener que manejar sequías y adaptarse a usuarios vulnerables ante estos condicionantes.

Tabla 10 Caudales ambientales en m^3/s aplicando valores menos restrictivos en las presas, basados en todos los casos en q80.

Punto	Curso fluvial	Base	AMJJ	ASON	DEFM
Presa de Paso Severino	Sta. Lucía Chico	q80	2,23	3,62	0,40
Presa Canelón Grande	A° Canelón	q80	0,44	0,77	0,15
Posible Presa de Casupá	A° Casupá	q80	1,05	1,82	0,35
Posible Presa de El Soldado	A° El Soldado	q80	0,31	0,53	0,10
Posible Presa de Campanero	A° Campanero	q80	0,44	0,76	0,15
Posible Presa de Rincón de Carballo	Río San José	q80	2,33	2,98	0,67

Tabla 11 Caudales ambientales en m^3/s aplicando valores de sequía en cualquier presa o captación basados en todos los casos en q90.

Punto	Curso fluvial	Base	AMJJ	ASON	DEFM
Presa de Paso Severino	Sta. Lucía Chico	q90	0,89	2,15	0,19
Presa Canelón Grande	A° Canelón	q90	0,24	0,49	0,08
Posible Presa de Casupá	A° Casupá	q90	0,57	1,15	0,20
Posible Presa de El Soldado	A° El Soldado	q90	0,17	0,34	0,06
Posible Presa de Campanero	A° Campanero	q90	0,24	0,48	0,08
Posible Presa de Rincón de Carballo	Río San José	q90	1,12	1,95	0,26
Captación presa AACC	Río Santa Lucía	q90	6,04	12,71	1,94
Captación Paso Valdez	Río San José	q90	1,76	3,06	0,40

En las tablas anteriores se recalculan los caudales cuatrimestrales de presas y captaciones para relajar la medida ambiental y reducir la presión en el sistema Metropolitano. Posteriormente en las simulaciones se valorará el efecto de poner estos caudales en cada momento de la evolución de la sequía y se irán determinando las propuestas en cada caso y de forma gradual con la intensidad de la sequía.



En el caso de la presa de **AACC** se ha hecho notar que el objetivo debería ser que haya **continuidad fluvial** y, en la medida de lo posible, siempre que se genere un pequeño rebalse.

Aparte de los caudales ambientales a pie de las infraestructuras, hay que tener en cuenta el valor ya comentado de **caudal objetivo de 3 m³/s en el río Santa Lucía aguas abajo de la incorporación de las aguas del A° Casupá**, con finalidad de garantizar la calidad previa del agua cruda al entrar en AACC, evitando efectos de contaminación algar en épocas de estiaje. Lógicamente, esta restricción no tiene sentido si no hay capacidad de regulación aguas arriba del punto definido.

4.2.5 Normas o reglas de operación aplicadas

La última variable de análisis en este proceso de simulación suele ser la más olvidada, pero se sabe que muchas veces es clave para hacer viable un sistema o garantizar el servicio de abastecimiento. Se trata de la regla de operación existente de la que también podrán valorarse nuevas variantes y cambios.

A) Situación actual

En estos momentos la regla de operación que se está siguiendo, y con la que se ha generado la calibración del modelo de GRH y el diagnóstico del sistema es la que sigue, indicando el número la prioridad que tiene cada origen del agua:

- 1°.** Agua **no regulada del río Santa Lucía**.
- 2°.** Agua **trasvasada** del remanso aguas abajo de la presa de AACC.
- 3°.** Agua consignada desde el embalse de **Canelón Grande***.
- 4°.** Agua consignada desde el embalse de **Paso Severino***.

Si estuviesen activas las obras realizadas en la emergencia de la sequía de 2022-23, estas se incorporarían seguidamente:

- 5°.** Agua del **río San José** por bombeo de Paso Valdez a embalse de AACC
- 6°.** Agua de trasvase proveniente del río de La Plata regulada en el **dique de Belastiquí**.

*NOTA muy importante: **el orden de CG y PS no es excluyente**, es decir, no se ha de vaciar CG para empezar a tomar agua de PS. En realidad, la gestión irá alternando ambas presas en aras de beneficiar un descenso equivalente en los dos embalses, aunque se comience primero por CG. A nivel numérico, se simularán ambas presas tramificando el embalse en tres zonas que con funciones de coste progresivas e intercalando zonas de CG y PS, de tal forma que vayan alternándose los recursos de una y otra presa.

Aunque el embalse de CG contempla un acuerdo de división de las reservas al 50% entre OSE y unos regantes locales, la realidad es que no se han constatado demandas importantes de estos regantes en la presa, con lo que no se tienen en cuenta detracciones extras. Sí se contabilizan las evaporaciones mes a mes en todos los embalses simulados.

Hay que recordar que el **caudal ambiental** se da con **máxima prioridad**, es decir, es una detracción al inicio de cada escalón temporal de cálculo antes de servir cualquier demanda. En el caso de los embalses, durante las simulaciones y para estar del lado de la seguridad el modelo despacha el caudal ambiental que le corresponda en la hipótesis de cada escenario, sin comprobar su disponibilidad en las entradas. En la realidad, en la medida que Ose tenga



un monitoreo continuo de los caudales entrantes a los embalses, sea por medición directa o a través de una algoritmia con data confiable, habría un segundo filtro que comprobara que el caudal despachado como ambiental no fuera nunca superior al caudal entrante en el conjunto del embalse.

En la actualidad, dentro de los Planes de Seguridad del Agua exigidos por URSEA a cada operador, OSE del sistema Metropolitano tiene un protocolo de sequía, que segrega los embalses por tramos para activar algunas medidas. El indicador es el nivel y, en concreto los valores determinados como umbrales son constantes durante el año y responden a tener reservas suficientes para poder servir la demanda de la usina AACC a más de 90, 60, 30 o menos días. Además, establece un caudal ecológico a soltar permanentemente en CG de 20.000 m³/día (equivalente a 0,230 m³/s) inferior durante 8 meses al año al caudal ambiental basado en el q80 expuesto en el apartado precedente. También se completa la operación del sistema marcando un régimen de encendido de bombas en el trasvase desde aguas abajo de AACC en función del nivel del agua medido en ese remanso. Concretamente, a partir de 0,2m de nivel están las 4 bombas prendidas; con niveles entre 0,2 y 0,15m funcionan 3 bombas; entre 0,15 y 0,10 hay 2 bombas prendidas y por debajo de 0,10 hasta 0m funciona una única bomba.

B) Situación consolidada

Si en el horizonte temporal 2035 o siguientes aparecen nuevas infraestructuras, éstas deben tener su propuesta de prelación u orden de entrada del recurso en función de la totalidad de las fuentes de que se disponga en cada escenario alternativo. En concreto:

- Si se incorpora la **presa de A° Casupá**, esta pasará a satisfacer consignas de desembalse de la usina de AACC en 3ª posición, tras el agua no regulada y el trasvase, de forma previa a CG, pero siguiendo el mismo principio de vaciado progresivo y alterno con las otras dos presas (tramificación del embalse).
- Alternativamente, si se incorporan las **presas de El Soldado y Campanero**, éstas ocuparán también la 3ª posición en el orden de prelación de fuentes, con los mismos condicionantes que los comentados para Casupá.
- En el caso que se opte por regular el río San José con la **presa de Rincón del Carballo**, de igual forma también ocuparán la 3ª posición en el orden de uso de las fuentes, con los mismos condicionantes de alternancia y progresividad con las otras presas existentes.
- Si se incorpora **Arazatí** se deberá adaptar el uso de la fuente, no solamente a los criterios de generación de máxima disponibilidad del conjunto de los recursos disponibles en esa alternativa, sino a los condicionantes técnico-administrativos del contrato planteado en el proceso en curso. En concreto, los primeros 100.000 m³/h de producción se han de consumir indistintamente del estado del resto de las reservas por generar un coste fijo, así que entran en 1º lugar. El resto de la producción de Arazatí entraría en 3º lugar tras el agua no regulada del río Santa Lucía y previamente al trasvase.
- En el caso de la planta de **OI de Santiago Vázquez**, debido al elevado costo de producción respecto al resto de fuentes, se podría incorporar a demanda después del agua consignada desde los embalses, como una medida vinculada a reforzar los aportes en estado de sequía o alerta previa a sequía.



4.3 Cambio de paradigma: demanda adaptativa y gestión de sequías

4.3.1 Gestión adaptativa

A diferencia del método tradicional de planificación, donde debe conseguirse un balance favorable de oferta media de recursos hídricos disponibles sobre la demanda máxima esperada, balance que se espera se dé todo el tiempo en el que está en funcionamiento la infraestructura que estamos diseñando, las situaciones de estrés hídrico o cuencas donde haya una fuerte descompensación entre la demanda y la oferta requieren una visión distinta.

Estamos hablando de un cambio de paradigma hacia una **gestión eficiente y adaptativa**, que permita superar en todo momento las variaciones interanuales de la disponibilidad de los recursos hídricos, es decir, asumir que las aportaciones no se van a dar como describe la media, sino que van a fluctuar a lo largo de los años, produciéndose momentos de exceso, pero también fuertes momentos de contracción o de sequía en los que no va a haber recurso disponible para satisfacer todas las demandas existentes.

En esos casos hablaremos de la combinación de varios factores: la **gestión de la oferta extraordinaria**, en los lugares donde esto sea posible y, una **gestión de la demanda** que conllevará la contracción de la misma a diferentes niveles de reducción en función de los diferentes estados de escasez hidrológica (**Figura 33** Balance dinámico y adaptativo).

En cuanto a la gestión de la oferta extraordinaria, ésta puede ser variada y dependerá del tipo de proyecto de infraestructuras existentes y, del propio tipo de demandas o usos que tenga el recurso. En el caso que nos ocupa no se pueden generar grandes aportaciones de oferta extraordinaria, que se restringirán a las infraestructuras ya testeadas en la última emergencia, ya que no hay capacidad de realizar nuevas conexiones a otras cuencas de forma rápida.



Figura 33 Balance dinámico y adaptativo

Las posibilidades que se han estudiado y que están justificadas en apartados posteriores de este informe, conlleva alternativas de aprovechamiento de recursos locales o utilización temporal de pozos de sequía.

Por otro lado, encontramos la gestión de la demanda. En este capítulo es importante destacar diferentes aspectos:



- **La gestión de la demanda debe ser progresiva y adaptativa.** Es decir, contraeremos las diferentes demandas no de forma drástica al principio, sino de forma paulatina en lo que llamamos la intensificación de los escenarios de sequía. Inicialmente para sequías leves, con una contracción parcial de la demanda pueden conseguirse ya buenos resultados, mientras que en situaciones de sequía extrema se requerirá de contracciones severas de la demanda. En el caso que nos ocupa, no hay más uso destacado que el abastecimiento de OSE Metropolitano, pero si hubiese otro uso destacable que compite por el recurso del uso principal, como unos regadíos, estas contracciones pueden ser distintas porcentualmente, y estarán justificadas por la tipología de uso, prelación y grado de adaptabilidad que tenga cada uno de esos usuarios o demandas.
- **La demanda de abastecimiento** puede reducirse gradualmente en función de la afección al confort del uso domiciliario, o la afección a las actividades económicas dependientes, puede conllevar desde prohibición de usos no fundamentales hasta finalmente restricciones o cortes de suministro. El primer escalón (sequía) será una reducción que se ha valorado en un 7% de la demanda objetivo y en un segundo nivel (emergencia) se supone reducible hasta un 10%. En el caso de que se supongan medidas de mejora de la eficiencia de la red de forma sostenida en el tiempo, de 5 a 10 años, se aplicará un valor extra de ahorro de 5 a 10 puntos porcentuales a añadir en cualquier escenario.
- En el caso de los **caudales ambientales**, se toman los basados en el q80 de la serie de caudales diarios históricos y se va a suponer que en sequía se reducen hasta un valor equivalente o proporcional al q90. En caso de emergencia, el valor se supone nulo para favorecer que las reservas solamente se condicionen a las consignas de desembalse de que requiera AACC con la máxima eficiencia posible

4.3.2 Construcción de umbrales

Para realizar la gestión de sequías se requiere, además de todo lo expuesto, establecer un criterio objetivo por el cual se declarará la aplicación de reducción de las demandas.

El mecanismo utilizado en estos casos suele ser un **indicador** medible, objetivo y representativo del estado de los recursos. La naturaleza de este indicador es variable según el caso, pero para el sistema que nos ocupa, que es medir la **escasez coyuntural** del sistema, el mejor indicador es el **volumen embalsado**. En el caso que nos ocupa, el volumen embalsado total entre las presas de Paso Severino y Canelón Grande. En el caso de sumar nuevas presas, podría añadirse ese volumen de reservas al indicador.

Además, se requiere un **umbral** de ese indicador, que es el valor límite en el cual cambia la aplicación de las medidas previstas de gestión de la demanda o, la activación de oferta extraordinaria. Esos umbrales deben cumplir también una serie de requisitos para minimizar las contracciones de la demanda, es decir, conseguir el resultado esperado de superación de los episodios de sequía minimizando la afección a los usuarios. Por eso, en general, los umbrales del escenario de sequía se adaptan a la forma hidrológica del llenado y descarga el volumen embalsado en las presas, puesto que es una relación directa entre la oferta y la demanda, donde los aportes se produce en época húmeda y casi no hay demandas (umbrales bajos), y la demanda satisfecha desde embalses (vaciado) se concentra esencialmente en época seca (umbrales altos).



Las **zonas o estados de sequía** representan el área donde, de encontrarse dentro la evolución de los recursos embalsados en un instante determinado, se aplican las demandas contraídas para esa zona, se activa algún nivel de oferta extraordinaria, o cambia la regla de operación. Puede haber tantas zonas de sequía como uno quiera y, el que haya más de una representa un ejercicio de reducción progresiva de la demanda o de aportación progresiva de oferta extraordinaria, que es distinta en cada caso, y que busca minimizar las afecciones a los usuarios para el mismo objetivo de superar la sequía, activando las medidas por escalones. En el caso que nos ocupa trabajaremos con una zona inicial que llamamos de sequía o excepcionalidad y un segundo nivel de restricciones que llamamos de emergencia. Como veremos posteriormente se pueden añadir más estados, como la alerta o la prealerta que servirían para activar medidas preventivas que no podemos modelizar numéricamente, pero que son clave para garantizar las hipótesis aplicadas en los estados de sequía y emergencia.

En la figura siguiente se muestra dos posibles evoluciones del indicador establecido, volumen de embalse y la activación de medidas. Cualquier evolución de nuestros recursos que esté fuera de las zonas de sequía (línea blanca), garantiza la satisfacción de las demandas completas previstas en el proyecto base y, solamente en los meses donde nuestra evolución de recursos se sitúe dentro de las zonas de sequía (línea marrón), se aplicarán las restricciones o se activará la oferta extraordinaria que están establecidas en este documento.

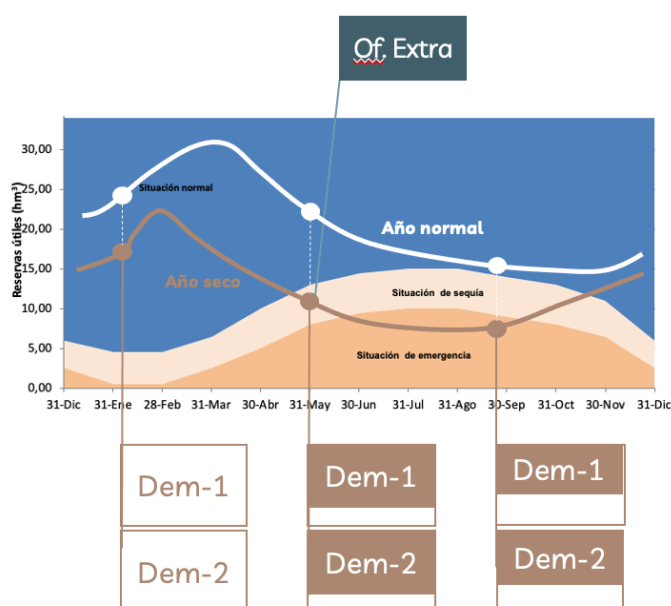


Figura 34 Zonas de normalidad y sequía delimitadas por umbrales con el indicador “volumen embalsado”.

Puede haber diferentes umbrales para cada una de las presas y zonas de sequía y, como ya se ha dicho anteriormente, esto intenta minimizar las afecciones o contracciones a la demanda, que como se muestra en la figura son mayores así se intensifica la zona de sequía. Hay que concentrarse en aquellas medidas que sean estrictamente necesarias para conseguir el objetivo de superar los episodios de sequía sin daños o fallos.

La determinación de estos umbrales y zonas de sequía se realizará exclusivamente en las **alternativas definidas con protocolo de gestión de sequías**.



4.3.3 Garantías asumibles

A falta de una normativa local que establezca los niveles de garantía asumibles en cada tipología de uso del agua, se van a considerar las recomendaciones internacionales y en particular la normativa de la Instructiva de Planificación Hidrológica (IPH) de España.

Tabla 12 Garantía exigible al sistema en cada año o mes (el límite habitual es según otras recomendaciones)

Usos	Base de Cálculo	Déficit Máximo	Nº fallos en sequía	Límite Habitual
Abastecimientos	Mensual	5%	0	96%
Ecológico	Mensual	0%	0	96%

En la **Tabla 12** se presentan las garantías básicas aceptables para el uso de abastecimiento o restricción ecológica del sistema Metropolitano distinguiendo que en cada mes de cálculo los abastecedores deberán recibir el 95% o más de la dotación objetivo por su criticidad como usuario y su rigidez a la hora de servir agua en cada momento (casi no se modifica el patrón de uso por condiciones externas. Para caudales ambientales, estos no pueden fallar en ninguna proporción.

Muy importante: el nivel de garantía aplicará a la demanda objetivo, sea la base o la que ya se haya modificado en el escenario de trabajo o situación hidrológica (normalidad, sequía y emergencia). Eso quiere decir que, si en sequía un abastecimiento debe disminuir cada mes el 10% de su demanda objetivo, se considerará satisfecho si recibe una cantidad de agua superior al 85,5% de su valor nominal (90% de dotación * 95% de garantía) y fallo estar por debajo.

Otro aspecto importante en la lectura de los datos es que la diferencia absoluta entre el valor objetivo y el valor recibido o servido se transforma en un **déficit** cuando se incumplen los valores de garantía de la tabla anterior. Por ejemplo, un usuario del abastecimiento metropolitano puede no presentar déficit, aunque haya un pequeño *gap* entre agua servida y demanda objetivo. Si el abastecedor en normalidad debía recibir 100 y recibió 97, hay un *gap* de 3, pero no es fallo porque el valor suministrado es superior a 95, valor definido como garantía.

4.4 Análisis de alternativas del escenario actual 2025

Como resultado de todas las combinaciones inicialmente acordadas con la comisión de seguimiento y, posteriormente modificadas en las sesiones de trabajo, se han calculado y comparado **múltiples alternativas** de las cuales se han sintetizado 5 para el **escenario actual**. Para el **escenario consolidado** se han analizado 7 alternativas en el caso del sistema Metropolitano.

En concreto los escenarios actuales modelizados son los que se presentan en la **Figura 35** con la caracterización de las variables en cada caso. En resumen:

- **ESC25-0**, denominado base. Esta alternativa mide el efecto sobre el sistema Metropolitano con la demanda esperada en 2025 y cumpliendo las restricciones ambientales si se dieran unas aportaciones equivalentes a las históricas. En definitiva,



mide el efecto de cumplir caudales ambientales (basados en q80) con lo que se conoce del sistema hasta la fecha.

- **ESC25-1**, donde se consolidan obras de emergencia de 2023 y se aplica un protocolo adaptativo de gestión de sequías donde llegados a estados de escasez hídrica, se reduce la demanda parcialmente y baja los caudales ambientales a un valor basado en q90.
- **ESC25-2**, caso anterior, pero se elimina la condición de dar caudales ambientales en AACC.
- **ESC25-3**, donde se somete al sistema y regla de operación con gestión de sequías del caso anterior, ESC25-2, a una serie de aportaciones alterada con cambio climático, que se ha denominado de escasez por contar con menos lluvia y más evapotranspiración.
- **ESC25-4**, última alternativa del escenario actual, idéntica a la anterior, pero cambiando la serie de aportaciones por una alterada más pesimista, con una reducción sistemática del 10% de los caudales respecto a la serie histórica.

Las simulaciones se han realizado sobre datos mensuales de aportaciones, en cada caso las que correspondan según las hipótesis de trabajo, refiriéndose a estas aportaciones como 33 años consecutivos sin vínculo con un año natural pasado. Por tanto, hablaremos del año 1 o del año 33, no de años reales, aunque los aportes hagan referencia a un año hidrológico histórico. Sólo como referencia, se recuerda en el año 33 corresponde al 2023.



PES para el sistema de agua potable del área Metropolitana (de Montevideo) y del Arroyo San Francisco en Ciudad de Minas, Uruguay
Informe Análisis de Alternativas y Protocolo del Escenario Objetivo

	Oferta	Demanda	Infraestructura	Restricciones	Normas
Esc25-0 Base	Histórica	Demanda 2025 (240 hm ³ /a fija)	Infraestructura Actual	Embalses q60	SL-T-CG-PS
Esc25-1 Sistema Actual ante serie histórica, obras de sequía consolidadas	Histórica + Aporte R.SJ + Aporte R. Plata	Demanda 2025 + Niveles 1 y 2 contrac. demanda	Infraestructura Actual + Obras sequía 2023	Embalses q80 y q90 en sequía	SL-T-CG-PS + Obras Sequía
Esc25-2 Sistema actual, serie h ^a , obras sequía, sin Q amb. en AACC en sequía	Histórica + Aporte R.SJ + Aporte R. Plata	Demanda 2025 + Niveles 1 y 2 contrac. demanda	Infraestructura Actual + Obras sequía 2023	Embalses q80 y q90 en sequía (AACC 0 siempre)	SL-T-CG-PS + Obras Sequía
Esc25-3 Sistema actual ante serie escasez (E3 CC) con medidas de sequía	Serie Escasez + Aporte R.SJ + Aporte R. Plata	Demanda 2025 + Niveles 1 y 2 contrac. demanda	Infraestructura Actual + Obras sequía 2023	Embalses q80 y q90 en sequía (AACC 0 siempre)	SL-T-CG-PS + Obras Sequía
Esc25-4 Sistema actual ante hidrología Pésima con Medidas de Sequía	Serie Pésima + Aporte R.SJ + Aporte R. Plata + Pozos Raigón	Demanda 2025 + Plan choque ANC + Niveles 1 y 2 contrac. demanda	Infraestructura Actual + Obras sequía 2023 + Pozos Raigón + Obras ANC	Embalses q80 y q90 en sequía (AACC 0 siempre)	SL-T-CG-PS + Obras Sequía

Figura 35 Resumen de caracterización de la combinación de variables de cada alternativa modelizada en el escenario actual 2025 en AM.



4.4.1 Escenario ESC25-0, base

¿Qué pasaría si el sistema Metropolitano con la demanda esperada en el 2025 y cumpliendo las restricciones ambientales afrontara un futuro de aportaciones como las registradas en los últimos 33 años?

Con esa pregunta se confecciona un escenario que dista de las hipótesis de cálculo utilizadas para el diagnóstico en que, en este caso, se están aplicando las demandas de un futuro inminente o a corto plazo y los caudales ambientales según lo que establece la norma. En esta variante tampoco se tiene en cuenta las obras construidas durante la sequía ni un procedimiento gradual de reducción de demanda en el caso de las que las reservas se acerquen a su agotamiento. Se trata de probar el sistema con los nuevos requisitos de demanda y ambiental siguiendo la operación ordinaria para valorar la frecuencia y la intensidad de los fallos, determinando así el riesgo del sistema.

En este primer escenario se van a comentar los gráficos tipo de la salida del modelo que nos permiten interpretar el comportamiento de la UGS metropolitana y, este análisis se hará con mayor detenimiento para transmitir adecuadamente el sentido y función de cada gráfico. A partir de los escenarios siguientes los gráficos mayoritariamente se van a ir repitiendo, con lo que las explicaciones se van a centrar en las diferencias respecto a los casos anteriores. En muchos casos requeriremos de algunas ventanas que nos permitan centrar la visión para encontrar los detalles que hacen distintos los resultados de un escenario u otro.

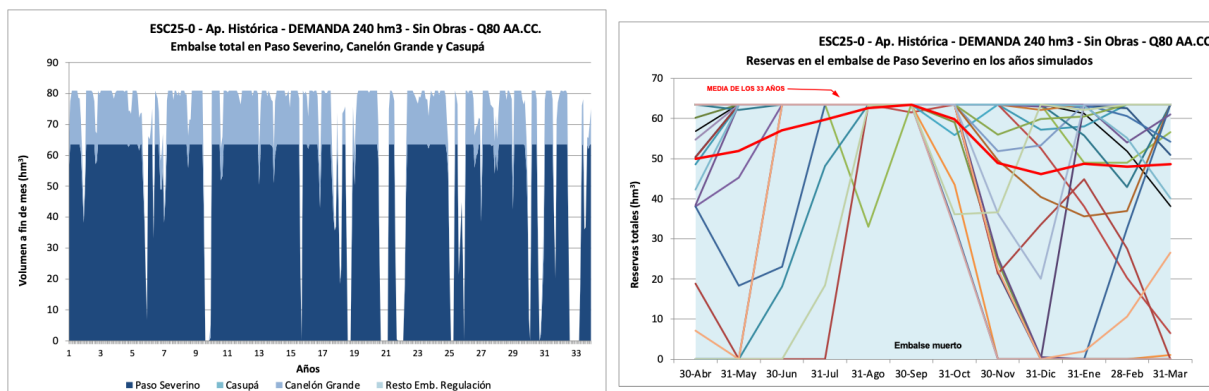


Figura 36 Simulación ESC25-0. A la izquierda evolución mensual de las reservas embalsadas de PS+CG. A la derecha evolución anual de todos los años hidrológicos simulados.

En la figura anterior observamos que en esta simulación el sistema no es capaz de mantener el conjunto de las reservas de Paso Severino y Canelón Grande en varios episodios de sequía y en algunos casos de forma sostenida los embalses permanecen vacíos durante varios meses. Para más detalle, en el gráfico de la derecha pueden observarse esos largos períodos de diversos meses sin agua y el comportamiento totalmente errático de la evolución de las reservas.

En el gráfico siguiente se presenta la demanda anual servida en color azul y el déficit en rojo como volumen de demanda objetivo que no ha sido cubierta. Observamos la multitud de fallos que presenta el sistema y la intensidad de los mismos donde en algunos casos se supera el 30% de la demanda de abastecimiento no servida. También se observan la



concatenación de años donde no se cubre toda la demanda como a lo que representa un sistema en escasez crónica, situación intolerable.

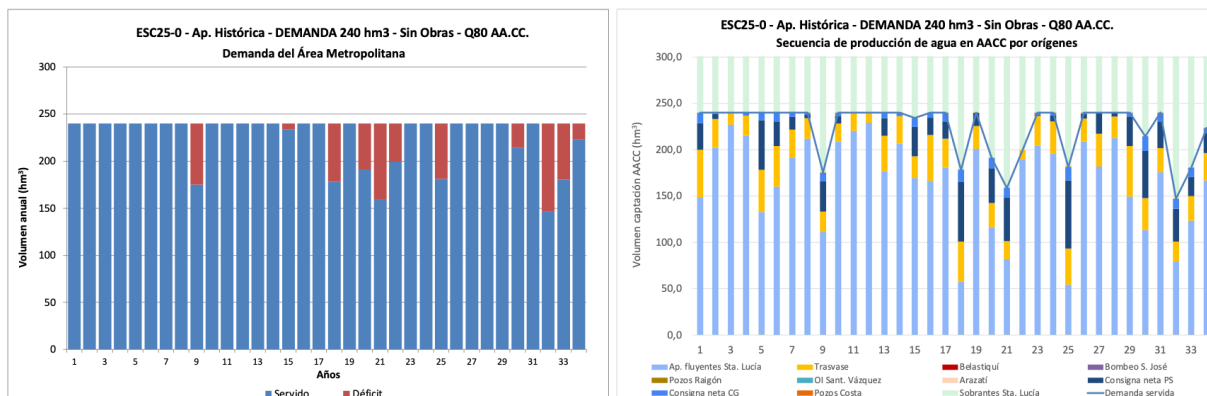


Figura 37 Simulación ESC25-0. A la izquierda demanda AM servida y déficit anual. A la derecha demanda servida como suma de volúmenes de distintos recursos o fuentes.

En la **Figura 37** derecha se puede observar como la demanda mayoritariamente servida primero por los aportes fluyente del Santa Lucía, es decir, el agua no regulada y posteriormente el trasvase. A medida que el año sea hidrológicamente más seco entran las reservas de los embalses hasta su completo agotamiento en los años 9, 18, 20, 21, 25, 30, 32 y 33 de la simulación.

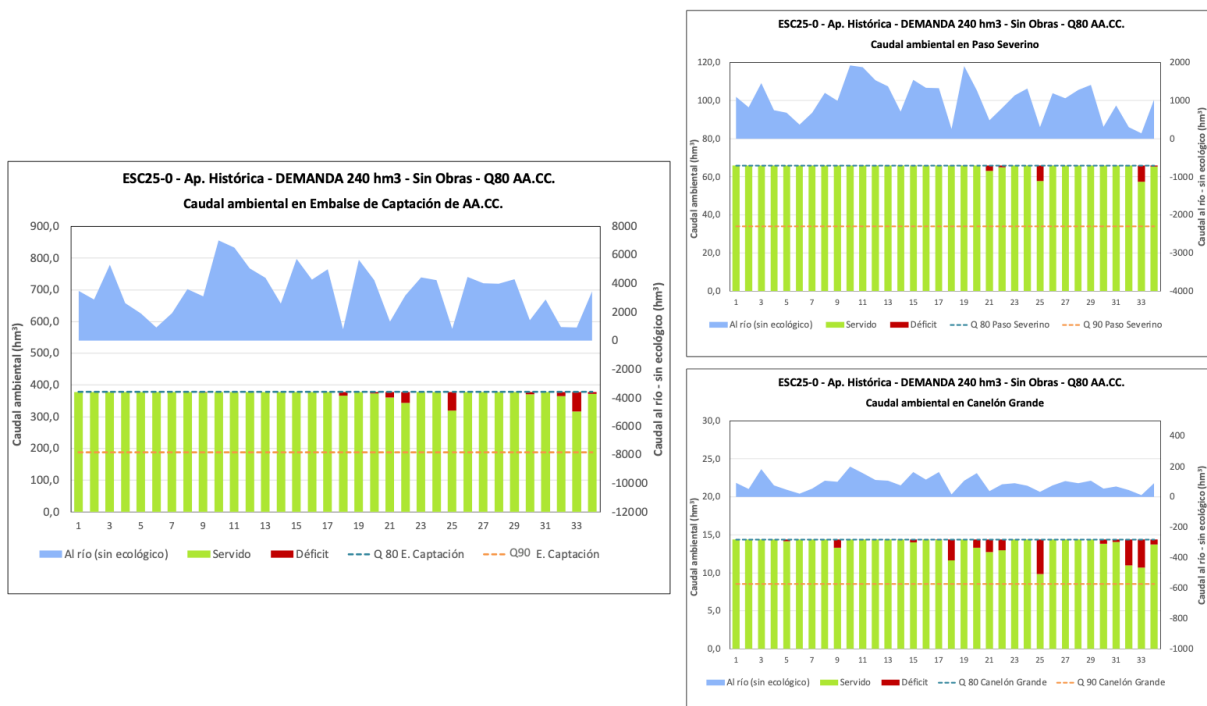


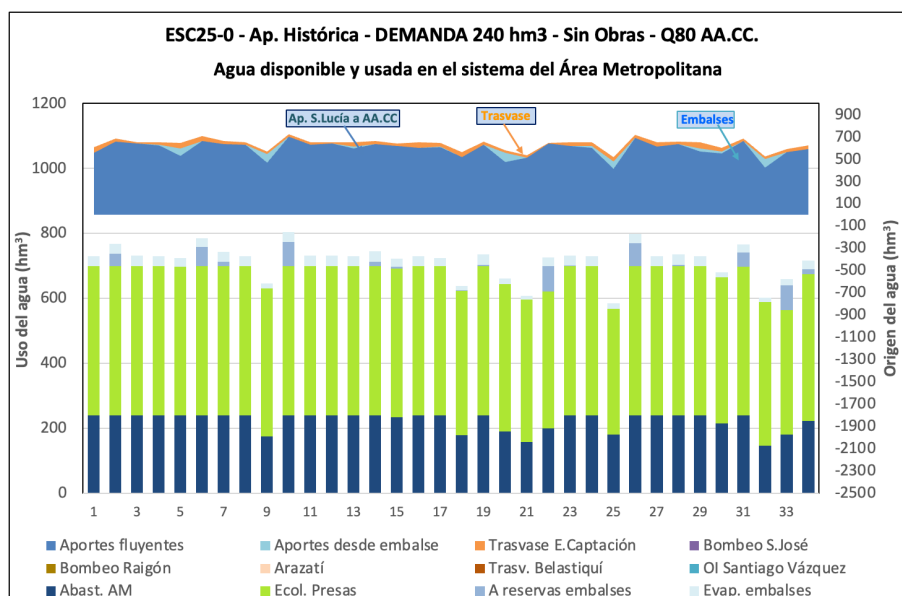
Figura 38 Simulación ESC25-0. Grado de cumplimiento de los caudales ambientales dónde la fracción de color rojo significa un volumen anual objetivo de caudal ambiental no cubierto o déficit. A la izquierda el caudal ambiental en Aguas Corrientes, a la derecha superior en presa Paso Severino y en derecha inferior presa de Canelón Grande.

En la figura anterior se presenta un gráfico equivalente de seguimiento de caudal ambiental donde se observa el incumplimiento sistemático de los caudales en todas las presas, pero en particular, en la presa de Canelón Grande. Hemos de recordar, tal como hemos explicado en el apartado de restricciones aplicadas 4.2.4, que el caudal ambiental se detrae del sistema antes de satisfacer cualquier demanda, por lo que los niveles de déficit detectados son menos



intensos que los detectadas en el abastecimiento, hecho que también es intolerable por la prelación de uso que el abastecimiento poblacional tiene.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta el balance del sistema metropolitano describiendo año a año, en qué se destinan los recursos ya sea al abastecimiento de la metrópoli, las descargas para garantizar los caudales ambientales, las reservas de agua sobrante en los embalses hasta agotar su capacidad o las pérdidas por evaporación. A la vez nos expone de dónde proviene esa agua, diferenciando aquellos caudales del río Santa Lucía que no son regulados y que son la fracción mayoritaria, de los que provienen de embalse o la recirculación a través del trasvase a los pies de la toma de Aguas Corrientes. Los gráficos están preparados para poder visualizar otras soluciones tanto el escenario actual como del escenario consolidado, por eso podemos observar leyendas complejas donde aparecen fuentes de recurso que no siempre están representadas en todas las figuras.



¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. Simulación ESC25-0. Gráfico de balance del sistema AM. A nivel anual, en la parte superior se presentan los orígenes del agua, mientras que el histograma inferior acumula los volúmenes servidos para cada uso o restricción ambiental, incluyendo la evaporación o el agua que se ha podido reservar en los embalses.

Interesados en saber cómo está funcionando flujo de recursos en cada momento, la figura siguiente nos presenta evolución mensual y anual del trasvase, diferenciando el trasvase sistémico que se viene realizando en los meses de menor aportación del río Santa Lucía al que se le ha denominado trasvase preventivo, de los trasvases puntuales de mayor magnitud que se generan para modular esta descompensación entre el agua fluyente del río Santa Lucía, tanto regulada como desembalsada, y la demanda necesaria en la toma de AACC. En periodos secos los trasvases forzados aumentan. Debido al mecanismo de funcionamiento del modelo, el trasvase no tiene una limitación, puesto que se desconocen los caudales fluyentes en el último tramo del río Santa Lucía, que a su vez están afectados por los rebalses de la propia toma de AACC. Ante esta situación y, por el hecho de que los valores anuales del trasvase son muy elevados, en la **Figura 40** se ha representado a nivel mensual el trasvase versus la evolución de los rebalses de la presa de AACC y, de forma secundaria, las reservas de los embalses del Santa Lucía. Salvando casos muy puntuales, en general los rebalses de la propia captación fruto de las eficiencias aplicadas en la toma de AACC, garantizan la existencia de un caudal superior al de trasvase. No obstante, en las situaciones críticas



vinculadas a sequías intensas, esto no es así. Por tanto, puede ser que la hipótesis de trabajo esté del lado de la inseguridad, y que cuando se está aportando un volumen muy importante del trasvase se dé la paradoja que no exista un recurso disponible equivalente en el tramo final del río. Todo esto incrementa la **incertidumbre de los niveles de servicio de esta hipótesis o alternativa** que ya de por sí hemos comentado son muy malos, con déficits sistémicos en el agua servida para el abastecimiento e incumplimientos severos del régimen de caudales ambientales.

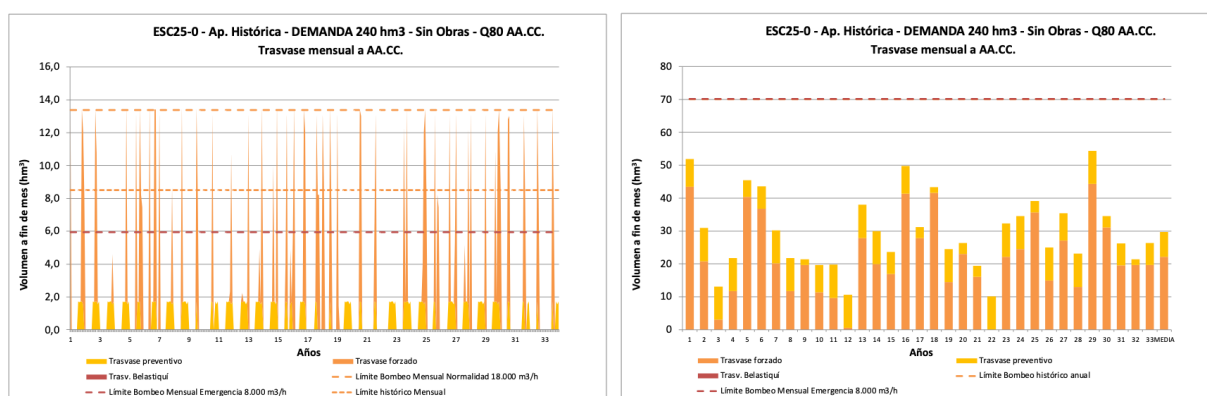


Figura 39 Simulación ESC25-0. A la izquierda volúmenes mensuales trasvasados en AACC versus los límites máximos técnicos e históricos. A la derecha gráfico equivalente a nivel anual.

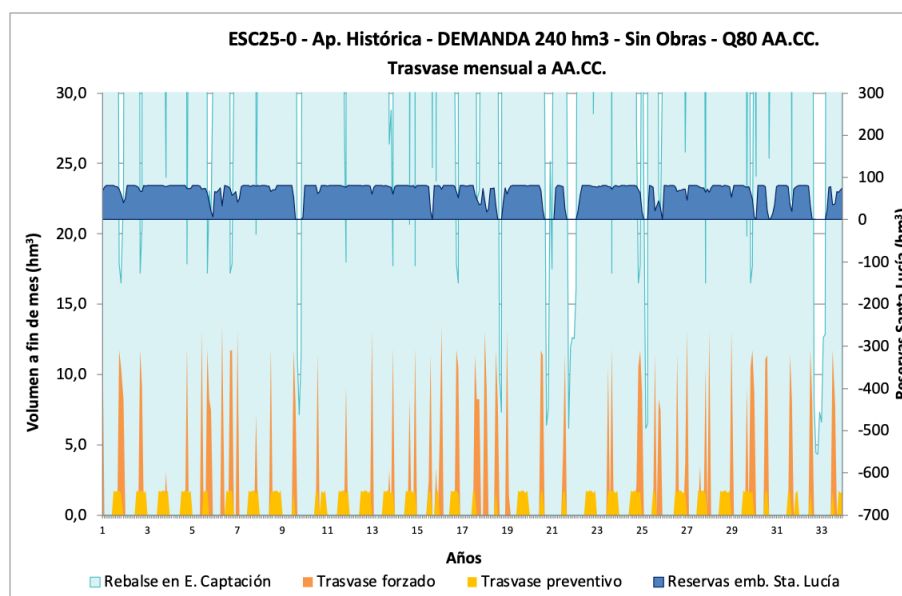


Figura 40 Simulación ESC25-0. Volúmenes mensuales trasvasados en AACC, conjuntamente con rebases en la empresa de captación y reservas en el sistema de embalses del río Santa Lucía.

El siguiente juego de gráficos está destinado a valorar comparativamente las reservas del embalse Paso Severino con respecto a los volúmenes desembalsados, distinguiendo aquellos que responden a un rebalse, de aquellos que son realmente una consigna de desembalse necesaria para satisfacer la demanda de la planta de AACC. Hay que decir que esta hipótesis desembalsa caudales ambientales, con lo que buena parte del agua rebalsado o desembalsado con fines de cumplimiento del caudal ambiental en la presa Paso Severino,



posteriormente pueden ser utilizados como volumen que satisface parte de la demanda de la planta de AACC.

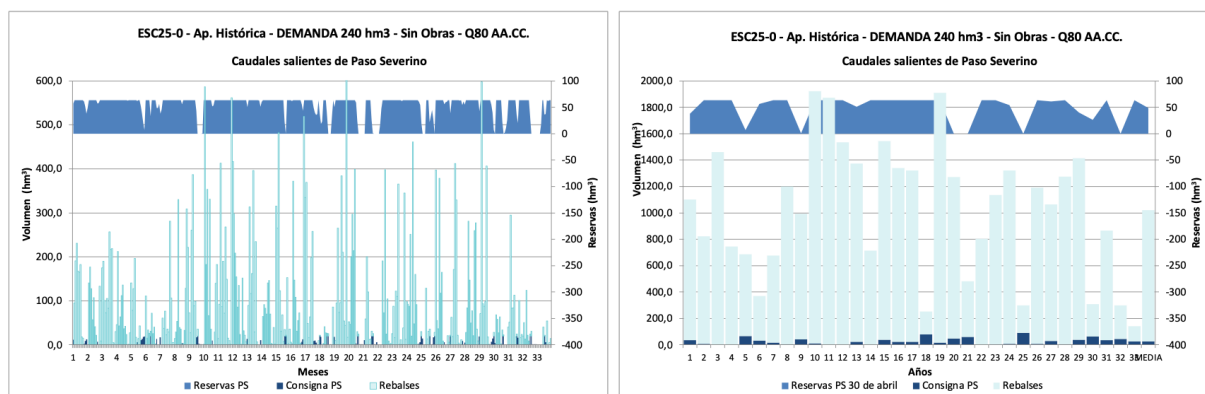


Figura 41 Simulación ESC25-0. Reservas de Paso Severino y destino de las aguas salientes, ya sean consignas directas desde la planta de AACC o el resto de los caudales rebalsados o regulados por fondo. A la izquierda valores mensuales y a la derecha a nivel anual.

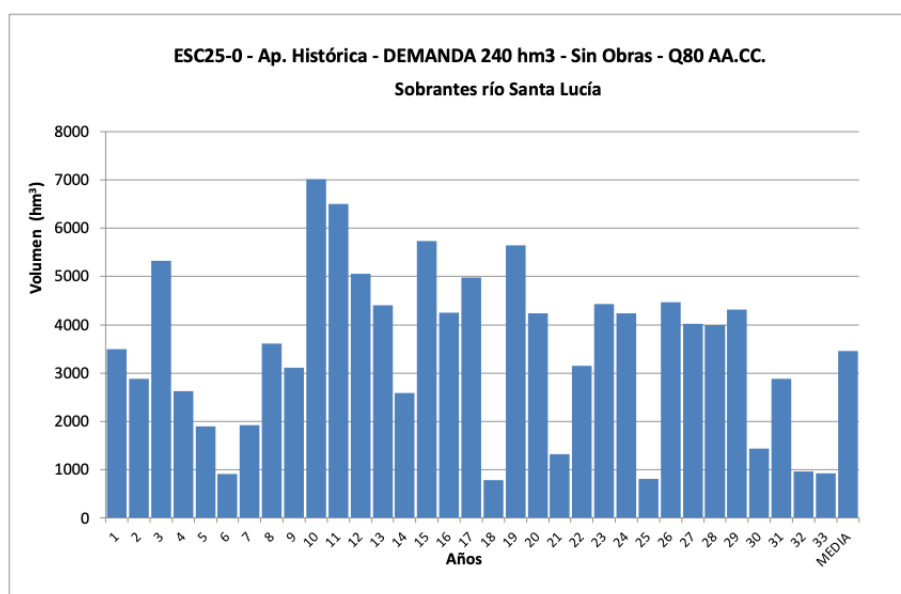


Figura 42 Simulación ESC25-0. Volúmenes anuales sobrantes aguas abajo de la presa de captación de AACC.

Finalmente, los sobrantes del río Santa Lucía nos denotan que, incluso habiendo situaciones de escasez muy intensas donde se incumplen los caudales ambientales y los caudales destinados al servicio del abastecimiento, puntualmente existe un volumen de agua no utilizable del propio río Santa Lucía que se va al Plata. Eso es fruto del bajísimo grado de regulación que tiene el río. Ese bajo grado de regulación tiene dos consecuencias polarizadas:

- Generalmente hay muchísima más agua disponible de la estrictamente necesaria y no se puede almacenar para episodios de sequía o simplemente para modular el régimen hidrológico de una forma más constante u homogénea.
- Por otro lado, esa falta de almacenamiento de agua sobrante con un volumen sumando las capacidades de los dos embalses en la Cuenca del Santa Lucía es insuficiente para poder garantizar las necesidades del sistema por un período de varios meses consecutivos sin aportes intercuenca importantes. Ese período ni tan



solo es un año, si lo comparamos con una demanda mensual media de la planta de aguas corrientes en torno a 20 hm³, sin contar las necesidades ambientales.

En definitiva, **este escenario nos plantea un sistema que falla sistemáticamente** a unos niveles insostenibles desde el punto de vista del servicio metropolitano y deja clara evidencia de que **no es posible cumplir los caudales ambientales de la norma propuesta**, es decir, aquellos basados en el q60 para embalses y el q80 para captaciones como la presa de AACC.

Para plantear un escenario factible de operación (escenario base) es necesario cuestionar las hipótesis de trabajo y hacer algunos cambios.

4.4.2 Escenario ESC25-1

Entre esos cambios cabe la pregunta, ¿qué pasaría si consolidamos las obras de sequía 2023 y aplicamos un protocolo de gestión de sequías para gestionarlas y regular la demanda? Ese protocolo sería una aproximación en este caso a lo expuesto en el **apartado 4.3** de este documento. Según lo expuesto en ese apartado debemos escalonar nuestra demanda y la incorporación de determinadas fuentes de recurso, en función del estado hidrológico o el nivel de intensidad de la sequía. Además, la restricción ambiental, visto que es un tema clave en el colapso del modelo en el escenario anterior, debería ajustarse a valores menores que garanticen su cumplimiento.

En concreto, se adoptaría que todos los caudales ambientales, sea en embalses o captaciones, se basen en el q80 de la hidrología en sus cuerpos de agua en situación de normalidad. En cambio, llegados a un primer nivel de sequía, esos valores también se reducirían a aquellos fundamentados en el q90 y en situaciones de emergencia directamente sería anulado su cumplimiento. De la misma manera y con los fundamentos de los valores de reducción de la demanda ya expuestos, basando el nivel de contracción temporal en el ahorro conseguido en el episodio de sequía de 2023, en la **Figura 43** se exponen las contracciones de demanda que se aplican en esta alternativa, conjuntamente con los cambios de régimen del trasvase y el momento donde entrarían los aportes bombeados desde el río San José.

AACC	Demanda Objetivo	-7%	-10%
Q ambiental	Basado en el q80	Basado en el q90	Se anula
Trasvase	18.000 m ³ /h	12.000 m ³ /h	Cambia a Belastiquí
Oferta Extraordinaria	Captación en el río San José		

Figura 43 Resumen de las hipótesis de trabajo de la simulación ESC25-1.

En las imágenes de la siguiente figura, la evolución de las reservas embalsadas no es posible distinguir a simple vista una mejora significativa de dichas reservas a lo largo del periodo de simulación. Es cierto que puntualmente hay años donde en la nueva simulación los embalses no descienden tan intensamente, pero en líneas generales se repite el mismo patrón de vaciados bruscos y largos periodos de permanencia con los embalses vacíos.

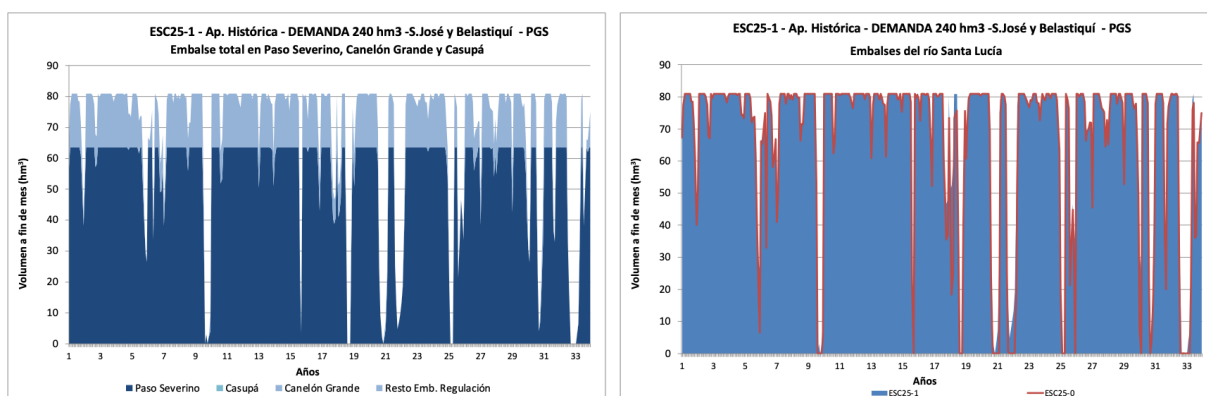


Figura 44 Simulación ESC25-1. A la izquierda la evolución de las reservas de los embalses PS y CG. A la derecha, la misma evolución conjunta de reservas superponiendo en línea roja la evolución simulada anteriormente ESC25-0.

En la figura siguiente vemos que la demanda servida mejora sustancialmente respecto al caso anterior (ESC25-0 en línea roja superpuesta) aunque siguen presentándose múltiples déficits, algunos de una intensidad considerable, teniendo en cuenta que estamos hablando de un abastecimiento urbano, y, en particular, la concatenación de un período de más de un año (años 32 y 33). En la figura de la derecha vemos que la distribución de los recursos que satisfacen la demanda ya recoge la incorporación del agua del bombeo del río San José y un complemento del volumen de trasvase en períodos secos que requiere de la presencia del dique de Belastiquí.

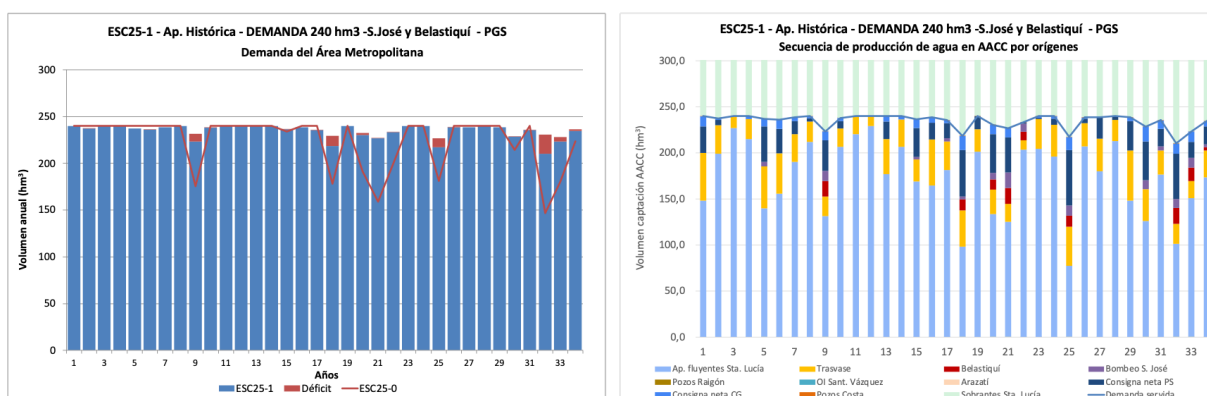


Figura 45 Simulación ESC25-1. A la izquierda demanda AM servida y déficit anual, superponiéndose en línea roja la evolución de la demanda servida del ESC25-0. A la derecha demanda servida como suma de volúmenes de distintos recursos o fuentes.

La reducción de los requisitos de los caudales ambientales, además de beneficiar al abastecimiento, plantea una alternativa donde es mucho más factible su cumplimiento. En las figuras siguientes podemos observar como, en general, estos caudales se cumplen, teniendo en cuenta que en épocas de escasez se reducen los valores y, por tanto, podemos apreciar columnas comprendidas entre los valores de referencia de q80 y q90 para cada punto. En particular, en el caso de Canelón Grande sí se dan incumplimientos, algunos de ellos con carácter mensual inconexos dentro de un mismo; no obstante, esos déficits no representan volúmenes muy elevados.

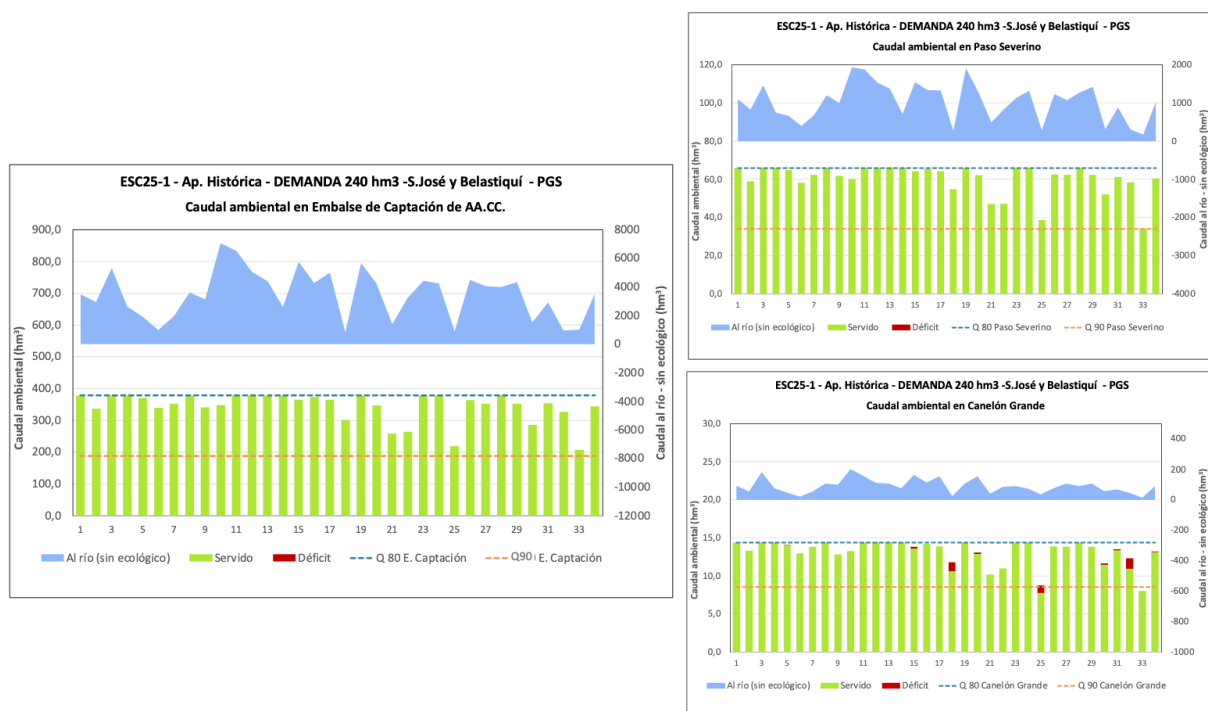


Figura 46 Simulación ESC25-1. Grado de cumplimiento de los caudales ambientales. A la izquierda toma de Aguas Corrientes, a la derecha superior presa de Paso Severino y, en derecha inferior, presa de Canelón Grande.

En la **Figura 47** se puede observar como el volumen medio del trasvase es elevado, alrededor de los 30 hm³ al año en muchos casos, pero en hasta 5 oportunidades se superan los 50 hm³ en un año, y en muchos casos, un 25% de los años, se está haciendo uso de la función reguladora del dique de Belastiquí, que implicaría un incumplimiento de calidad en el agua servida, algo que no es tolerable con esa recurrencia y persistencia (varios meses consecutivos incluso superando un año).

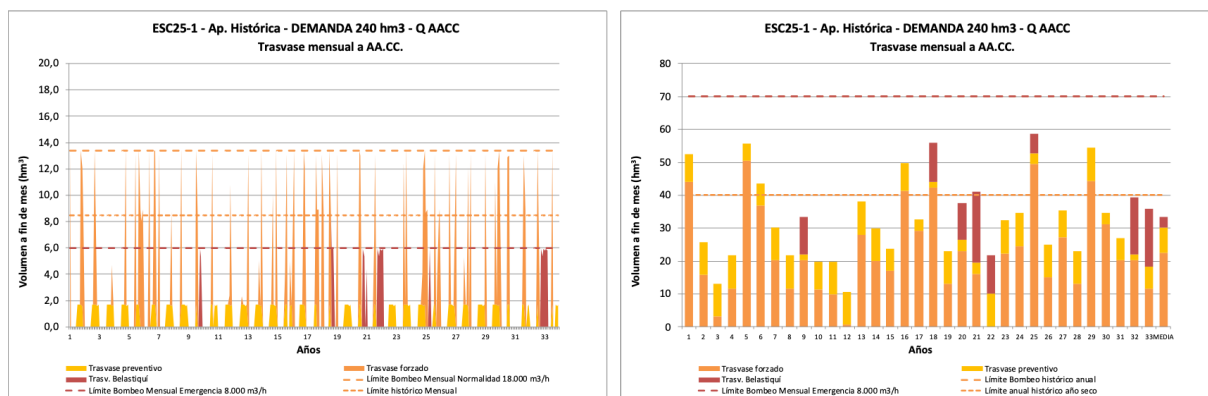


Figura 47 Simulación ESC25-1. A la izquierda volúmenes mensuales trasvasados en AACC versus los límites máximos técnicos e históricos. A la derecha, gráfico equivalente a nivel anual.

En esta oportunidad hay la posibilidad de incorporar agua del río San José a través del bombeo desde Paso Valdez y, la simulación nos arroja unas necesidades que se representan en la **Figura 48**. Se aprecia cierta sistemática en la utilización de esta agua incluso en años muy secos donde sería cuestionable su disponibilidad real, ya que hablamos de acumular hasta 10 hm³ o más. En cualquier caso, esta infraestructura más que un funcionamiento vinculado a sequías acabaría teniendo una función estructural y, debería incorporarse como elemento permanente, también en meses donde hubiera mayor garantía de los aportes del



río San José. Esta reflexión veremos que no es necesaria en otras alternativas porque los valores demandados son mucho menores.

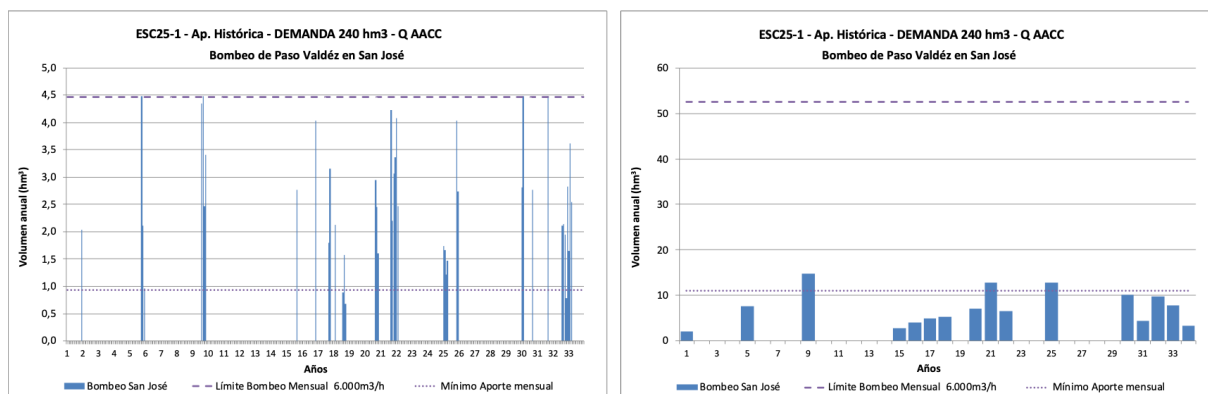


Figura 48 Simulación ESC25-1. A la izquierda volúmenes mensuales de agua del San José bombeados en Paso Valdez versus los límites máximos técnicos. A la derecha, gráfico equivalente a nivel anual.

El balance del sistema difiere mucho en las cantidades totales anuales del que veíamos en el ESC25-0, pues en normalidad ya se ha bajado a valores fundamentados en el q80, y ahora también se modulan junta a la contracción de la demanda de abastecimiento, restringiendo los valores de caudal ambiental.

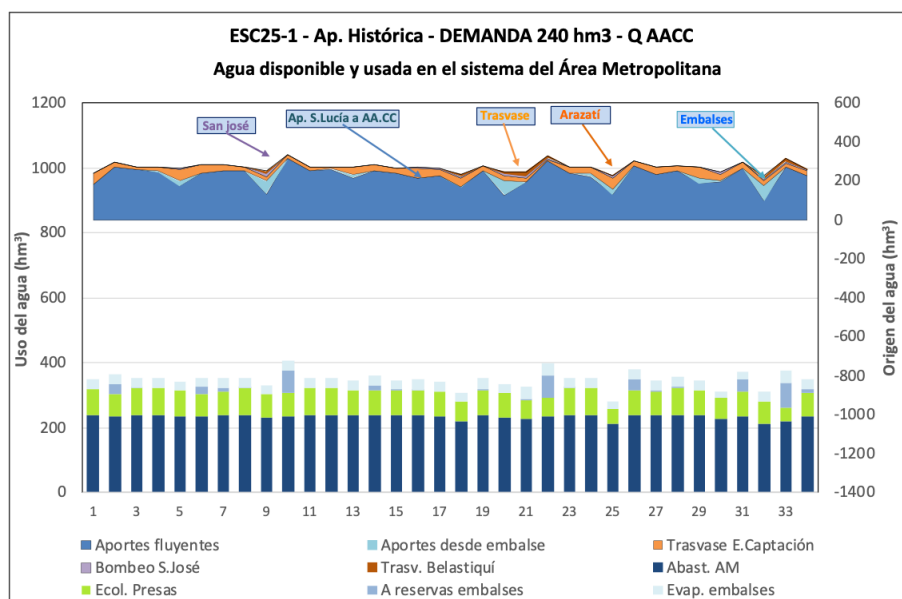


Figura 49 Simulación ESC25-1. Gráfico de balance del sistema AM a nivel anual (evolución de reservas y demandas).

Para poder definir los cambios de contracción de la demanda por la disminución de los valores de restricción ambiental en función del estado hidrológico, se ha definido un indicador de escasez basado en la suma de las reservas en los embalses de Canelón Grande y Paso Severino y, sobre este indicador, se han supuesto unos umbrales de cambio de estado que mide la intensidad de la sequía y dan respuesta con las medidas adaptativas que sean expuesto en la **Figura 43**. En la siguiente figura, se presenta el aspecto que tienen estos umbrales a lo largo de los meses del año y, la simulación mensual de la evolución de las reservas de ambos embalses con respecto a los umbrales, el anaranjado llamado primer nivel de sequía y el rojo el de emergencia. Cada vez que la línea de reservas cruza una de estos umbrales hay un contador de meses de permanencia en el estado de sequía correspondiente.



Ese contador se muestra en la parte superior del gráfico derecho de la **Figura 50**, como una línea que puede tener 3 posiciones: cero es la normalidad, un primer escalón es la sequía y un segundo escalón la emergencia. Estos gráficos se van a ir repitiendo a lo largo de las diferentes hipótesis para poder comparar el efecto que tienen las medidas en la permanencia en la evolución de las reservas y a la vez cuantificar la permanencia la cantidad de tiempo que estas están activas y afectando la demanda. En concreto en este caso los meses de permanencia en sequía son un 16% y los de emergencia un 7%.

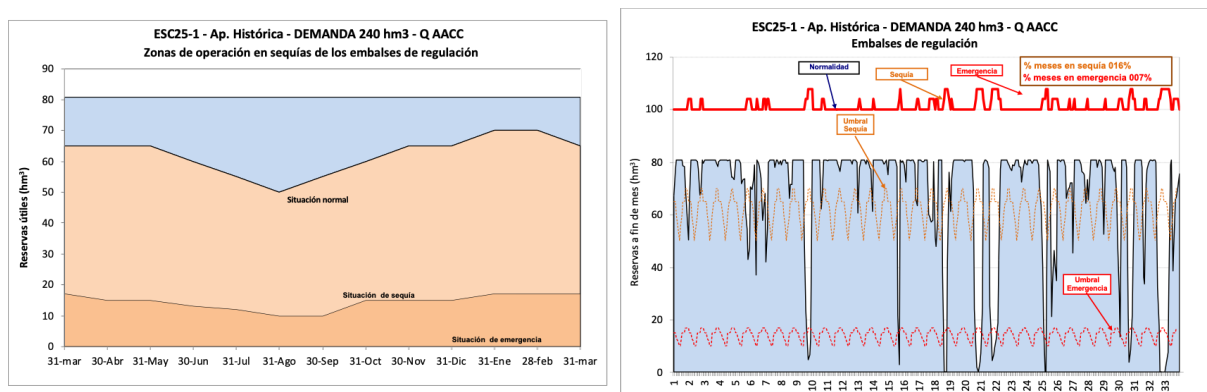


Figura 50 Simulación ESC25-1. A la izquierda posibles umbrales de definición de estado hidrológico. A la derecha evolución en los niveles de reservas en PS+CG, umbrales y línea superior como contador de meses en cada estado de sequía.

En conclusión, este escenario demuestra el efecto radical en términos de garantía que tiene el cambio de los valores asignados a los caudales ambientales, fruto de interpretar que en las presas existentes de Paso Severino y Canelón Grande sería factible la justificación de los caudales basados en el q80 y no en el q60 de la norma. Eso, conjuntamente con la reducción de estos caudales ambientales y de las demandas de forma progresiva a medida que se intensifica la sequía, sirve para superar los fenómenos más intensos que veíamos en el escenario anterior, pero **mantienen el fallo en algunos años (7% del tiempo) con intensidades importantes** sin evitar algún vaciado completo de las reservas, incluso **aplicando más del 20% del tiempo de simulación medidas excepcionales**. Además, la gran necesidad de aportes extraordinarios también plantea duda de ciertas disponibilidades de recurso en el río San José, e implica la permanencia no solo del bombeo de Paso Valdez, sino también el dique de Belastiquí que entraría en juego muchas veces, con el consiguiente problema de incumplimiento de la calidad del agua servida en la red urbana.

4.4.3 Escenario ESC25-2

¿Dónde ver una mejora respecto a escenario anterior sabiendo que las medidas de gestión tienen una capacidad de maniobra muy limitada con respecto a la pérdida de recursos que se genera en algunos episodios de sequía intensa? Sin duda la respuesta está en el caudal ambiental que se sigue suministrando de forma estricta para Aguas Corrientes. Eso quiere decir que los caudales ambientales de las presas en la medida en que no haya que cumplir un caudal ambiental en la presa de captación, pueden ser captados y reutilizado como agua cruda por la planta de abastecimiento de AACC, mientras que el estricto cumplimiento de caudales ambientales en dicha presa, en algunas situaciones sequía no pudo darse por el caudal no regulado del río Santa Lucía y se ha de liberar de las reservas embalsadas para dejarlos transitar hasta la desembocadura del Santa Lucía en el río de La Plata.



Tal como está configurado el modelo, las ineficiencias asignadas a la toma de AACC con respecto a las consignas de los embalses, garantizan rebalses, con lo que podemos hablar de un cierto caudal de continuidad, si bien no sea comparable al valor teórica de caudal ambiental exigible por la norma. Este escenario ESC25-2 analiza qué ocurre cuando aplicamos esta modificación en las hipótesis de partida y se anulan los caudales ambientales en la presa de AACC.

	NORMALIDAD	SEQUÍA	EMERGENCIA
AACC	Demanda Objetivo	-7%	-10%
Q ambiental	Basado en el q80 Se anula en AACC	Basado en el q90 Se anula en AACC	Se anula
Trasvase	18.000 m ³ /h	12.000 m ³ /h	Cambia a Belastiquí
Oferta Extraordinaria		Captación en el río San José	

Figura 51 Resumen de las hipótesis de trabajo de la simulación ESC25-2.

En la evolución de las reservas embalsadas de la **Figura 52** se observa una mejora substancial ya a simple vista: en el gráfico de la izquierda, donde en ningún momento las reservas de los embalses se vacían y mayoritariamente se mueve en un rango superior al 50% de su capacidad, pero también se puede apreciar la mejora comparativamente en el gráfico de la derecha con el escenario de partida o escenario base (línea roja).

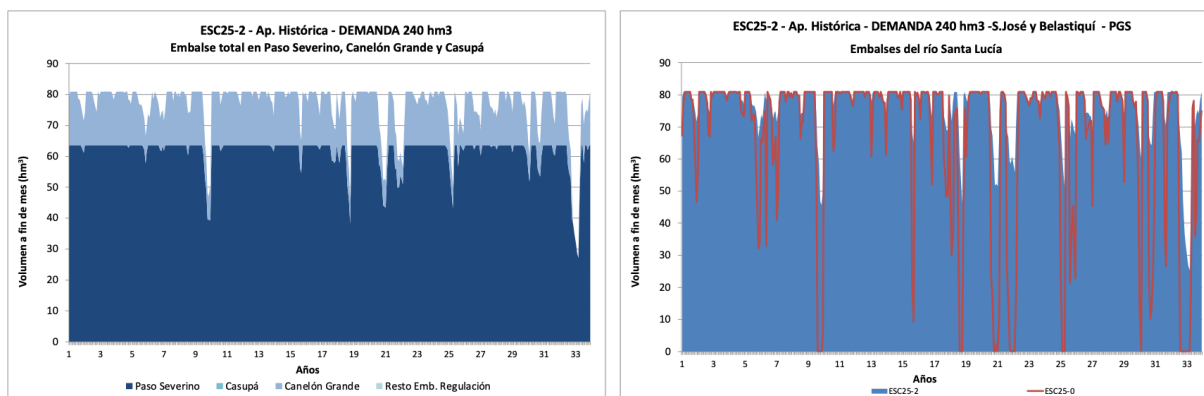


Figura 52 Simulación ESC2521. A la izquierda la evolución de las reservas de los embalses PS y CG. A la derecha, evolución conjunta de reservas versus la evolución del escenario base ESC25-0.

En la figura siguiente podemos apreciar los volúmenes anuales servidos para el abastecimiento sin ningún tipo de déficit y muy por encima de los valores del escenario base. Las pequeñas adaptaciones de la demanda en épocas de sequía representan reducciones muy pequeñas prácticamente inapreciables. La satisfacción de esta demanda se da mayoritariamente con agua no regulada del río Santa Lucía y el **trasvase que es clave para poder hacer frente a los periodos de sequía**, ya que el grado de regulación de la cuenca es muy bajo.

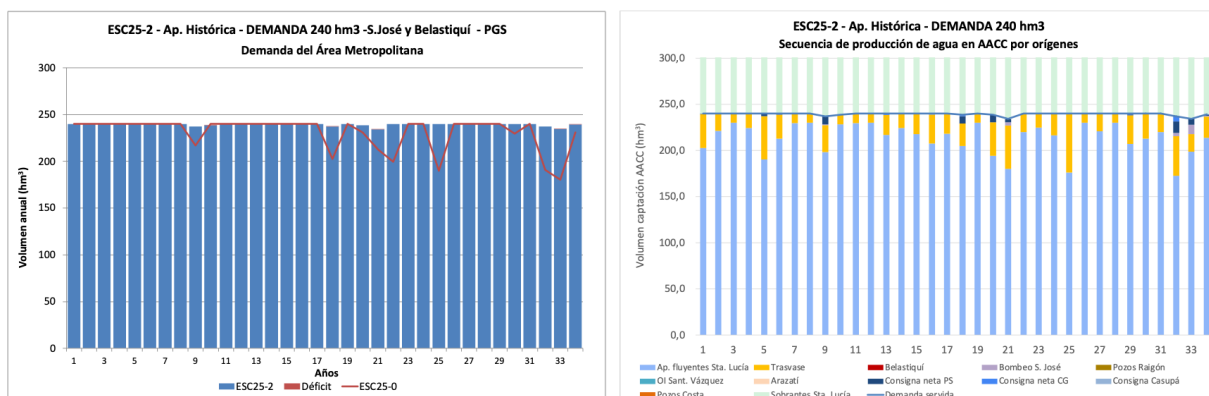


Figura 53 Simulación ESC25-2. A la izquierda demanda AM servida y déficit anual, superponiéndose en línea roja la evolución de la demanda servida del ESC25-0. A la derecha demanda servida como suma de volúmenes de distintos recursos o fuentes.

La **Figura 54** a diferencia de los anteriores no presenta caudales desembalsados con el objetivo ambiental en AACC, y podemos ver en el resto de las gráficas que el cumplimiento de caudales ambientales en las presas es seguro en el caso de Paso Severino y con ligeros déficits, en un par de años, en el caso de Canelón Grande. También pueden apreciarse las disminuciones del valor ambiental desembalsado los años secos, cuando se ha aplicado el q90 si las reservas se encontraban en estado de sequía.

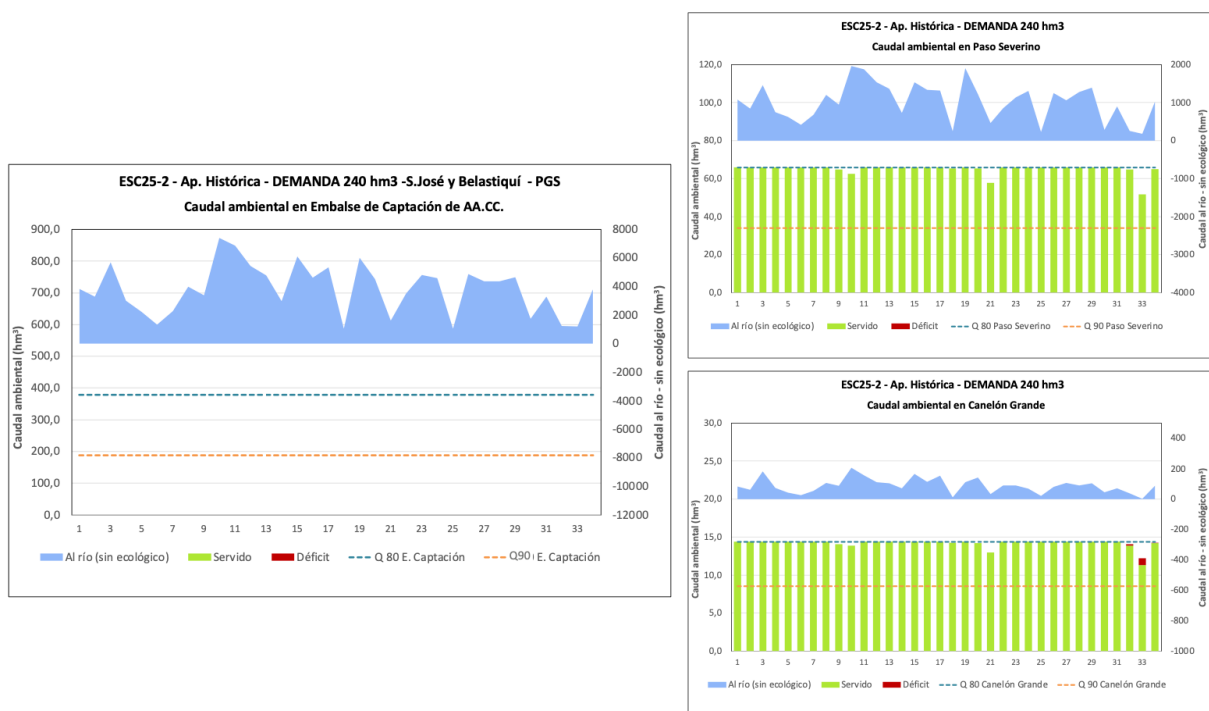


Figura 54 Simulación ESC25-2. Grado de cumplimiento de los caudales ambientales. A la izquierda toma de Aguas Corrientes, a la derecha superior presa de Paso Severino y, en derecha inferior, presa de Canelón Grande.

Las siguientes figuras muestran el detalle mensual y anual de los aportes provenientes del trasvase y del bombeo de Paso Valdez. El trasvase reduce mucho su presión respecto al caso anterior y ahora se promedia cerca de 20 hm³ al año, aunque en años secos puede llegar a dar valores superiores a 60 hm³, en ningún caso se activa la utilización del dique de Belastiquí, pues no llega a estado de emergencia, lo que significa que el servicio de agua no será afectado



en su calidad por efecto de la sequía. Los aportes previstos desde el río San José son poco significativos y siempre por debajo de los límites técnicos del bombeo.

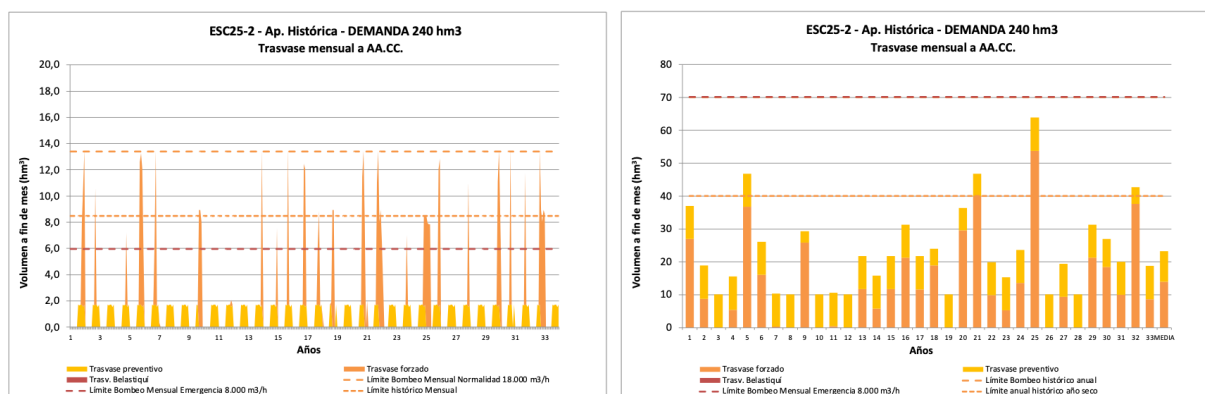


Figura 55 Simulación ESC25-2. A la izquierda volúmenes mensuales trasvasados en AACC versus los límites máximos técnicos e históricos. A la derecha, gráfico equivalente a nivel anual.

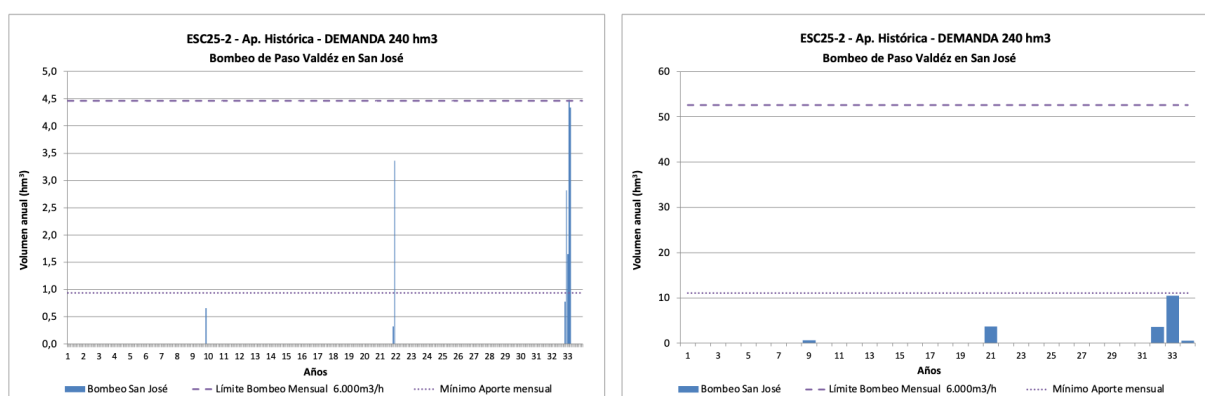


Figura 56 Simulación ESC25-2. A la izquierda volúmenes mensuales de agua del San José bombeados en Paso Valdez versus los límites máximos técnicos. A la derecha, gráfico equivalente a nivel anual.

El balance demuestra un equilibrio entre el servicio de agua potable y el caudal ambiental y, el aporte del trasvase continúa siendo clave para garantizar el conjunto, ya que los periodos de ahorro o de aporte de recursos en los embalses son cortos, como se aprecia en la **Figura 57**.

Para asignar las medidas adaptativas sobre la demanda y la obligación ambiental, se han utilizado unos umbrales distintos al escenario anterior. En este caso se han podido tantear unas fronteras de los estados hidrológicos menos restrictivas, estableciendo primero los límites de la emergencia en unos valores que no se sobrepasen nunca en esta hipótesis. Los umbrales de sequía se han determinado en la posición que permite que con las medidas excepcionales activadas se evita la emergencia, minimizando el valor y configurándole una forma hidrológica (temporada húmeda – temporada seca), puesto que la serie histórica demuestra que las probabilidades de entrar en sequía para un mismo nivel de reservas son distintas cada mes. La **Figura 58** nos muestra la evolución simulada de las reservas con estos condicionantes y un contador de estados de sequía que demuestra que en esta hipótesis, el **porcentaje de meses aplicando medidas excepcionales es el 3,79%** y nunca se entra en emergencia. Las **reservas mínimas** en el peor momento simulado son cercanas a **30 hm³**, muy por encima del vaciado producido en 2023.

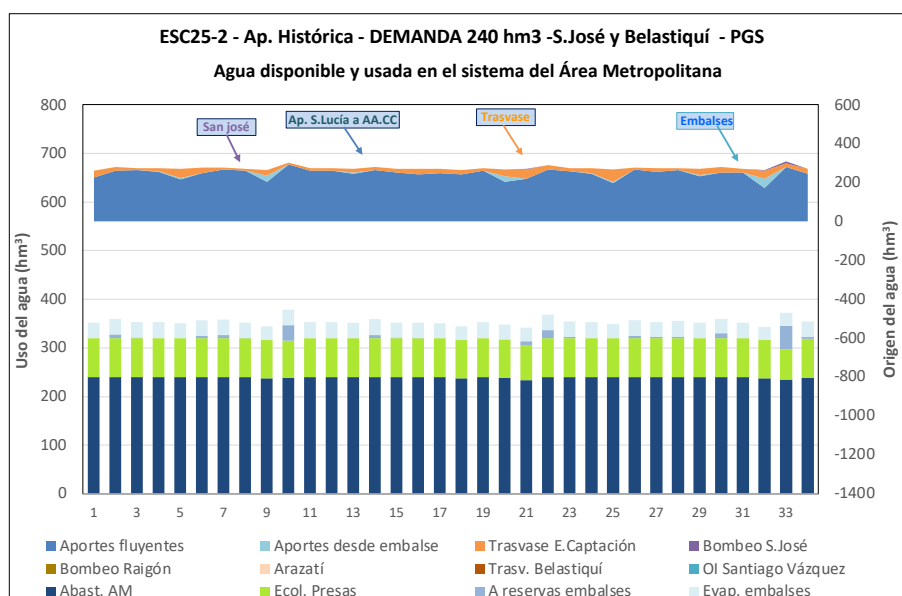


Figura 57 Simulación ESC25-2. Gráfico de balance del sistema AM a nivel anual (evolución de reservas y demandas).

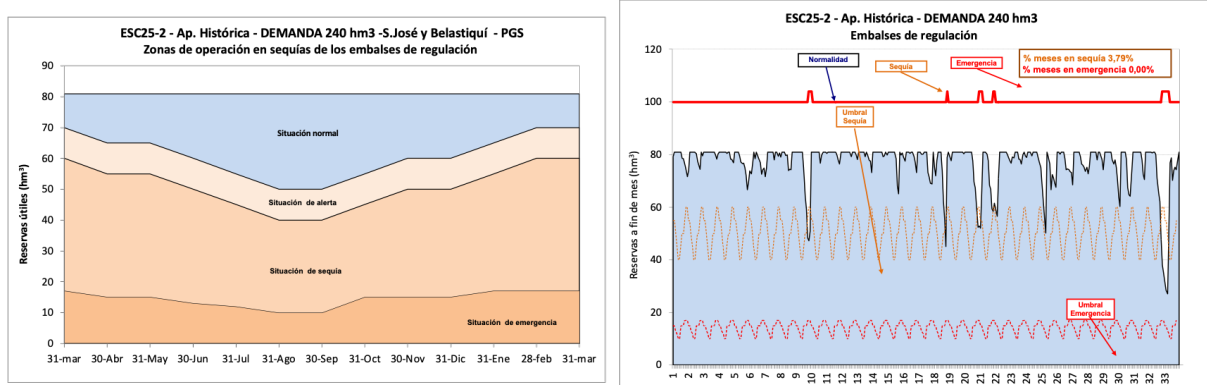


Figura 58 Simulación ESC25-2. A la izquierda posibles umbrales de definición de estado hidrológico. A la derecha evolución en los niveles de reservas en PS+CG, umbrales y línea superior como contador de meses en cada estado de sequía.

La evolución ordenando todos los años por meses en el ciclo hidrológico, de abril a marzo podemos comparar el punto de partida del escenario base con el simulado en el escenario actual. En la figura siguiente se comparan ambos gráficos y se puede observar como los vaciados sistémicos que se producían en el escenario base ya no se da en el escenario actual. Los embalses se comportan de una forma mucho más homogénea y mayoritariamente en la parte alta, con la línea promedio de los 33 años simulados que se aproxima con mucho a la capacidad máxima del embalse de Paso Severino.

En conclusión, **el sistema no falla**, y las **declaraciones de sequía son mínimas**, evitando la activación de las medidas de emergencia cuyo umbral queda lejos de la mínima reserva mensual modelizada. En este caso, la pregunta más apropiada sería si la serie de aportes histórica es confiable de cara al futuro, o conviene probar la robustez del sistema metropolitana con una serie empeorada.

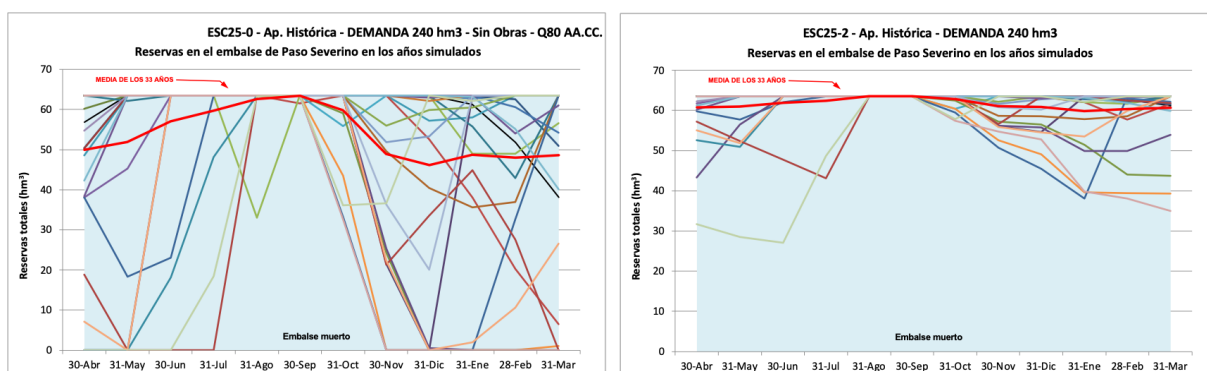


Figura 59 Simulación ESC25-2. Evolución intra anual de toda la serie de simulación de reservas en el embalse de Paso Severino, comparando a la izquierda el escenario base ESC25-0 y a la derecha el escenario ESC25-2.

4.4.4 Escenario ESC25-3

¿Qué pasaría si al ESC2 le sometemos a una serie de aportaciones peor que la registrada históricamente? Para ello como ya se ha comentado en el **apartado 4.2.1** donde se han analizado las variantes de oferta, se puede elegir una primera propuesta de aportaciones alternativa extraída de los escenarios climáticos modelizados en el **proyecto Euroclima***. En concreto, de los dos escenarios analizados, el denominado La Niña perpetua o E4 y el denominado sequía intensa **E3**; es este último el que tiene mayor interés por ser más extremo en sus efectos sobre los aportes. Este escenario reduce significativamente las aportaciones medidas. Para hacer la simulación, de los 100 años de datos que se calculan en el proyecto, se ha hecho una selección de 2 tramos de años consecutivos simulados que sumen 33 años y que permiten poder comparar las simulaciones en la misma ventana temporal. A esta serie se le denominará **serie escasez** ya que, aunque inicialmente puede parecer muy negativa ya que la aportación media se ha reducido a algo más de la mitad de la serie histórica, lo cierto es que los mínimos mensuales son mayores que los de la serie real y, finalmente las consecuencias son que el sistema mantiene prácticamente el mismo nivel de servicio que con la serie histórica.

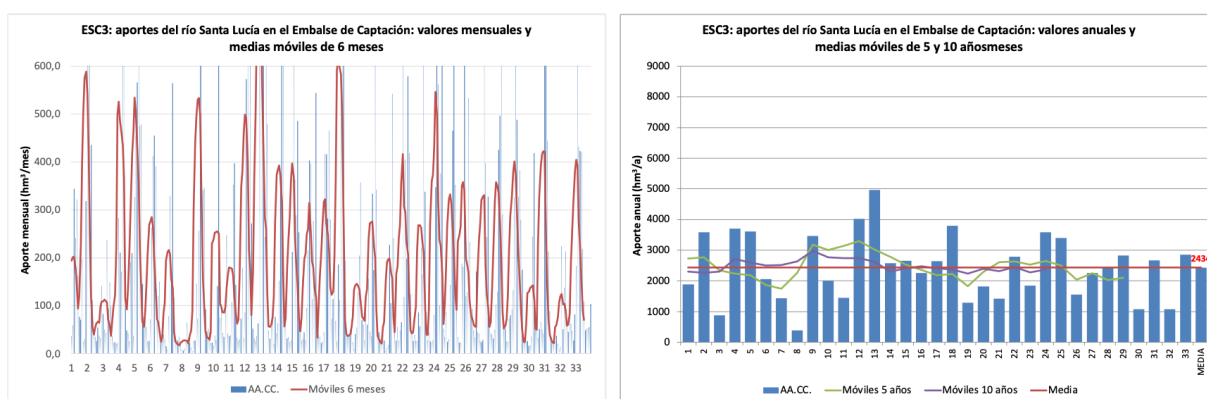


Figura 60 Serie de aportaciones alterada con cambio climático según el escenario E3 del proyecto Euroclima*. A la izquierda datos mensuales y a la derecha valores anuales y promedio.

Para configurar las hipótesis de trabajo de esta alternativa repetimos las realizadas en el escenario anterior y simplemente se cambia la serie de aportaciones, por tanto, no se altera el escalonado de valores de demanda en función del estado de sequía ni el régimen de caudales ambientales que se va a aplicar, así como la entrada en funcionamiento y limitaciones del trasvase o de la captación del río San José.



	NORMALIDAD	SEQUÍA	EMERGENCIA
AACC	Demanda Objetivo	-7%	-10%
Q ambiental	Basado en el q80 Se anula en AACC	Basado en el q90 Se anula en AACC	Se anula
Trasvase	18.000 m ³ /h	12.000 m ³ /h	Cambia a Belastiquí
Oferta Extraordinaria		Captación en el río San José	

Figura 61 Resumen de las hipótesis de trabajo de la simulación ESC25-3.

Comparando la evolución de las reservas de los diversos embalses en el río Santa Lucía en este escenario con respecto al escenario base, tal como muestra la figura siguiente, se puede observar claramente una mejora y en líneas generales una situación muy alejada del colapso o vaciado de los embalses, por tanto, muy parecida al ESC25-2. En realidad, en el gráfico que diferencia los volúmenes embalsados en Canelón Grande y Paso Severino, vemos sequías en posiciones distintas a las que se tenían en la serie histórica, pero los mínimos no son peores.

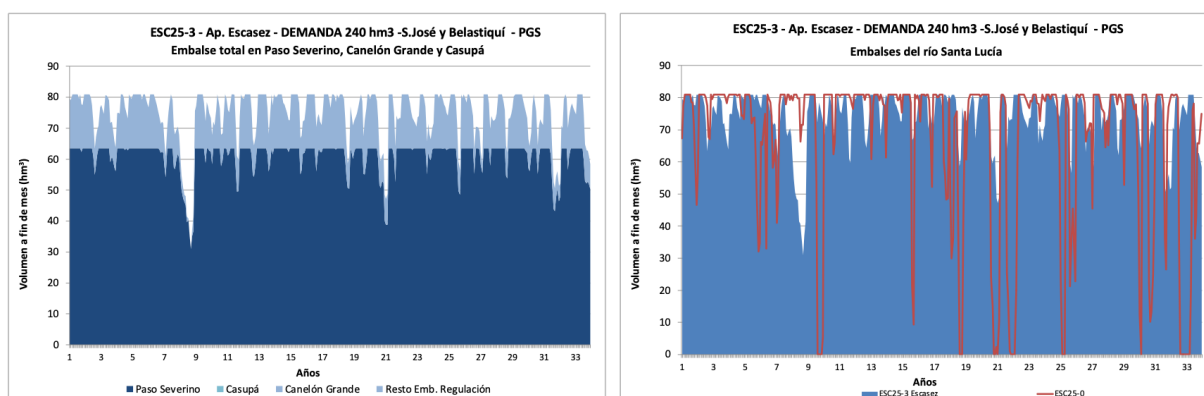


Figura 62 Simulación ESC25-3. A la izquierda la evolución de las reservas de los embalses PS y CG. A la derecha, evolución conjunta de reservas versus la evolución del escenario base ESC25-0.

La demanda satisface sin ningún déficit al abastecimiento metropolitano, aunque puntualmente los años que hay sequía haya una pequeña reducción del volumen anual. Es muy parecida también a la que se ha obtenido en el ESC25-2 aunque, como ya se ha comentado, los años en los que se producen las reducciones de demanda son distintos. Hay una gran mejora respecto al escenario base como también lo había en el escenario anterior.



Figura 63 Simulación ESC25-3. A la Izquierda demanda AM servida y déficit anual, superponiéndose en línea roja la evolución de la demanda servida del ESC25-0. A la derecha demanda servida como suma de volúmenes de distintos recursos o fuentes.



La satisfacción de la demanda nuevamente se suele hacer de forma mayoritaria a través del agua no regulada del Santa Lucía y la complementación con el trasvase (**Figura 65**), pero no en gran medida y, muy puntualmente los embalses son los que tienen un peso crítico. El caso del bombeo de San José es testimonial, como se aprecia en la **Figura 66**.

En el caso de los caudales ambientales, éstos siguen un patrón muy parecido al escenario ESC25-2 y, como ocurría con la demanda de abastecimiento los años en los que no se logra dar la consigna máxima de caudal ambiental son distintos, pero los efectos son similares: solamente se da algún déficit puntual en el caso de Canelón Grande y ninguno en Paso Severino. Por supuesto, se está incluyendo en la figura siguiente el gráfico de caudal ambiental en AACC para demostrar que no aplica en este caso tampoco.

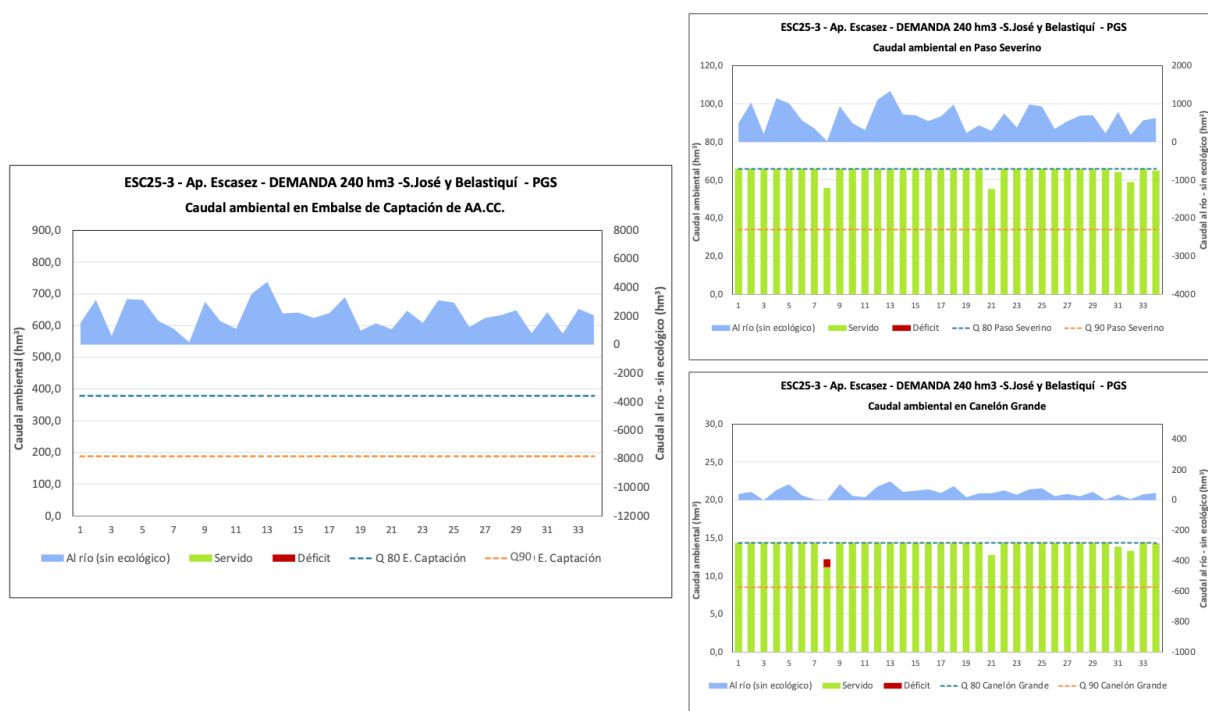


Figura 64 Simulación ESC25-3. Grado de cumplimiento de los caudales ambientales. A la izquierda toma de Aguas Corrientes, a la derecha superior presa de Paso Severino y, en derecha inferior, presa de Canelón Grande.

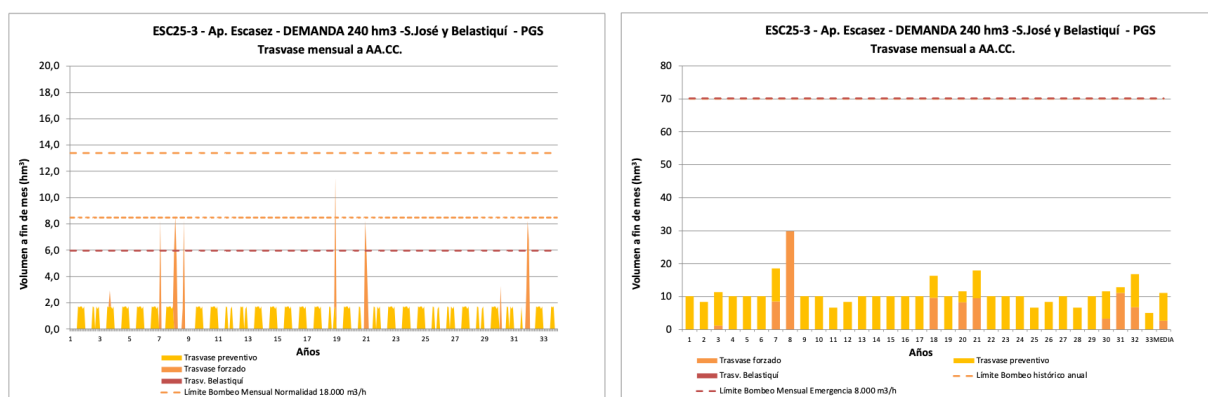


Figura 65 Simulación ESC25-3. A la izquierda volúmenes mensuales trasvasados en AACC versus los límites máximos técnicos e históricos. A la derecha, gráfico equivalente a nivel anual.

Los aportes del trasvase y del río San José son la gran diferencia de esta alternativa respecto a la alternativa ESC25-2. En esta oportunidad, la utilización de estas dos fuentes es minoritaria, especialmente para el San José donde es más que testimonial. Pero el trasvase,



que normalmente se mueve en promedios de 20 a 30 hm³ o más cada año y, puntualmente en sequía puede superar los 60 hm³, en esta oportunidad difícilmente pasa de 10 hm³ y, en la sequía más extrema aporta 30 hm³.

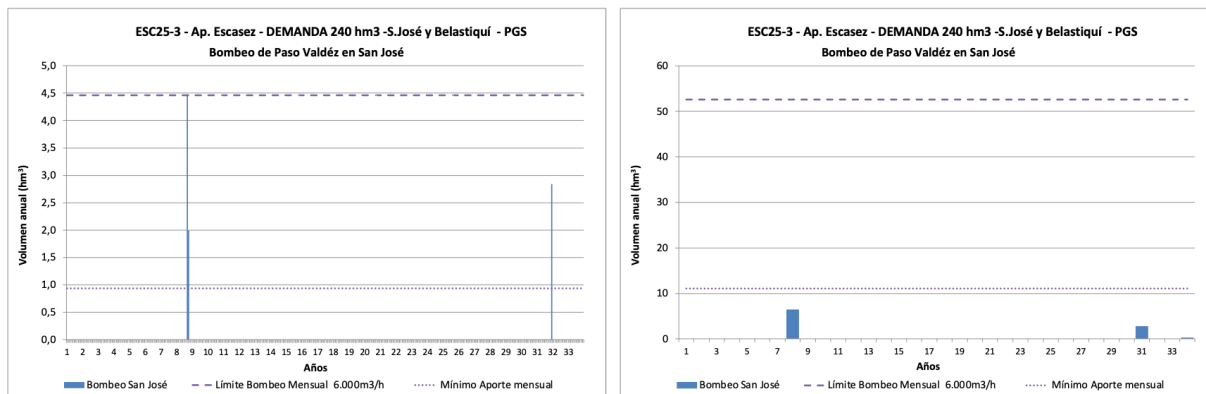


Figura 66 Simulación ESC25-3. A la izquierda volúmenes mensuales de agua del San José bombeados en Paso Valdez versus los límites máximos técnicos. A la derecha, gráfico equivalente a nivel anual.

En el gráfico siguiente se puede apreciar el mismo efecto de satisfacer el conjunto de demandas anuales mayoritariamente incluso casi de forma exclusiva con agua no regulada. Aquí conviene recordar que numéricamente, el agua no regulada no solamente hace referencia a los aportes fluyentes de las subcuencas y afluentes del río Santa Lucía que no tienen presa, como puede ser la cabecera del río antes de la unión con el Santa Lucía Chico, sino que también incorpora aquellos caudales que proviniendo de las presas de Paso Severino o Canelón Grande, se estarían dando de igual manera sin la existencia de la presa, es decir son caudales salientes menores o iguales a los aportes de entrada en el embalse.

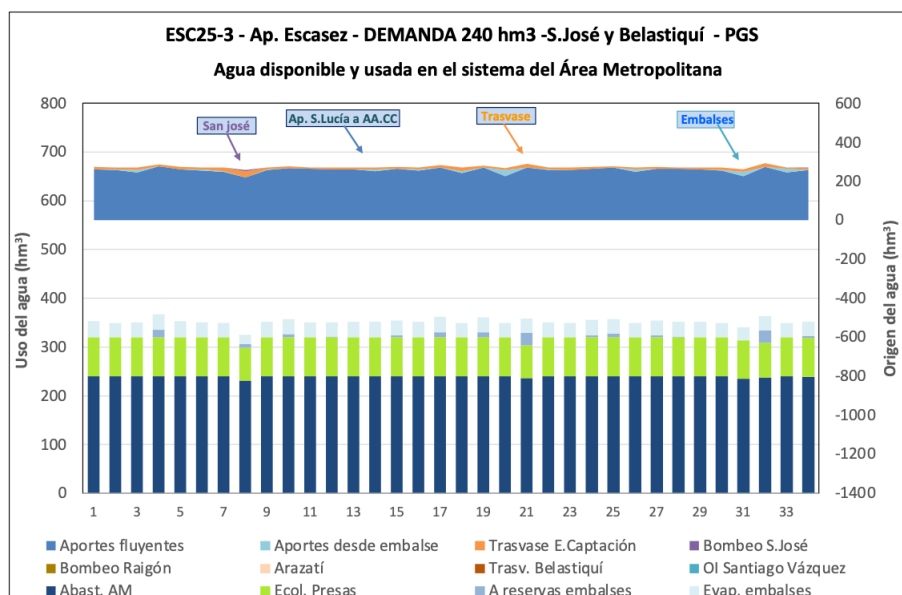


Figura 67 Simulación ESC25-3. Gráfico de balance del sistema AM a nivel anual (evolución de reservas y demandas).

Esta modelización ha requerido de unos umbrales de sequía más bajos que los del escenario ESC25-2, es decir, que las medidas de sequía que era necesario implementar eran en menor proporción e igualmente se evitaba la emergencia. El porcentaje de meses en el estado de sequía es de 3,54%, ligeramente inferior al de la alternativa ESC25-2, pero se vuelve a destacar que con umbrales más bajos también.

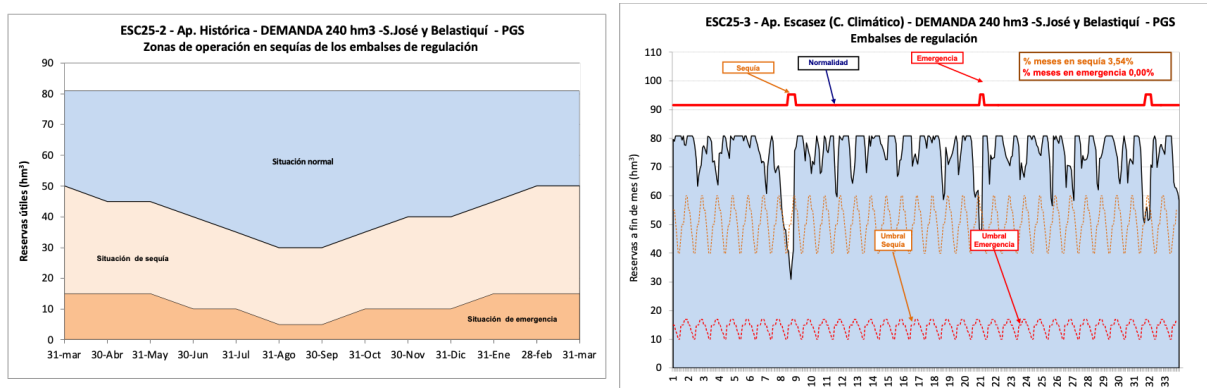


Figura 68 Simulación ESC25-3. A la izquierda posibles umbrales de definición de estado hidrológico. A la derecha evolución en los niveles de reservas en PS+CG, umbrales y línea superior como contador de meses en cada estado de sequía.

En definitiva, **este escenario es más favorable que el escenario anterior, aunque se esté corriendo una serie denominada de escasez**, porque sistemáticamente a nivel de promedio anual tiene menos aportes que la serie histórica, pero curiosamente con en el balance mensual es menos nociva para el sistema de abastecimiento metropolitano. El motivo por el que ocurre esto es la metodología con la que se ha generado la serie sintética de tiempo meteorológico en el proyecto Euroclima+. Este generador del tiempo, si bien es capaz de promocionar patrones con un determinado sesgo, como en este caso una reducción sistémica del 5% de las lluvias y un incremento del 10% de la evapotranspiración, lo hace con una cierta tendencia a eliminar los extremos en los datos generados, que tienen carácter diario, lo cual se va trasladando en la metodología de trabajo de modelamiento hidrológico y agregación temporal hasta los datos mensuales de aportaciones que, tanto en valores mínimos como en valores máximos son superados con mucho por la serie histórica. Esta suavización de la secuencia de datos, aunque tenga una tendencia a la baja en las aportaciones, permite al sistema con la capacidad actual de regulación superar cualquier sequía de varios meses de las que se presenta en la serie alterada.

De esta forma no hemos conseguido responder a la pregunta de qué pasaría si el sistema se enfrentara a una serie de aportaciones peor que la vivida, así que tenemos que seguir indagando en una nueva alternativa.

4.4.5 Escenario ESC25-4

Para plantear esta hipótesis vamos a requerir incorporar no solamente una serie de aportaciones pesimista de la cual se esté seguro de que tiene consecuencias de empeoramiento de la respuesta del sistema metropolitano, sino también añadir algún tipo de medida que permita compensar este empeoramiento de los caudales disponibles. Estas medidas hacen referencia a la incorporación de un plan de choque que mejore la eficiencia y la red de distribución y disminuya el agua no contabilizada, así como unos pozos de sequía en el acuífero Raigón que en situaciones de sequía puedan incorporar recurso al sistema.

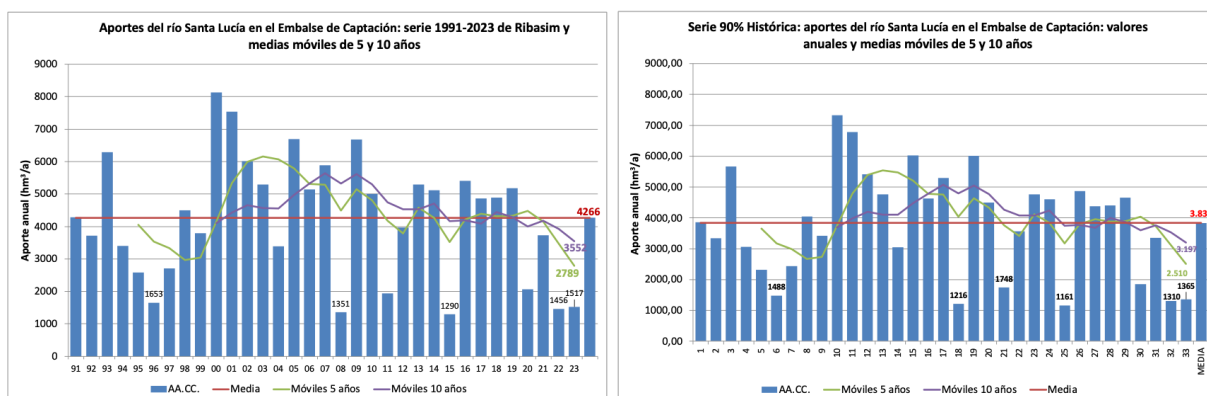


Figura 69 Comparativa de los caudales anuales históricos en AACC (imagen de la izquierda) con respecto a la serie modificada con un 10% menos de aportaciones.

En la gráfica anterior podemos ver el cambio en la serie sintética que se ha decidido utilizar según el **apartado 4.2.1** que garantiza ser peor que la histórica porque replica los mismos datos y, por tanto, la misma forma de las sequías, pero reducidos un 10% todos los meses. Esta nueva serie se ha denominado **serie de aportaciones pésima** y se utilizará en esta alternativa y en la mayoría de los escenarios consolidados que se analizan posteriormente, ya que se ha consensuado como una **garantía para robustecer mínimamente al sistema AM en las futuras décadas más cercanas**.

	NORMALIDAD	SEQUÍA	EMERGENCIA
AACC	-5%	-12%	-15%
Q ambiental	Basado en el q80 Se anula en AACC	Basado en el q90 Se anula en AACC	Se anula
Trasvase	18.000 m³/h	12.000 m³/h	Cambia a Belastiquí
Oferta Extraordinaria	Captación en el río San José		

Figura 70 Resumen de las hipótesis de trabajo de la simulación ESC25-4.

En la **Figura 70** se muestra el resumen de las hipótesis de trabajo, donde se aprecia una reducción de la demanda desde el estado normalidad, incrementando los valores de contracción en las situaciones excepcionales de sequía y emergencia, fruto de consolidar durante los próximos 5 años un programa de mejora de eficiencia según lo establecido en el **apartado 4.2.2**.

La evolución de las reservas de los embalses del Cuenca del río Santa Lucía es muy similar a la que se daba en la simulación ESC25-2, intensificando el vaciado de los embalses en la sequía más severa del año 33 de simulación. De hecho, Canelón Grande se vaciaría, pero Paso Severino acabaría la mínima reserva en unos 12 hm³ (**Figura 71**). En la **Figura 72** se puede apreciar que se satisface toda la demanda sin generar ningún déficit con ligeras oscilaciones en los ajustes en los años secos y en cualquier caso con valores inferiores al escenario ESC25-2, ya que se está produciendo el efecto de la implementación de plan de reducción de ANC. En cuanto a las fuentes que generan la satisfacción de esta demanda, en su mayoría son muy similares también al escenario de referencia, pero, en este caso, se requiere la incorporación en el peor de los años de la función del dique de Belastiquí.



PES para el sistema de agua potable del área Metropolitana (de Montevideo) y del Arroyo San Francisco en Ciudad de Minas, Uruguay
Informe Análisis de Alternativas y Protocolo del Escenario Objetivo

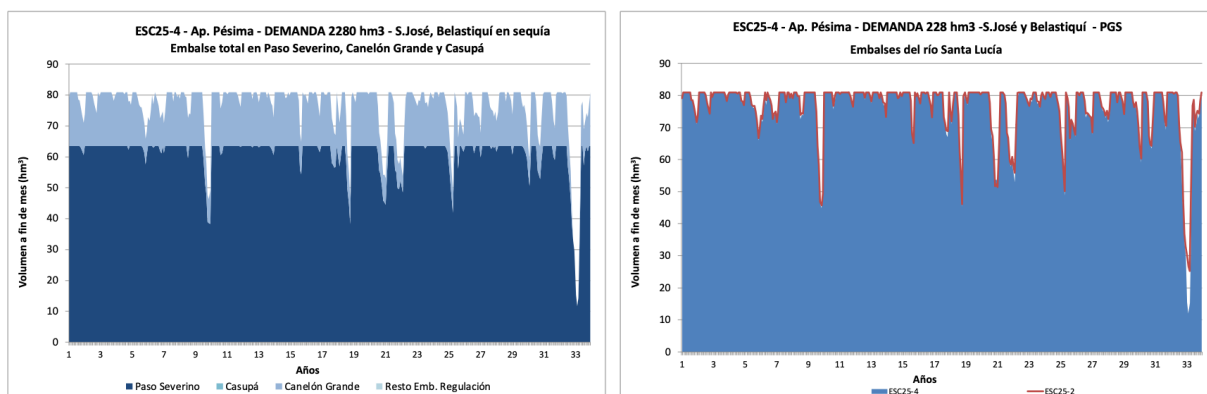


Figura 71 Simulación ESC25-4. A la izquierda la evolución de las reservas de los embalses PS y CG. A la derecha, evolución conjunta de reservas versus la evolución del escenario base ESC25-2.

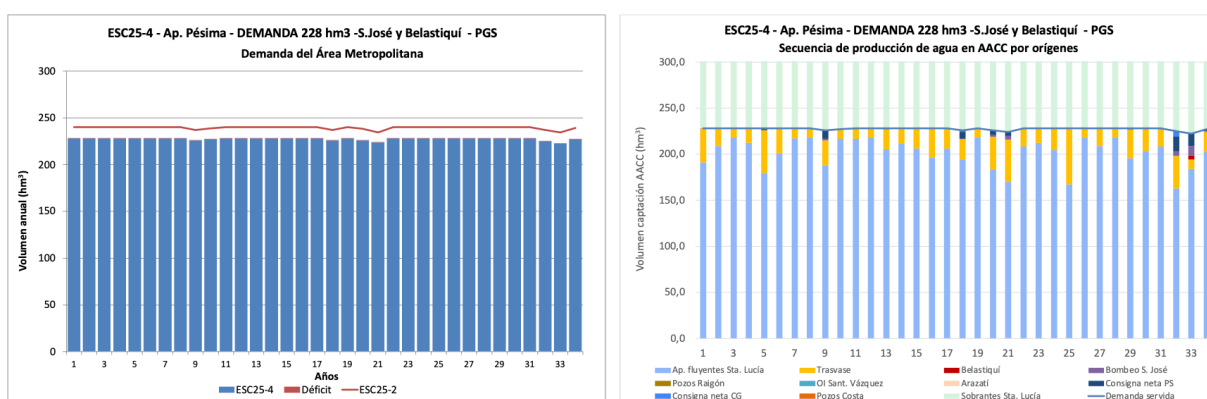


Figura 72 Simulación ESC25-4. A la izquierda demanda AM servida y déficit anual, superponiéndose en línea roja la evolución de la demanda servida del ESC25-2. A la derecha demanda servida como suma de volúmenes de distintos recursos o fuentes.

El caudal ambiental es casi idéntico al del escenario ESC25-2.

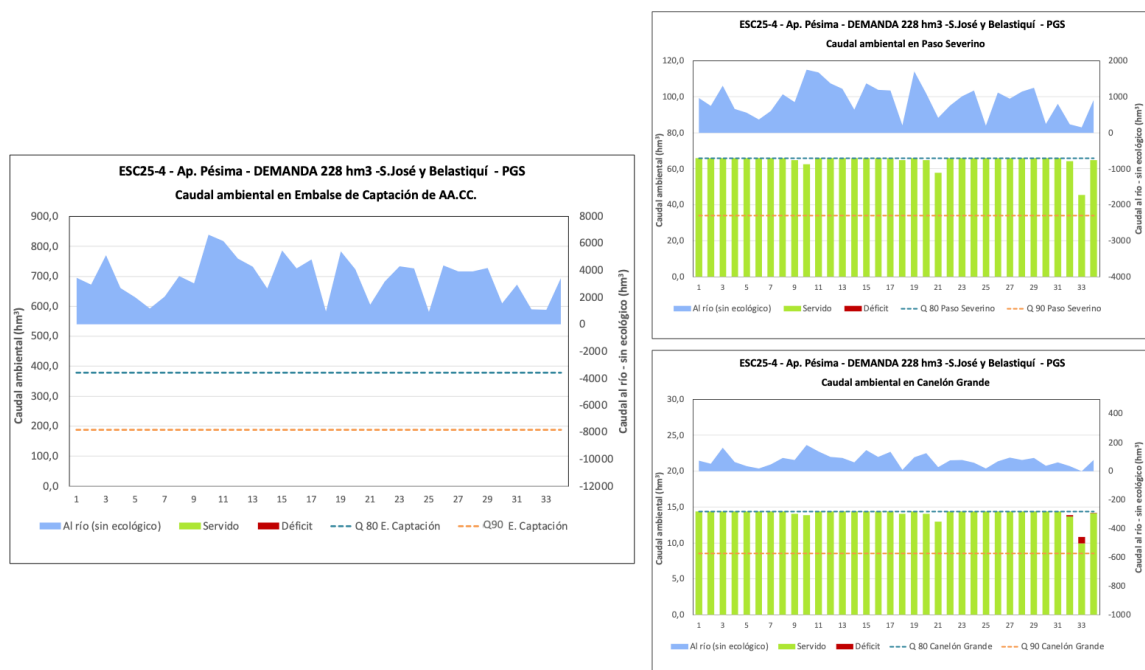


Figura 73 Simulación ESC25-4. Grado de cumplimiento de los caudales ambientales. A la izquierda toma de Aguas Corrientes, a la derecha superior presa de PS y, en derecha inferior, CG.



Los aportes provenientes del trasvase del bombeo de agua desde Paso Valdez son también muy similares a los del escenario de referencia, pero como se ha comentado, es requerida la incorporación del dique de Belastiquí, en el episodio más intenso de sequía entre el año 32 y 33, donde las condiciones hidrológicas no pueden garantizar un trasvase mayor de agua dulce en AACC. Esta situación generaría el incumplimiento de las condiciones de calidad del agua distribuida en la red.

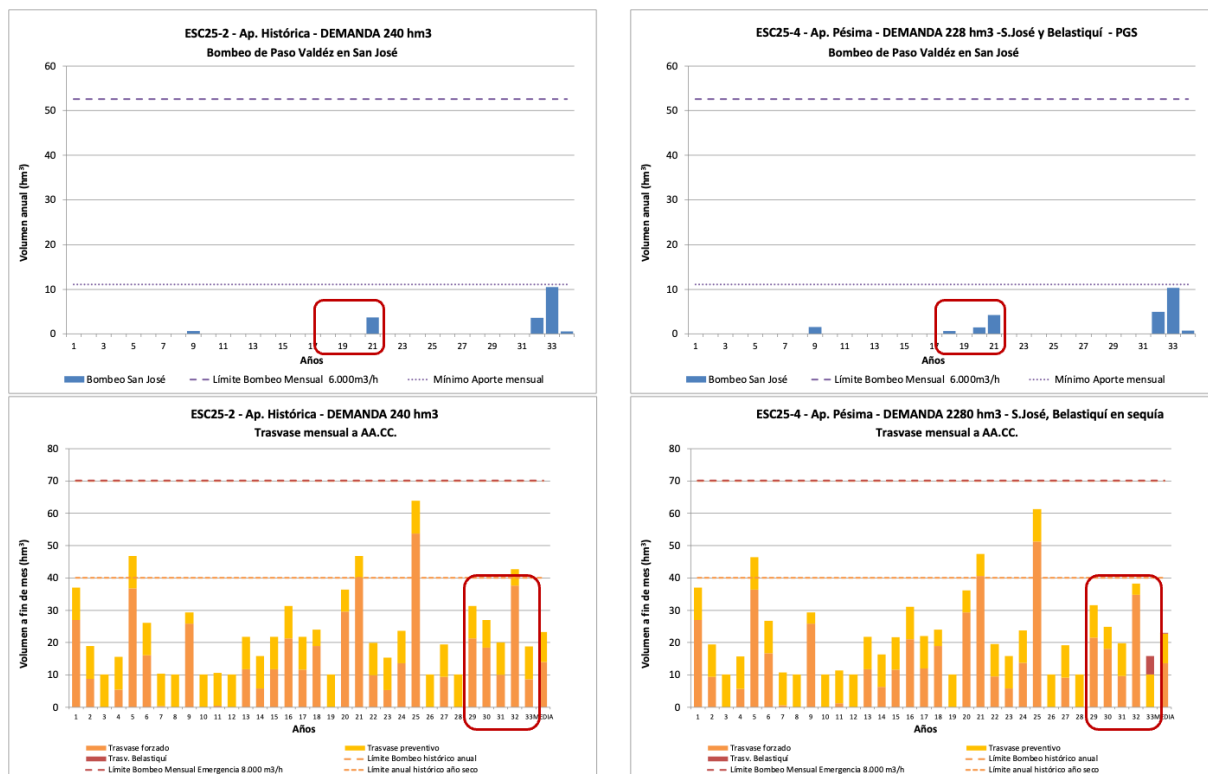


Figura 74 Comparación de alternativas, a la izquierda salidas de la simulación de referencia ESC25-2 y, a la derecha la ESC25-4. Arriba, volúmenes mensuales de agua del San José bombeados en Paso Valdez; abajo volúmenes mensuales trasvasados en AACC versus los límites máximos.

El balance es equivalente al caso del ESC25-2, si bien en este caso los aportes son inferiores, pero al reducirse permanentemente la demanda esperada por el plan de eficiencia de la red, se compensa el efecto.

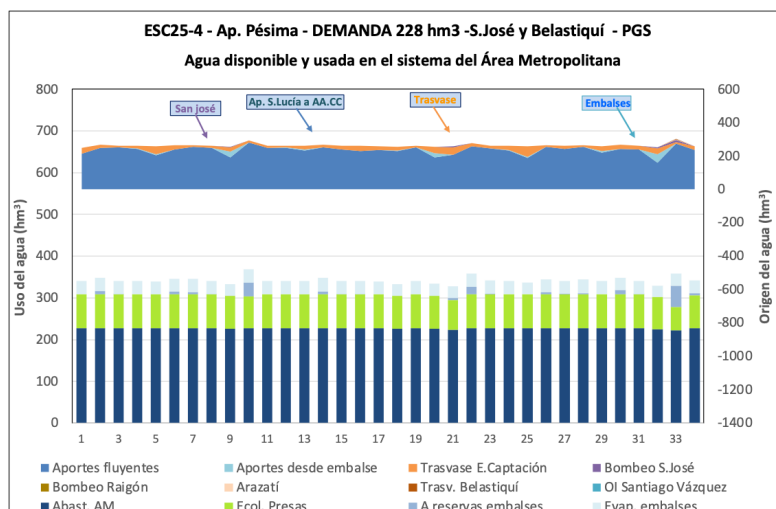


Figura 75 Simulación ESC25-4. Gráfico de balance del sistema AM a nivel.



No se comenta un impacto de los pozos de sequía en el acuífero Raigón porque en realidad el orden de magnitud de sus aportes es inferior a los valores que se están manejando en el balance. Cuando se plantean del trasvase en AACCC o de los aportes del río San José, se habla de hectómetros cúbicos al mes, un valor también muy cercano al ahorro que puede generar un plan de mejora de la eficiencia de la red. En cambio, suponiendo que los pozos Raigón estuvieran en plena operación durante todo un mes sus aportes serían poco más de 100.000 m³ lo que los hace inapreciables en las gráficas que estamos presentando

Utilizando los mismos umbrales que en ESC25-2 se declararía un **4,3% del tiempo en sequía** y habría una declaración de emergencia testimonial de 1 mes. Por tanto, es un escenario equivalente a la serie histórica, donde la pérdida de recurso mensual ha sido compensada por la reducción de la demanda en una proporción casi idéntica a través de la mejora de la eficiencia de la red.

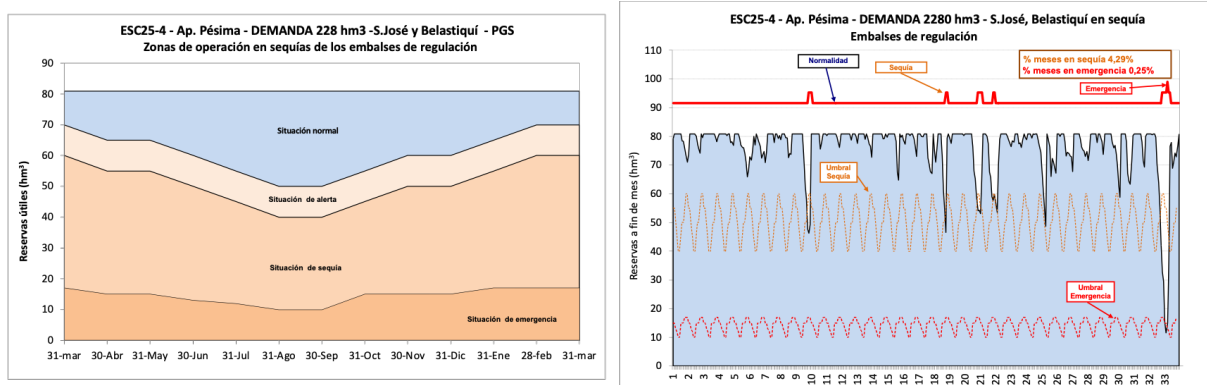


Figura 76 Simulación ESC25-4. A la izquierda posibles umbrales de definición de estado hidrológico. A la derecha evolución en los niveles de reservas en PS+CG, umbrales y línea superior como contador de meses en cada estado de sequía.

El último gráfico representa una comparación de la evolución de las reservas de los embalses del río Santa Lucía en el periodo entre los años 29 y 33, dónde se da la mayor sequía, de ahí se puede apreciar como las evoluciones son muy parecidas excepto en el período crítico el año 33 donde se profundiza el vaciado de los embalses. El contador de estadías de sequía es muy similar, añadiéndose un par de meses más en sequía y un mes puntualmente en emergencia. Igualmente, en ESC25-4 aunque la sequía sea más intensa, no se llega a vaciar y la reserva se sitúan 12 hm³ por encima de lo que fue el episodio realmente vivido en el año 2023, que se está representando en estas gráficas con una línea discontinua de color azul.

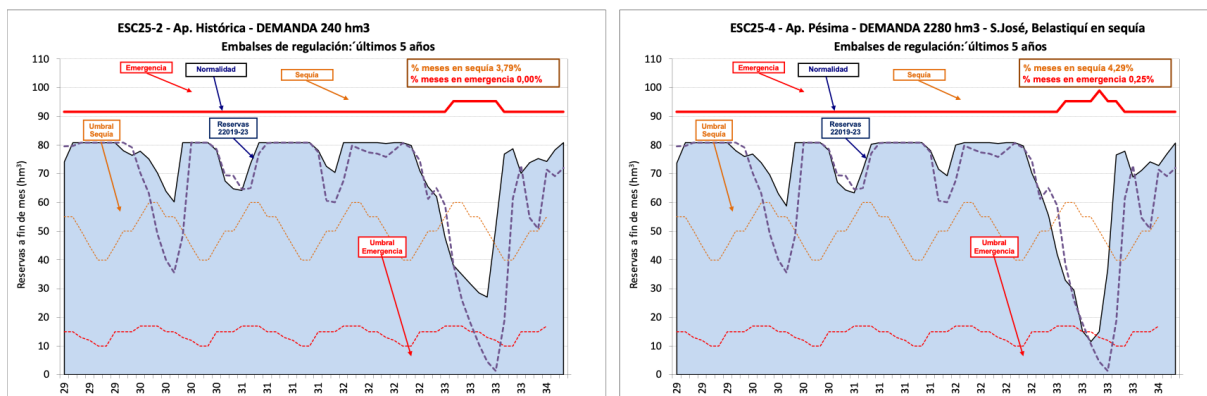


Figura 77 Comparación del periodo más crítico de evolución de reservas en los embalses del Santa Lucía entre el ESC25-2 (izquierda) y el ESC25-4 (derecha).



En definitiva, utilizando los mismos umbrales que en ESC25-2, **la alternativa ESC25-4 podría superar un evento peor al vivido históricamente, y tendrían más volumen de reservas en el peor momento de la sequía**. No obstante, la simulación declara emergencia un mes de los 396 de cálculo, con lo que parece lógica que sea superable con pequeñas medidas de gestión, para evitar así el incumplimiento de calidad del agua servida que esto podría representar.

4.4.6 Resumen de las alternativas ESC25 y selección del escenario actual objetivo

Para establecer la gestión mediante **estados de sequía**, para el sistema Metropolitano se define como **indicador de seguimiento la suma del volumen útil embalsado en Paso Severino y Canelón Grande** a final de mes. Sobre este indicador se han determinado dos umbrales. El primero que desencadenaría las medidas y acciones de sequía, como son la activación del trasvase de San José o la reducción de la demanda del sistema y, el segundo, las acciones de emergencia, es decir una nueva contracción de la demanda y la incorporación del efecto en el trasvase de disponer del dique de Belastiquí. Además, estos escalones de reducción de la demanda también vienen acompañados con una relajación en los valores de caudales ambientales a garantizar en las presas de CG y PS, incluso su anulación en emergencia. Se ha hecho un primer tanteo de estos umbrales, variables a lo largo de los meses del año, oscilan entre 40 y 60 hm³. Además, se asume un nivel previo a la sequía, denominado estado de alerta, 10 hm³ por encima al umbral de sequía (valor inicial a falta de refinamiento posterior), que permite de forma preventiva la activación de medidas que garanticen los ahorros esperados en la demanda y la disponibilidad del bombeo en paso Valdez. Aclarado este procedimiento de determinación de la estructura PES que afecta a varias de las alternativas analizadas, en la tabla siguiente se presenta un resumen de valores de las variables clave que permiten la comparación objetiva de los escenarios.

Tabla 13 Comparativa de las variables clave para cada alternativa del escenario 25.

VARIABLE	ESCENARIO	ESC25-0	ESC25-1	ESC25-2	ESC25-3	ESC25-4
Demanda AM aplicada		240,00	240,00	240,00	240,00	228,00
Demanda servida		230,60	233,75	239,34	239,38	227,43
Déficit máximo		59,85	20,42	0,00	0,00	0,00
Q Ambiental AA.CC.		376,46	343,01	0,00	0,00	0,00
% meses en sequía		0,00%	16,16%	3,79%	3,54%	4,29%
% meses en emergencia		0,00%	7,32%	0,00%	0,00%	0,25%
Reservas mínimas embalses Santa Lucía		0,00	0,00	27,05	31,66	11,66
% meses cumplimiento Q dilución F. Marcos		78,0%	78,0%	78,0%	60,9%	73,0%
Bombeo Promedio Paso Valdez en San José		0,00	3,42	0,56	0,28	0,57
Trasvase Promedio a captación		45,25	30,12	23,23	11,25	22,79
Bombeo del Plata vía Belastiquí		0,00	3,29	0,00	0,00	0,18



De todas las alternativas analizadas se pueden concretar las siguientes conclusiones:

1. Actualmente en la UGS Metropolitana, si no se incorpora ninguna obra que aporte un recurso significativo de forma permanente en el corto plazo, **no es posible el cumplimiento de los caudales ambientales de forma continua**, ni siquiera los basados en el q80. **Es imprescindible modular estos caudales en función de la situación hidrológica** de cada momento, reduciéndolos en los estados de sequía a un caudal equivalente al q90 y anulando la obligación de cumplirlos en situación de emergencia. En el caso de las presas de **Paso Severino y Canelón Grande**, amparándose en la excepción de la norma para presas existentes, sería razonable **implementar en normalidad un caudal ambiental basado en el q80** y no en el q60 previsto inicialmente para este tipo de infraestructuras de regulación. En el caso de la **presa de AACC, en la situación actual no sería factible cumplir ni siquiera el caudal ambiental basado en el q90** en normalidad, manteniéndose la continuidad del río a través de los rebalses ordinarios que tiene la presa y los remansos remontantes des del río de la Plata.
2. El sistema actual solamente puede hacer frente con garantías de suministro y sin alteración de la calidad del agua a **una sequía equivalente al año 2022-23** si desarrolla y se **implementa un protocolo específico de sequías (PES)** que module progresivamente la reducción de la demanda y la incorporación de alguna oferta extraordinaria. Preventivamente, **en escenarios de sequía iniciales** se incorpora un recurso de refuerzo equivalente al **bombeo del río San José** y, se mantiene la intensidad máxima del trasvase desde aguas abajo de la presa de Aguas Corrientes. Eso requiere tener disponible la infraestructura de captación y transporte del agua del río San José en Paso Valdez que hoy no se encuentra operativa. Para ello, puede definirse un **escenario de alerta** previo al de sequía que activa las actuaciones técnico-administrativas necesarias para garantizar su entrada de funcionamiento cruzando el umbral de sequía. Según la serie histórica de aportaciones del río Santa Lucía la probabilidad de aplicar **medidas de gestión** de la demanda (contracción) y la generación de oferta extraordinaria solamente se daría el **3,8% del tiempo**.
3. En el caso de que el sistema se enfrente en los próximos años a **una sequía peor que las vividas** y registradas con anterioridad, el sistema tendría una capacidad de respuesta similar a la anterior y puede hacer frente con un **4,3% del tiempo aplicando medidas de sequía** y un 0,25% de emergencia. Pero la superación de esa pequeña entrada de emergencia exige, además de las medidas anteriormente comentadas, prepararse disponiendo operativo el **dique de Belastiquí**, asumiendo que aunque el sistema no quedará desabastecido de caudal de agua, sí se afectará a la calidad del servicio con alta probabilidad **de incumplimiento de los límites de salinidad permitidos** por norma.

A la vista de los datos, el **sistema Metropolitano de Montevideo sufre un problema de escasez hídrica coyuntural que se evidencia en cada sequía extrema**. Esta situación invita a plantear soluciones de medio y largo plazo que permitan solucionar esa escasez. A la espera de dichas medidas permanentes de aumento de garantía y robustez del sistema, se requiere una propuesta rápida para incorporar inmediatamente a la UGS Metropolitana por si, en el corto plazo ocurriera un nuevo episodio de sequía. El escenario ESC25 o actual ha analizado esas medidas inmediatas y de todos los escenarios alternativos, se puede definir el **ESC25.2** como **el más interesante y seguro** ya que no falla con la serie histórica y , a través de la última alternativa estudiada ESC 25.4, se demuestra que también podría superar una sequía pésima (peor a las registradas con un 10% menos de aportaciones naturales) siempre y



cuando se acompañe de ahora en adelante con un programa de reducción del agua no contabilizada y aumento de la eficiencia de la red en los próximos 5 años.

Por tanto, el escenario objetivo recomendado es el correspondiente al ESC25-2.

Llegados a este punto, se aprovecha para recordar que el método de trabajo plantea las incertidumbres lógicas de simulaciones numéricas y la multitud de hipótesis que se hacen en el proceso, además de las incertidumbres lógicas que se tienen sobre los datos hidrológicos. Este último aspecto requiere de una especial mención en este proyecto porque ha sido objeto de múltiples cuestionamientos, revisiones y generación de suposiciones. No obstante, algunas de estas suposiciones han intentado compensar la incertidumbre asumiendo valores o hipótesis conservadoras que permiten estar del lado de la seguridad. A continuación, se listan algunos de estos factores de seguridad:

- El modelo presupone que el agua que requiere AACC desde los embalses (consigna directa) siempre es un 20% más (**eficiencia del 80%**). Este nivel de eficiencia genera rebalses considerables en AACC que garantizan un caudal de continuidad, aunque no sea el Q ambiental basado en q80 o q90. Esto compensa en gran medida la obligada hipótesis en el corto plazo de no asegurar el caudal ambiental en AACC.
- Dichos **rebalses** también permiten **asegurar la disponibilidad de agua aguas abajo** de la presa de AACC que será usada para el trasvase.
- Se limita el **trasvase en normalidad a valores más conservadores** que los realmente se han podido dar a lo largo de los últimos años, lo que generaría mayores ahorros de rrrh en las presas.
- Se presupone que **no se va a usar San José en normalidad** hidrológica, pero esta infraestructura estaría disponible para avanzar el inicio de sus aportes y realizar un ahorro preventivo de rrrh en las presas.
- Los **Q ambientales se dan por instrucción** en función del estado hidrológico, no se limitan a los valores entrantes al embalse, que es como realmente se operará si se implementan. Esto quiere decir que aunque se haya establecido el caudal ambiental, si los aportes al embalse son menores, sólo se desembalsaría el valor de caudal de entrada.

4.5 Análisis de alternativas del escenario consolidado 2035

Pese a todo el esfuerzo de adaptar un conjunto de medidas rápidas que permitan hacer frente a una sequía en el corto plazo, ya se ha visto que el Sistema Metropolitano requiere de un incremento de su robustez de forma permanente a través de infraestructuras o medidas que reduzcan su grado de exposición a la escasez coyuntural. También corresponde a este escenario intentar mejorar la condición de cumplimiento de los caudales ambientales. Si bien se empieza con alternativas que continúan la propuesta de que las presas cumplan un caudal ambiental basado en el q80, modulable al q90 en sequía y nulo en emergencia, en la medida de lo posible se debería añadir el caudal ambiental en AACC ya que en las alternativas ESC25 es imposible de cumplir sin graves afecciones al servicio de abastecimiento.



Para esto se ha generado el llamado **escenario consolidado**, es decir un horizonte temporal situado más allá del **2035**, que permita hasta entonces implementar medidas de más alto impacto y que requieren más tiempo para su diseño y despliegue posterior, por ejemplo, una presa. Este apartado incorpora posibles alternativas de medidas a largo plazo consensuadas con el comité de seguimiento del contrato, y modelizadas con la misma herramienta de GRH que escenario actual. Estas alternativas se presentan en la **Figura 78** con la caracterización de las variables en cada caso. En resumen, donde previamente se hace constar que todas estas alternativas se valoran con aportaciones pésimas ya que se asume que en el escenario consolidado tendrá sequías más intensas:

- **ESC35-1**, escenario que pretende valorar el efecto de no incorporar ninguna medida de generación de nueva oferta, sino de consolidar un plan de eficiencia hídrica para la red y reducción de la ANC a 10 años, con resultados de mayor impacto que los valorados en el último escenario actual ESC25-4. Como el escenario anterior se tendrá en cuenta un PES y la consolidación de las obras de emergencia de la sequía 2023.
- **ESC35-2**, donde se propone una regulación menor del río Santa Lucía a través de 2 presas en cabecera que han sido históricamente valoradas como soluciones definitivas. Se trata de la presa El soldado y la presa Campanero ubicadas en arroyos con homólogos nombres. Las capacidades de reserva son limitadas con lo que se sigue planteando aplicar un PES y tener en cuenta el trasvase del río San José.
- **ESC35-3**, donde se valora el efecto del proyecto histórico de la presa de Casupá con un embalse de regulación de 118 hm³ de capacidad en el arroyo del mismo nombre. Intuyendo del gran impacto de este volumen de regulación, no se plantea incorporar PES (no hay umbrales ni estados de sequía), sino que se analiza con consigna constante para todas las fuentes, la demanda no se contrae y las condiciones ambientales son caudales en presa a q80 y sin ambiental en AACC.
- **ESC35-4**, a la vista de los buenos resultados del escenario 35-3, se repite la misma estructura que el escenario anterior incluyendo la presa de Casupá, pero se amplían los condicionantes ambientales, añadiendo el caudal ambiental q80 en AACC y Paso Valdez en normalidad (nulo en sequía). En este caso si se aplican reglas PES para modular la respuesta ante sequías.
- **ESC35-5**, alternativa que pasa a analizar la otra obra histórica planteada, la planta de Arazatí, sistema de regulación local y transporte y conexión a la red de distribución. Se comienza en este escenario intentando responder a los mismos condicionantes ambientales que el escenario anterior de Casupá.
- **ESC35-6**, dado los resultados del ESC35-5 no son excelentes, con hipótesis similares al ESC35-4, en esta oportunidad con Arazatí se pasa a replicar una versión homóloga al ESC35-3 de Casupá, pero con restricciones ambientales menores anulándose los caudales ambientales en AACC y en Paso Valdez.
- **ESC35-7**, es una alternativa que valora potenciar el recurso del río San José de forma permanente a través de una presa de regulación en Rincón Carballo, aguas arriba de Picada Varela e incorporar una infraestructura local complementaria en situaciones de sequía basada en el tratamiento de aguas salobres del río de La Plata en la zona de Santiago Vázquez minimizando la longitud de transporte de esta agua a la red de distribución. Esta propuesta se hace asumiendo los condicionantes ambientales en normalidad, tanto en AACC como en Paso Valdez.



PES para el sistema de agua potable del área Metropolitana (de Montevideo) y del
Arroyo San Francisco en Ciudad de Minas, Uruguay
Informe Análisis de Alternativas y Protocolo del Escenario Objetivo

	Oferta	Demanda	Infraestructura	Restricciones	Normas
Esc35-1 Consolidado c/ hidrología pésima y Plan reducción ANC con PGS	Serie Pésima + Aporte R.SJ + Aporte R.Plata	Demanda 2035 + Plan choque ANC + Niveles 1 y 2 contrac. demanda	Infraestructura Actual + Obras ANC + Obras sequía 2023	Embalses q80 y q90 en sequía (AACC y Paso Valdez 0 siempre)	SL-T-CG-PS + PGS(obras sequía)
Esc35-2 Consolidado c/ hidrología pésima y presas EL Soldado y Campanero con PGS	Serie Pésima + Aporte R.SJ	Demanda 2035 + Nivel 1 de contrac. demanda	Infraestructura Actual + Presas EL Soldado+Campanero + Bombeo R.SJ	Embalses q80 y q90 en sequía (AACC y Paso Valdez 0 siempre)	SL-T-Soldado- Campanero-CG- PS+ PGS (obras sequía)
Esc35-3 Consolidado c/ hidrología pésima y presa Casupá sin Qamb en AACC y PGS	Serie Pésima + Aporte R.SJ	Demanda 2035 + Nivel 1 y 2 de contrac. demanda	Infraestructura Actual + Presa Casupá + Bombeo R.SJ	Embalses q80 y q90 en sequía (AACC y Paso Valdez 0 siempre)	SL-(T)-Casupá- CG-PS + PGS (T y obras sequía)
Esc35-4 Consolidado c/ hidrología Pésima y presa Casupá con Qamb AACC y PGS	Serie Pésima + Aporte R.SJ	Demanda 2035 + Nivel 1 y 2 de contrac. demanda	Infraestructura Actual + Presa Casupá + Bombeo R.SJ	Embalses q80 y q90 en sequía (AACC y Paso Valdez q80 y 0 en sequía)	SL-(T)-Casupá- CG-PS + PGS (T y obras sequía)
Esc35-5 Consolidado c/ hidrología pésima y PTAP Arazatí con Qamb en AACC y PGS	Serie Pésima + Aporte Arazatí + Aporte R.SJ	Demanda 2035 + Nivel 1 y 2 de contrac. demanda	Infraestructura Actual + PTAP y balsa Arazatí + Bombeo R.SJ	Embalses q80 y q90 en sequía (AACC y Paso Valdez q80 y 0 en sequía)	Arazatí Fijo-SL- Resto Arazatí-(T)- CG-PS + PGS (T y obras sequía)
Esc35-6 Consolidado c/ hidrología pésima y PTAP Arazatí sin Qamb en AACC y PGS	Serie Pésima + Aporte Arazatí + Aporte R.SJ	Demanda 2035 + Nivel 1 y 2 de contrac. demanda	Infraestructura Actual + PTAP y balsa Arazatí + Bombeo R.SJ	Embalses q80 y q90 en sequía (AACC y Paso Valdez 0 siempre)	Arazatí Fijo-SL- Resto Arazatí-(T)- CG-PS + PGS (T y obras sequía)
Esc35-7 Consolidado c/ hidrología pésima consolidación San José+OI S.Vázquez y PGS	Serie Pésima + Aporte R.SJ + Aporte OI S.Vázquez	Demanda 2035 + Nivel 1 y 2 de contrac. demanda	Infraestructura Actual + Presa Rincón de Carballo + Bombeo R.SJ + OI-SV	Embalses q80 y q90 en sequía (AACC y Paso Valdez q80 y 0 en sequía)	SL-(T)-Rincón Carballo-CG-PS- OI + PGS (T y obras sequía)

Figura 78 Resumen de caracterización de la combinación de variables de cada alternativa modelizada en el escenario consolidado 2035 en AM.



4.5.1 Escenario ESC35-1

Todos los escenarios consolidados 2035 se van a realizar con la serie de aportaciones pésima cuya metodología de obtención se ha expuesto en el **apartado 4.2.1**. Como mecanismo de seguridad para comprobar la robustez del sistema ante situaciones peores ha vivido en el año 2023.

La pregunta a resolver continuando con la última alternativa valorada en la situación actual, es, si en un futuro a medio plazo puede mejorarse el nivel de garantía del escenario objetivo, sabiendo que se deberá afrontar un cierto incremento de demanda y mejorar los niveles de cumplimientos de las obligaciones ambientales. Además, el caso asume un hipotético empeoramiento de las aportaciones como en el escenario ESC25-4, por lo que se supone que debería complementarse las actuaciones ya valoradas en ese escenario, como los planes de mejora de eficiencia hídrica de la red, añadiendo más actuaciones y años de implementación de medidas en la línea reducir el agua no contabilizada. Eso nos lleva a una valoración de contracción de la demanda mayor que la inicialmente esperada y que podría ser efectiva a partir del año 10 desde la implementación del plan. No obstante, ya sabiendo del gran efecto que tiene mantener caudales ambientales normativos en la toma de AACC, se continúa suponiendo la continuidad fluvial a través de los rebalses de la presa sin disponer de caudales específicos para la función ambiental completa. A la vez se mantienen incorporadas las obras de emergencia que se han propuesto para el escenario objetivo actual, consolidándolas como elementos de seguridad. En resumen, las hipótesis de cálculo son las que aparecen en la figura siguiente.

	NORMALIDAD	SEQUÍA	EMERGENCIA
AACC	-10%	-15%	-18%
Q ambiental	Basado en el q80 Se anula en AACC	Basado en el q90 Se anula en AACC	Se anula
Trasvase	18.000 m ³ /h	12.000 m ³ /h	Cambia a Belastiquí
Oferta Extraordinaria		Captación en el río San José	

Figura 79 Resumen de las hipótesis de trabajo de la simulación ESC35-1.

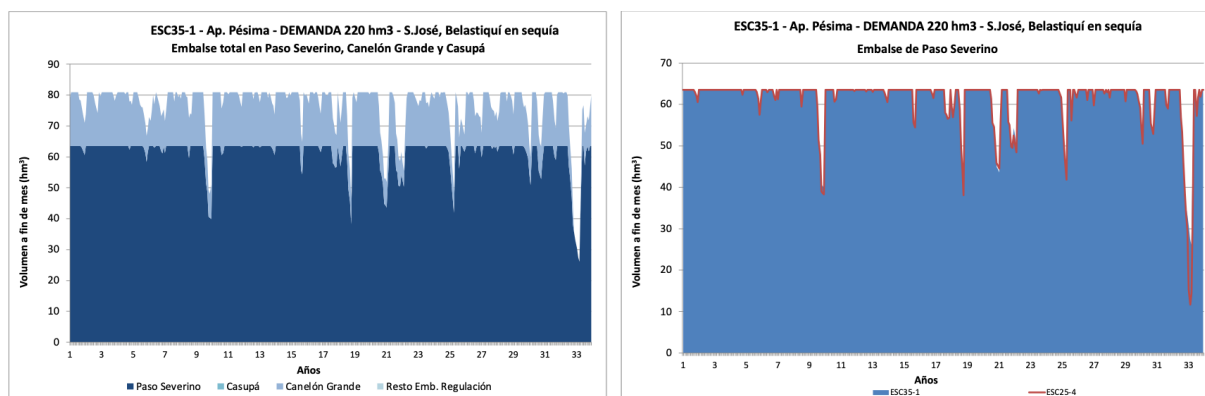


Figura 80 Simulación ESC35-1. A la izquierda la evolución de las reservas embalsadas en el Santa Lucía. A la derecha, evolución conjunta de reservas versus la evolución del escenario homólogo ESC25-4.



En la **Figura 80** se puede apreciar una evolución de las reservas en los embalses del río Santa Lucía muy similares a las del escenario ESC25-4 pero, en particular con una intensidad menor de reducción de las reservas en el peor año de aportaciones, año 33 de la simulación. Hay una clara mejoría que prácticamente pone a este primer escenario consolidado en la misma situación de evolución de reservas que en la alternativa del escenario objetivo (ESC25-2).

En la figura siguiente se puede analizar el motivo. La pérdida de recurso que estamos suponiendo con la serie pésima es compensada mayoritariamente por la reducción de la demanda con respecto al escenario actual. El plan de mejora de eficiencia en la red no solamente permite contraer la demanda de forma sustancial llegados a episodios de escasez coyuntural de recurso, si no que genera un ahorro permanente también en la situación de normalidad. Vemos en la figura de la izquierda que no hay déficit, pero siempre los valores de demanda servida son inferiores a la línea roja que compara con la del ESC25-4.

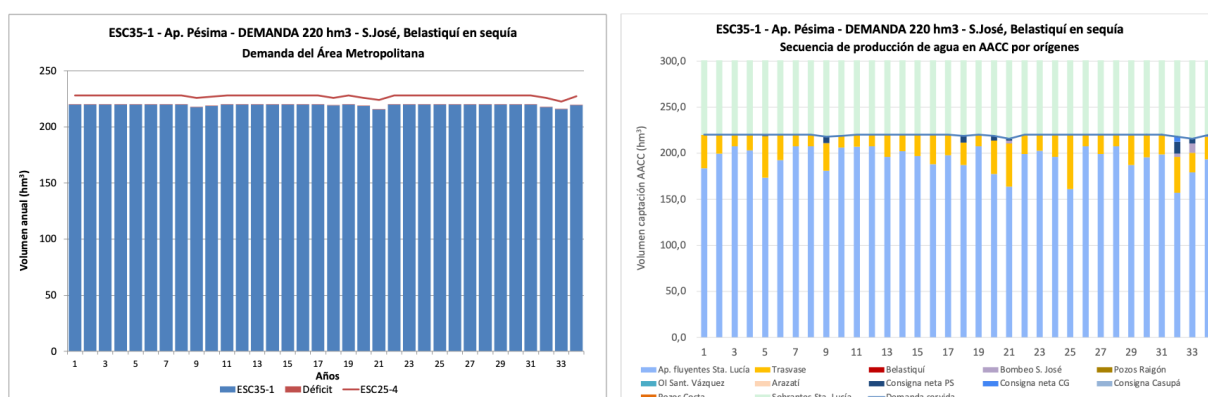


Figura 81 Simulación ESC35-1. A la izquierda demanda AM servida y déficit anual, superponiéndose en línea roja la evolución de la demanda servida del ESC25-4. A la derecha demanda servida como suma de volúmenes de distintas fuentes de suministro.

La utilización de las fuentes e infraestructuras complementarias tanto en normalidad como en sequía se representan en la **Figura 82**. Se observa cómo, en general, el trasvase en AACC se utiliza sistemáticamente con valores promedio entre 10 y 20 hm³ anuales, pero con la posibilidad de hacer importantes aportes en los años más secos, superando en varios momentos los 40 hm³ y llegando a un valor próximo a 60 en el año 25 de simulación, todo ello dentro de los límites comprobados de sostenibilidad de esta infraestructura. En el caso del agua del río San José, su aporte es muy puntual y mayoritariamente se incorpora en el episodio más seco, el del año 33 con un volumen de 10 hm³.

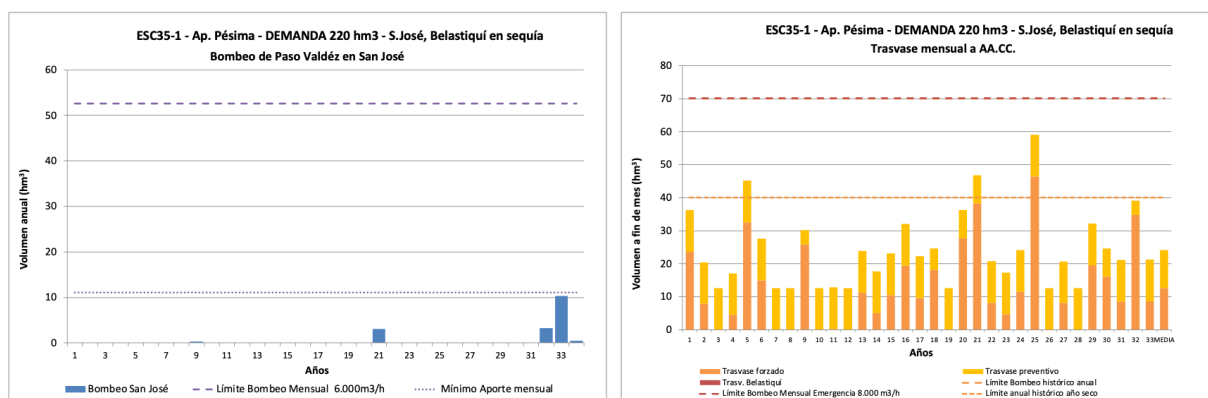


Figura 82 Simulación ESC35-1. A la izquierda volúmenes anuales de agua del San José bombeados en Paso Valdez y a la derecha volúmenes anuales trasvasados en AACC, en ambos casos versus los límites máximos técnicos e históricos.



Para esta propuesta se han heredado los umbrales definidos mes a mes tanto para la situación de sequía como emergencia en el escenario objetivo 25-2. La secuencia de simulación nos demuestra que se permanecería en situación excepcional de sequía aplicando medidas de contención solamente el 3,79% del tiempo y en ningún caso se entraría en el escenario de emergencia.

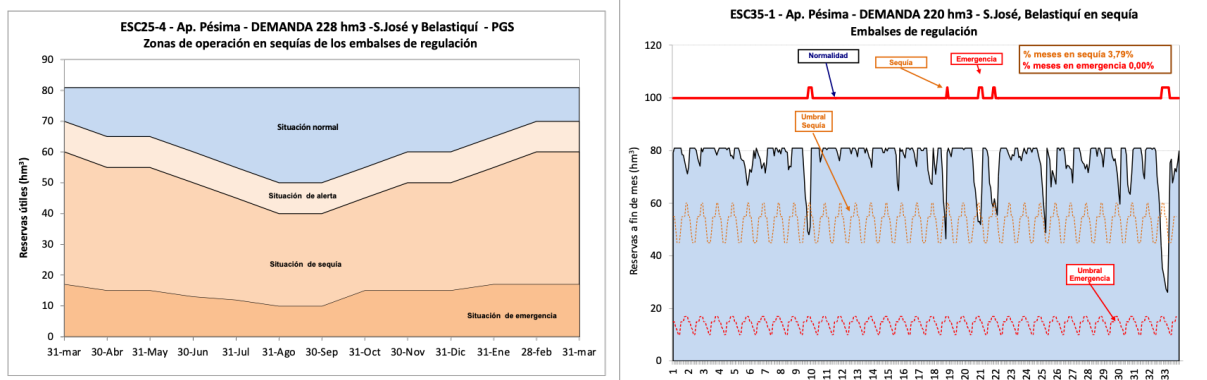


Figura 83 Simulación ESC35-1. A la izquierda posibles umbrales de definición de estado hidrológico. A la derecha evolución en los niveles de reservas en PS+CG, umbrales y línea superior como contador de meses en cada estado de sequía.

La figura siguiente complementa lo observado en el gráfico superior, haciendo un zoom sobre la evolución de las reservas en los últimos 5 años de simulación, donde puede verse esa analogía del comportamiento entre el escenario ESC25-2 (escenario objetivo) y el ESC35-1, entendiendo que entre ambos hay una disminución de aportes y un incremento de demanda de abastecimiento que no solo no llega a materializarse, sino que acaba reduciéndose por efecto del plan de mejora de la gestión eficiente de la red.

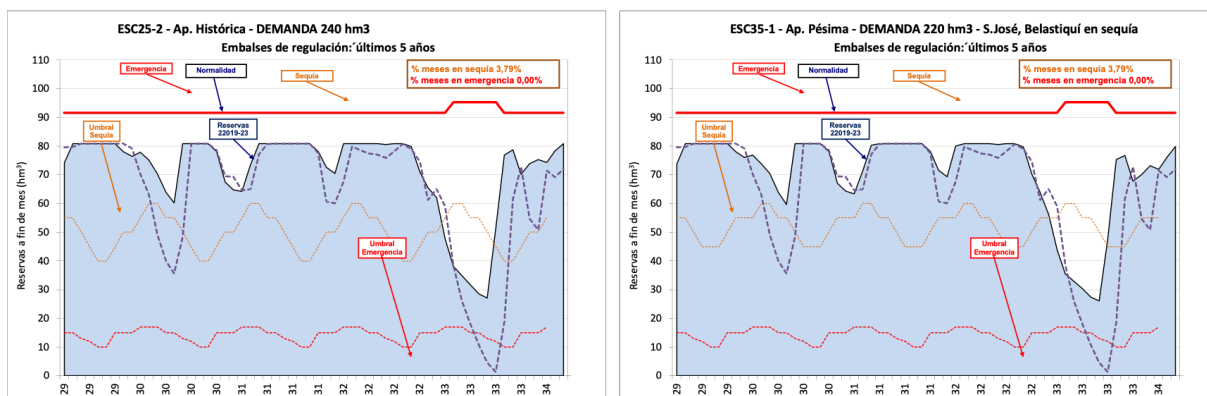


Figura 84 Comparación del periodo más crítico de evolución de reservas en los embalses del Santa Lucía entre el escenario objetivo ESC25-2 (izquierda) y el ESC35-1 (derecha).

Ante estos resultados puede afirmarse que los escenarios ESC35-1 y ESC25-2 o escenario objetivo son equivalentes y, por tanto, en la medida que implementemos el escenario objetivo y que se vaya complementando (acompañando) con este plan de mejora de la eficiencia de la red de forma sostenida más allá de los primeros 5 años, se conseguirá que este mecanismo global de gestión de la demanda vaya generando el grado de robustez necesario para hacer frente a posibles nuevas oscilaciones a la baja de las aportaciones del río Santa Lucía. Y todo esto con las mismas infraestructuras de regulación disponibles hoy en día. Es un escenario muy interesante para plantear una senda de trabajo continuo y en paralelo a la tramitación, construcción y puesta en marcha de cualquiera de las grandes obras de los escenarios



consolidados que se estudian a continuación. Como punto débil, esta alternativa no permite incrementar los caudales ambientales en AACC.

En conclusión, el escenario **ESC35-1** más que un escenario alternativo a los que vienen a continuación puede definirse como **un escenario de tránsito**, de fácil implementación, con un gran impacto vinculado también a la sostenibilidad ambiental y el cambio cultural ciudadano a una gestión más responsable del recurso hídrico.

4.5.2 Escenario ESC35-2

Esta alternativa es el primer caso de incorporación de nuevas infraestructuras para aumentar significativamente la robustez del sistema ante la incertidumbre de la evolución de las aportaciones en el medio y largo plazo. Históricamente se han venido estudiando diferentes actuaciones de diversa naturaleza y, en esta primera propuesta estaríamos sumando dos de las presas de cabecera del río Santa Lucía en los arroyos de El Soldado y Campanero. Las infraestructuras previstas tienen una capacidad de regulación pequeña cada una de ellas por separado, habiéndose determinado un volumen máximo de reservas de 27 hm³ en la presa El soldado y, en el caso del embalse generado por la presa Campanero, la capacidad útil sería de 15 hm³. La suma de los dos es un volumen significativo que supera los 40 hm³, lo que representa un incremento del 52% de la capacidad de regulación actual del río Santa Lucía sumando las presas de PS y CG. En el esquema de la figura siguiente, puede apreciarse la ubicación de estas infraestructuras los aportes medios esperados según la serie histórica de datos y los caudales ambientales que se propondría cumplir, siguiendo la dinámica expuesta en este documento.

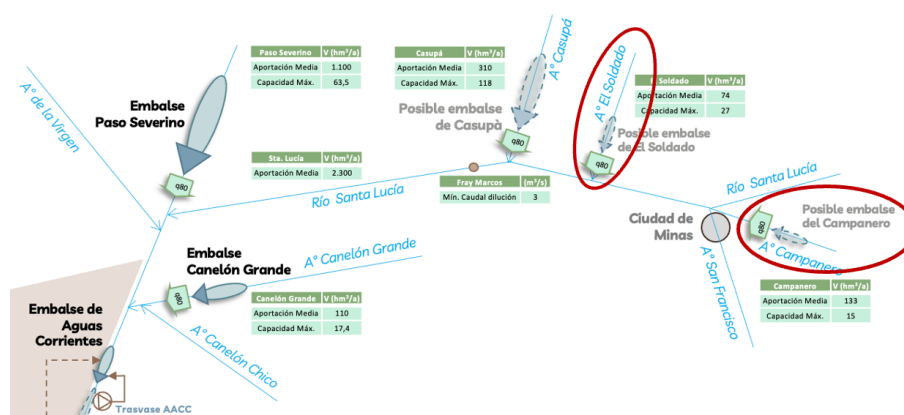


Figura 85 Ubicación topológica de las presas de El Soldado y Campanero respecto al conjunto al sistema Metropolitano en el Santa Lucía.

Las hipótesis de trabajo se recogen en la **Figura 86** y, como se ha comentado al final del apartado anterior, se impone el dar cumplimiento a caudales ambientales en la presa de AACC. Nuevamente se asume la aplicación de un protocolo específico de sequías con medidas adaptativas, tanto de reducción de la demanda y de los caudales ambientales, así como de modulación del trasvase o la incorporación de los aportes del río San José a través del bombeo de Paso Valdez. Tanto para esta alternativa como las siguientes el criterio de orden de uso de los recursos se basa en la regla operación descrita en el **apartado 4.2.5**. Se hace notar que a partir de este momento en el trasvase no se distingue si se suma el dique de Belastiquí, puesto que no es objeto utilizar esta infraestructura en un escenario consolidado a medio plazo (2035) con nuevas propuestas infraestructurales, pero en cualquier caso en



cuanto las reservas simuladas entran en el estado de emergencia se supondrá que se está aplicando una limitación técnica del trasvase equivalente a los 8.000 m³/h y se dará por hecho que es un agua que no cumple las condiciones de calidad del servicio. Obviamente para escenarios consolidados ninguna alternativa que llegue a esta situación sería aceptable.

	NORMALIDAD	SEQUÍA	EMERGENCIA
AACC	Demanda Objetivo 244 hm ³	-7%	-10%
Q ambiental	Basado en el q80 AACC q80	Basado en el q90 Se anula en AACC	Se anula
Trasvase	18.000 m ³ /h	12.000 m ³ /h	8.000 m ³ /h
Oferta Extraordinaria		Captación en el río San José	

Figura 86 Resumen de las hipótesis de trabajo de la simulación ESC35-2.

En la representación de la **Figura 87** se ha añadido el volumen retenido por el conjunto de las presas Campanero y El soldado en la evolución simulada de las reservas del Santa Lucía con Paso Severino y Canelón Grande, distinguiendo los nuevos aportes con otro color. Ahora la capacidad total supera los 120 hm³, pero como se observa en la figura, este incremento no es suficiente para evitar el vaciado completo de las presas en el episodio más severo de sequía. Si bien el resto de los ciclos de sequía son amortiguados por el incremento de las reservas del sistema, el año 33 decae incluso más que en el escenario de comparación ESC25-4.

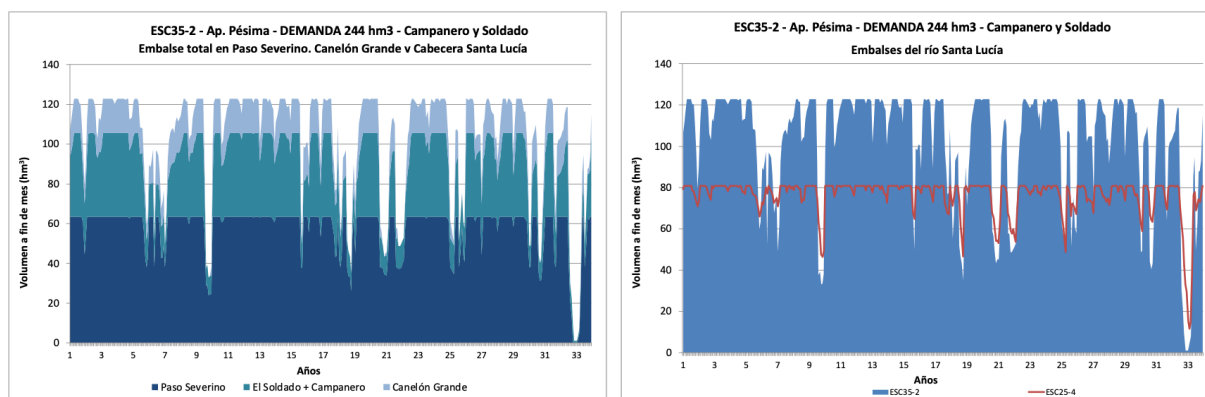


Figura 87 Simulación ESC35-2. A la izquierda la evolución de las reservas embalsadas en el Santa Lucía. A la derecha, evolución conjunta de reservas versus la evolución del escenario homólogo ESC25-4.

Analizando el motivo de este comportamiento, en un primer lugar podemos observar en la siguiente figura que el objetivo de demanda 2035 se cumple mayoritariamente todos los años excepto en el año 32 y 33, con pequeños déficits que, incluso dándose, no representan un volumen servido inferior al que se dio en el escenario ESC25-4. Es, por tanto, un fallo leve que tal vez tenga algún mecanismo para ser compensado. No obstante, el mix del agua servida por fuentes de recurso dista mucho de lo que se vio en el caso de los escenarios actuales 2025, donde el peso fundamental estaba en el agua no regulada del río Santa Lucía. En esta oportunidad puede observarse como en muchos años las otras fuentes de recurso son iguales o mayoritarias, siendo el trasvase el más importante, pero la propia agua consignada desde las presas distinguiendo si se trata de las existente o de las nuevas proyectadas en esta alternativa, demuestra que hay una continua necesidad de satisfacer demanda y restricciones ambientales con agua embalsada.

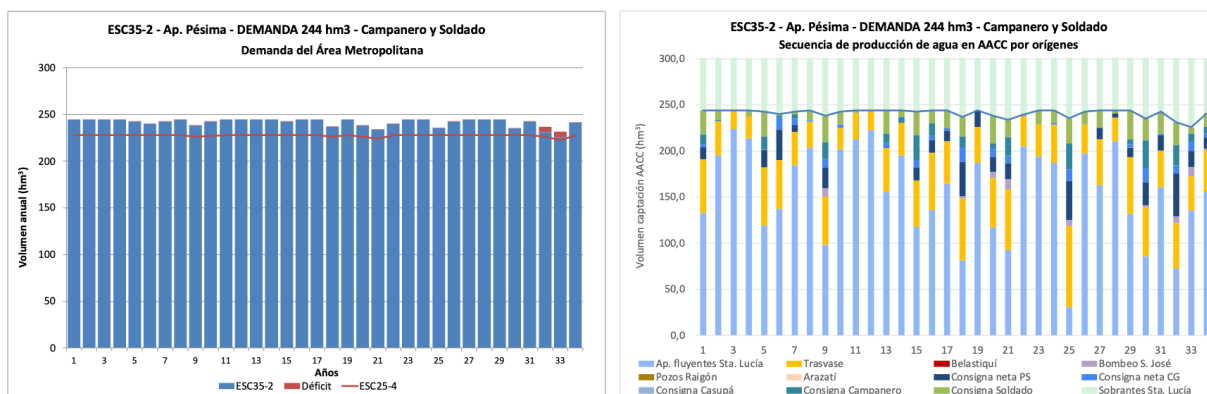


Figura 88 Simulación ESC35-2. A la izquierda demanda AM servida y déficit anual, superponiéndose en línea roja la evolución de la demanda servida del ESC25-4. A la derecha demanda servida como suma de volúmenes de distintas fuentes de suministro.

El motivo sin duda es la gran presión que ejerce tener que garantizar el caudal ambiental basado en el q80 al pie de la presa de AACC. En la siguiente figura se puede observar la evolución anual de los volúmenes destinados a los caudales ambientales, si bien presenta déficits en el caso de Canelón Grande, siempre se les da cumplimiento en Paso Severino y AACC. No obstante, la variación del volumen destinada a caudal ambiental denota largos períodos de aplicación de medidas de sequía, donde estos caudales se reducen a un valor basada en el q90. Esos dos valores de normalidad y sequía son los que están marcados con líneas discontinuas de referencia. En particular en el año 33 puede observarse como en AACC el valor es inferior incluso al límite de caudal ambiental de sequía, lo que demuestra la aplicación de medidas de emergencia entre las cuales está anular cualquier desembalse ambiental explícito.

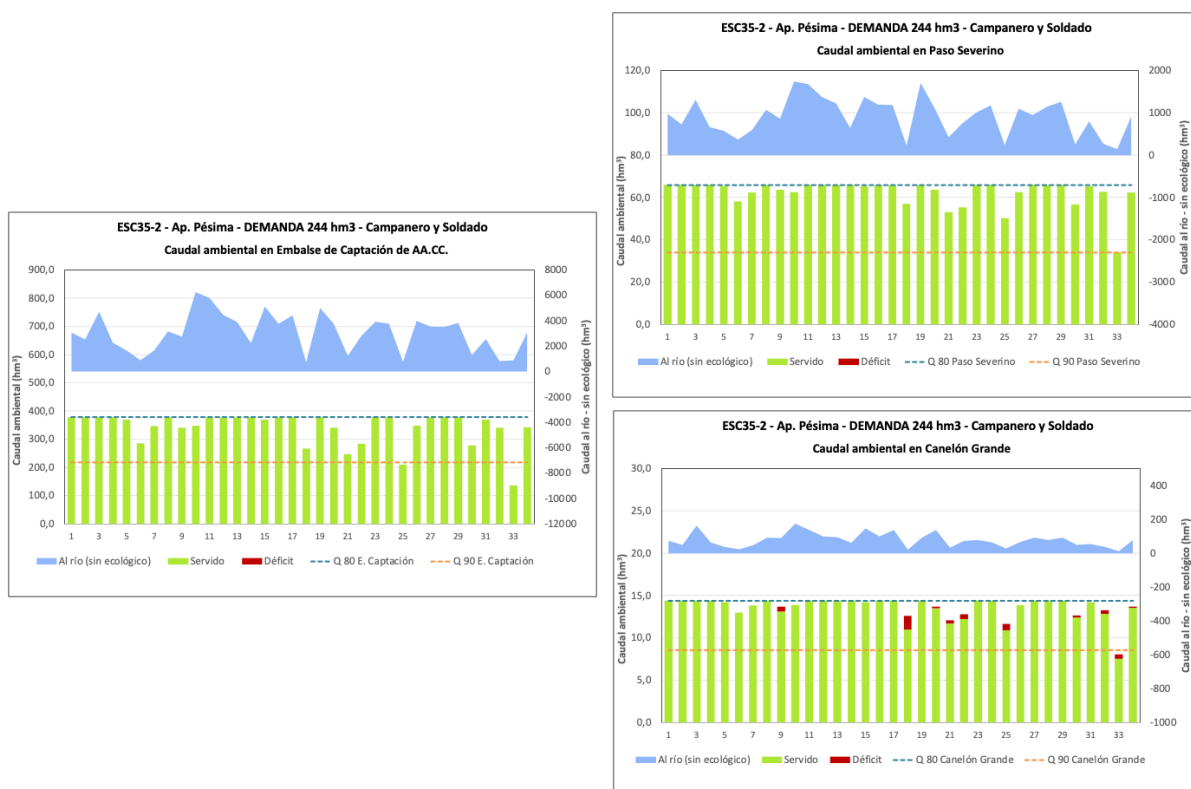


Figura 89 Simulación ESC35-2. Grado de cumplimiento de los caudales ambientales. A la izquierda toma de Aguas Corrientes, a la derecha superior presa de Paso Severino y, en derecha inferior, presa de Canelón Grande.



La **Figura 90** muestra la fuerte dependencia de esta hipótesis con los aportes del río San José a través del bombeo de Paso Valdez y, especialmente del trasvase, donde los valores medios anuales se sitúan en 40 hm³ y, se repiten diversos años con más de 60 hm³ de volumen trasvasado y un valor récord en el año 25 de simulación cercano a los 90 hm³, valor que no ha sido contrastado con ningún histórico anual realmente producido, ni siquiera en 2023.

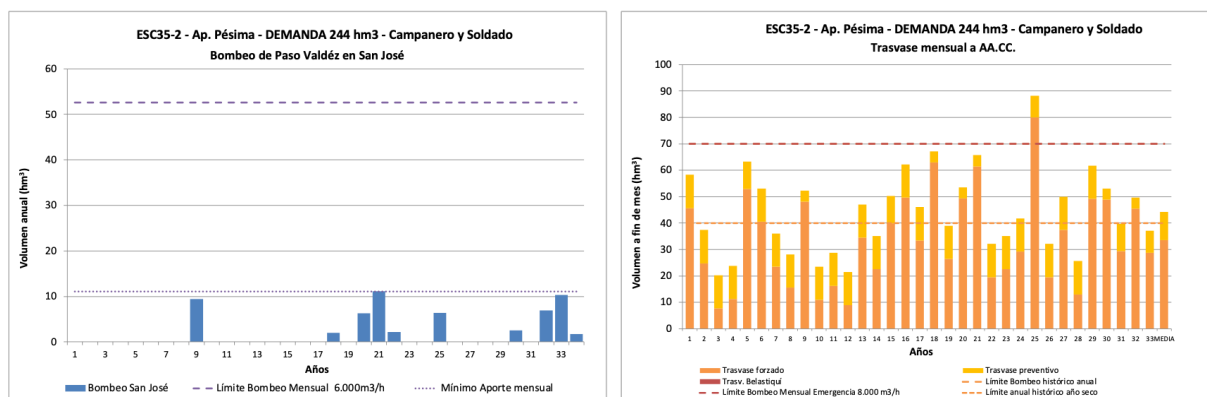


Figura 90 Simulación ESC35-2. A la izquierda volúmenes anuales de agua del San José bombeados en Paso Valdez y a la derecha volúmenes anuales trasvasados en AACC, en ambos casos versus los límites máximos técnicos e históricos.

En este caso, sí se han tanteado nuevos umbrales para definir los estados de sequía y emergencia buscando evitar ese vaciado del año 33. Incluso con límites más elevados a los del escenario objetivo, es decir ampliando el área donde se aplican las medidas excepcionales y, por tanto, prolongando el tiempo en el que éstas son vigentes, no se evita la entrada en emergencia el 1,5% del tiempo de simulación. Las medidas excepcionales se aplican otros 12,4% del tiempo en situación de sequía o escasez coyuntural.

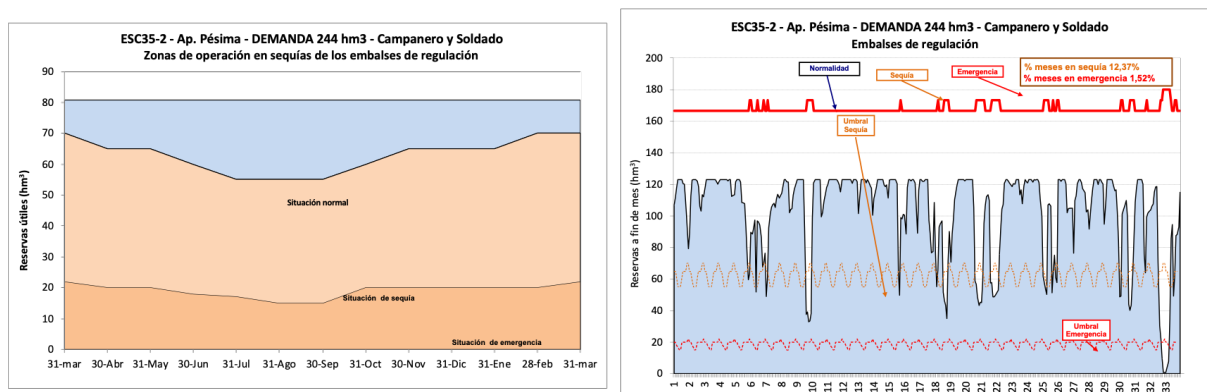
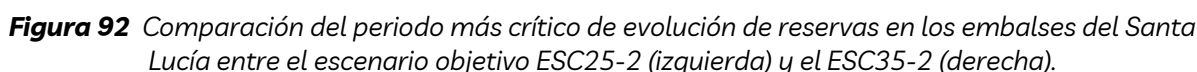


Figura 91 Simulación ESC35-2. A la izquierda posibles umbrales de definición de estado hidrológico. A la derecha evolución en los niveles de reservas en PS+CG, umbrales y línea superior como contador de meses en cada estado de sequía.

La última figura nos presenta un detallado de la evolución de las reservas de los últimos 5 años, comparando el escenario objetivo con el actual escenario ESC35-2. Si bien las reservas acaban partiendo de valores mayores al rango de representación de los gráficos, decaen de forma mucho más rápida y profundizada sin que las medidas previstas sean capaces de evitarlo. Esas medidas previstas, ya sean los aportes extraordinarios del trasvase de AACC, del bombeo del río San José o la reducción de las demandas y caudales ambientales, son insuficientes para evitar el colapso, incluso manteniendo cerca de 6 meses las medidas de emergencia donde se asume la utilización del dique Belastiquí y, por tanto, el servicio de un agua que no sería potable.



Esta reflexión conlleva plantear infraestructuras de producción hidráulica de mayor potencia, que es lo que se va a explorar en las siguientes alternativas.

Una de las propuestas históricas como posiblemente la más estudiada en el conjunto del río Santa Lucía es la presa de Casupá, que generaría un embalse de 118 hm³ de capacidad en un arroyo afluente con el mismo nombre. Esta presa mejoraría la regulación global de la cuenca y a la vez incrementaría la reserva del sistema de abastecimiento metropolitano de Montevideo. Los estudios de la presa de Casupá se remontan a décadas anteriores, pero entre los años 2016 y 2017 hubo una actualización de los datos hasta un nivel de factibilidad con detalles constructivos y una hidrología y topografía del vaso revisadas.



Esta alternativa plantea la construcción de la presa como medida para paliar los efectos de las aportaciones pésimas y del incremento de la demanda, pero en un primer estadio, no se aplicarían los caudales ambientales en la presa de AACC como hipótesis para validar el



efecto exclusivo del aumento de la regulación en el río Santa Lucía respecto al escenario objetivo ESC25-2, donde tampoco se están sirviendo estos caudales ambientales. Se sobreentiende en este caso que no haría falta la aplicación de medidas adaptativas ni excepcionales de reducción de demanda que se recogen en un PES, ni tampoco el propio uso del trasvase desde aguas abajo de la presa de toma, que representa un incremento energético en los costos de producción. Se trata de un primer análisis ciego, no condicionado, que busca explorar la posibilidad de simplificar la explotación del sistema a través de esta nueva infraestructura de regulación. Por supuesto, tampoco se incorporarían ya las infraestructuras de emergencia vinculadas a sequía como pueden ser la captación del río San José o la incorporación permanente del dique de Belastiquí. Estas hipótesis de trabajo se recogen en la figura bajo estas líneas.

	NORMALIDAD	SEQUÍA	EMERGENCIA
AACC	Demanda Objetivo 244 hm ³	-7%	-10%
Q ambiental	Basado en el q80 Se anula en AACC	Basado en el q90 Se anula en AACC	Se anula
Trasvase	No aplica	12.000 m ³ /h	8.000 m ³ /h
Oferta Extraordinaria	Captación en el río San José		
En un principio no aplica PES (porque queda casi todo en normalidad)			

Figura 94 Resumen de las hipótesis de trabajo de la simulación ESC35-3.

Siguiendo la estructura de gráficos ya establecida en alternativas anteriores en las figuras siguientes podemos ver la evolución de las reservas simuladas con la serie pésima donde además de Paso Severino y Canelón Grande, se suma el volumen de la presa de Casupá, lo que hacen necesario un rango de dibujo hasta los 200 hm³ que es la capacidad conjunta de este sistema. Dicha evolución tiene amplias pérdidas de reservas en diversos episodios de sequía, pero incluso en el peor de los momentos, año de simulación 33, el sistema conjunto no llega a vaciarse. Comparativamente con el ESC25-4, el sistema se mantiene casi siempre por encima de la capacidad máxima de reservas de aquel escenario y, en el caso del peor año de aportes, por encima de 40 hm³ como valor mínimo de recursos embalsados.

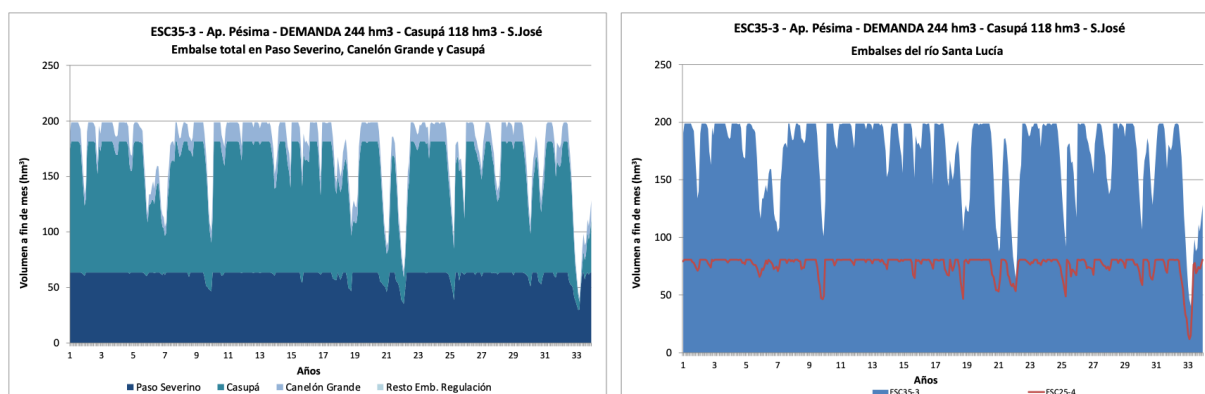


Figura 95 Simulación ESC35-3. A la izquierda la evolución de las reservas embalsadas en el río Santa Lucía. A la derecha, evolución conjunta de reservas versus la evolución del escenario homólogo ESC25-4.



Es muy probable que la virulencia o intensidad de la pérdida de reservas en los escenarios de sequía intensos se pueda amortiguar parcialmente con un protocolo de gestión de sequías.

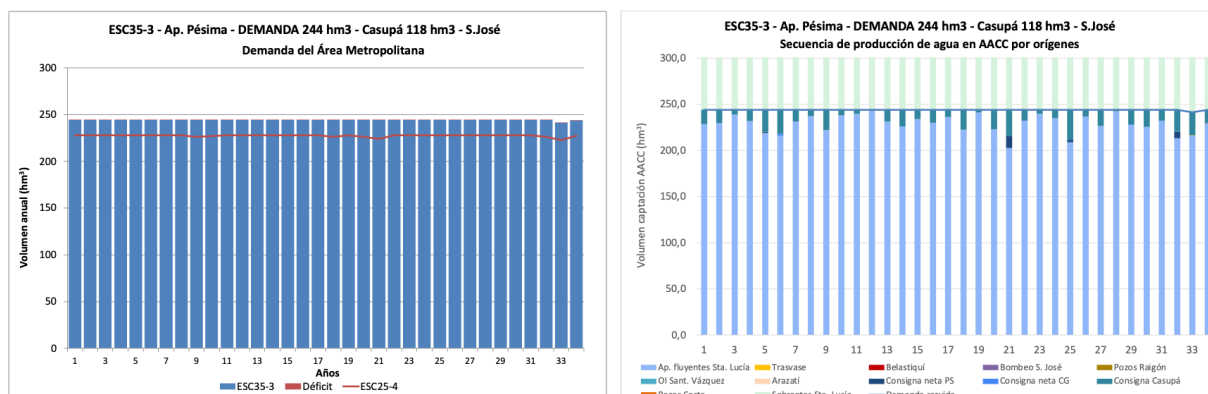


Figura 96 Simulación ESC35-3. A la izquierda demanda AM servida y déficit anual, superponiéndose en línea roja la evolución de la demanda servida del ESC25-4. A la derecha demanda servida como suma de volúmenes de distintas fuentes de suministro.

Las **Figura 96** y **Figura 97** demuestran que hay un servicio estricto de toda la demanda objetivo sin ningún tipo de déficit, así como el total cumplimiento de los caudales ambientales en las 3 presas de regulación, pero no en AACC donde no se aplica. Mayoritariamente el servicio de agua para abastecimiento se ha dado con recurso no regulado del río Santa Lucía, seguido por las consignas de los embalses donde Casupá tiene el máximo protagonismo respecto a las presas anteriores o históricas y, donde la secuencia de aportaciones cambia parcialmente el comportamiento de otras alternativas, haciendo en que el año 21 de la simulación sea el momento más significativo de aportes provenientes de las presas.

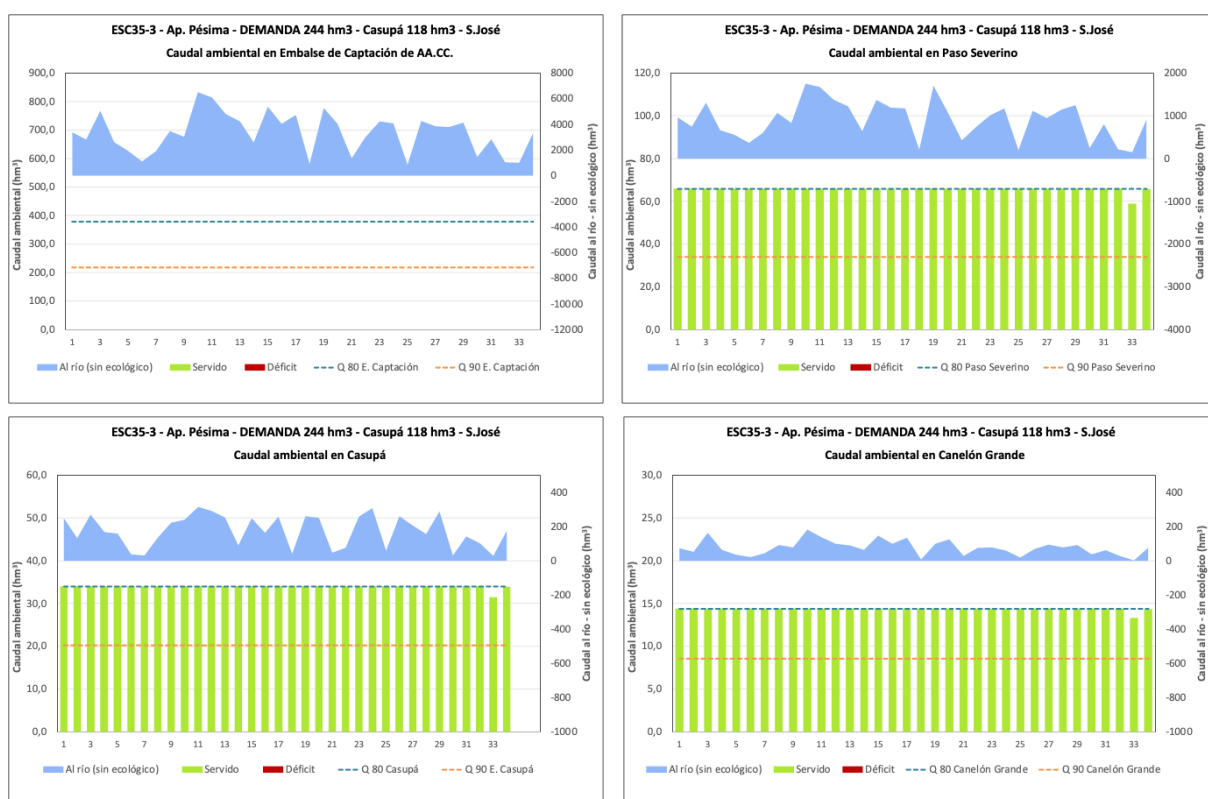


Figura 97 Simulación ESC35-3. Grado de cumplimiento de los caudales ambientales. A la izquierda parte superior toma de Aguas Corrientes y parte inferior presa de Casupá; a la derecha superior presa de Paso Severino y, en derecha inferior, presa de Canelón Grande.



Más allá de los problemas de cantidad de agua disponible para el abastecimiento metropolitano que han motivado este estudio, uno de los riesgos más importantes que sufre la planta de AACC es la posible afección del tratamiento por problemas de calidad del agua cruda y, por tanto, incumplimiento de las condiciones de calidad del servicio. Más concretamente, el riesgo estudiado reside en que, en épocas de fuerte estiaje, los caudales fluyentes por el río Santa Lucía no sean suficientes para diluir los contaminantes naturales generados por *bloom* algar. Este efecto puede ir de la mano de la sequía, muy probablemente por una combinación de falta de recurso en la cuenca no regulada y generación de esta contaminación algar, como incapacidad de enviar recurso extraordinario desde las presas para diluir estos contaminantes antes de llegar a la toma de la planta. El punto que se ha considerado estratégico históricamente para hacer estos controles es la estación de aforos de Fray Marcos, un punto de monitoreo en el Santa Lucía, aguas abajo de la incorporación del arroyo Casupá, pero kilómetros aguas arriba de la unión con el Santa Lucía Chico donde se encuentra la presa de Paso Severino. Se ha llegado a determinar que estos fenómenos algares no se producirían si el caudal instantáneo en la sección de control de Fray Marcos es igual o superior a 3 m³/s.

En la siguiente figura se ha hecho una composición que permite comprobar el caudal medio mensual fluyente por la sección de Fray Marcos *versus* ese límite de 3 m³/s. A la vez se superpone el caudal ambiental de obligado cumplimiento en la presa de Casupá que es parte de la fracción de agua que se está sumando en Fray Marcos. Dentro de la caracterización del referido proyecto de la presa de Casupá, se ha supuesto que, si el caudal de la cabecera del Santa Lucía antes de la incorporación del arroyo Casupá, más el caudal ambiental de la presa de Casupá son insuficientes para garantizar estos 3 m³/s, desde el embalse se complementará el volumen necesario hasta el caudal objetivo. De esta manera, se condiciona la operación de la presa por razones de calidad de forma paralela a las consignas propias de cantidad según la prelación de uso de fuentes establecida en el **apartado 4.2.5**. En la **Figura 98** puede observarse que, en esta alternativa simulada ESC35-3, siempre es posible garantizar el caudal objetivo de calidad en Fray Marcos; mayoritariamente todos los años se da sin necesidad de incrementar los volúmenes de desembalse de la presa con este objetivo.

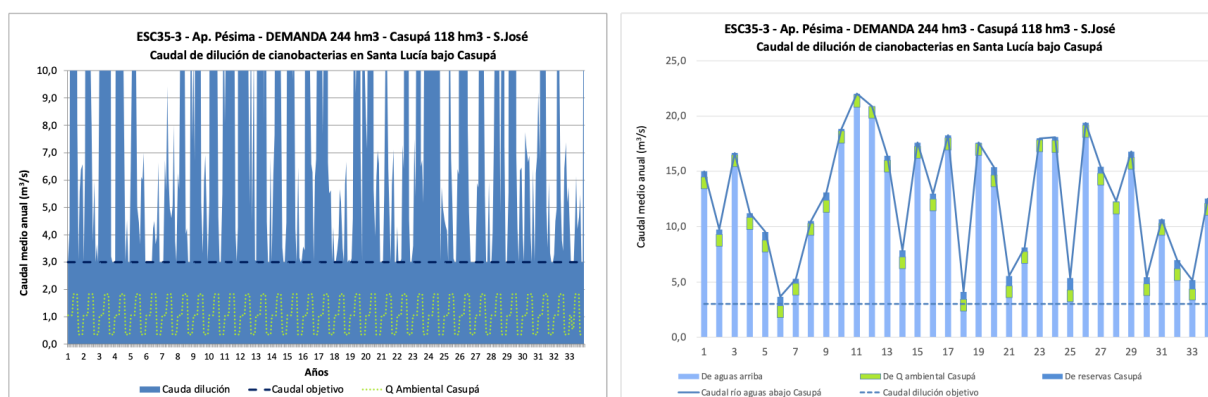


Figura 98 Simulación ESC35-3. A la izquierda caudales medios mensuales en Fray Marcos y límite de dilución establecido; a la derecha caudal promedio anual distinguiendo el origen del agua fluyente en el punto.

En esta alternativa no se presentan gráficos de los aportes del San José o del trasvase porque no se están. Finalmente se ha hecho una prueba de incorporar unos umbrales y estados de sequía tentativos, siempre por encima de 50 hm³ de reservas y, simplemente para ver la frecuencia con la que se traspasaba este umbral que representa el 63% (dos tercios) de la capacidad máxima actual de regulación (PS+CG), no porque se estén aplicando medidas de sequía como tal, sino como criterio para contabilizar frecuencias en cada uno de los estados.



En toda la simulación, 396 meses, solamente el 0,51% del tiempo equivalente a dos meses, se habría cruzado el umbral de sequía y, por supuesto, nunca se habría entrado en el estado de emergencia. En el gráfico de la **Figura 100** pueden verse las evoluciones de las reservas de forma comparada entre esta alternativa simulada, el escenario ESC25-4 y el registro real del período de los últimos 5 años, donde se aprecian las mínimas reservas (volúmenes) en cada caso.

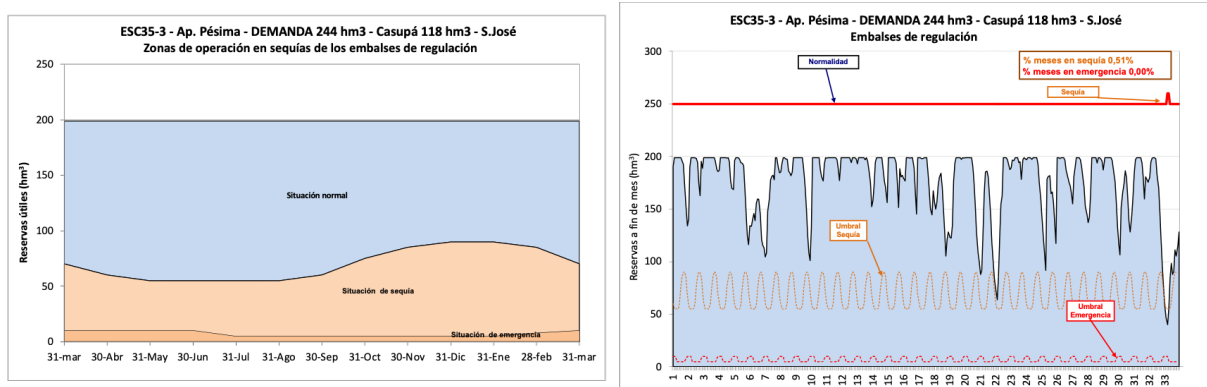


Figura 99 Simulación ESC35-3. A la izquierda posibles umbrales de definición de estado hidrológico. A la derecha evolución en los niveles de reservas en el Santa Lucía (Casupá+PS+CG), umbrales y línea superior como contador de meses en cada estado de sequía.

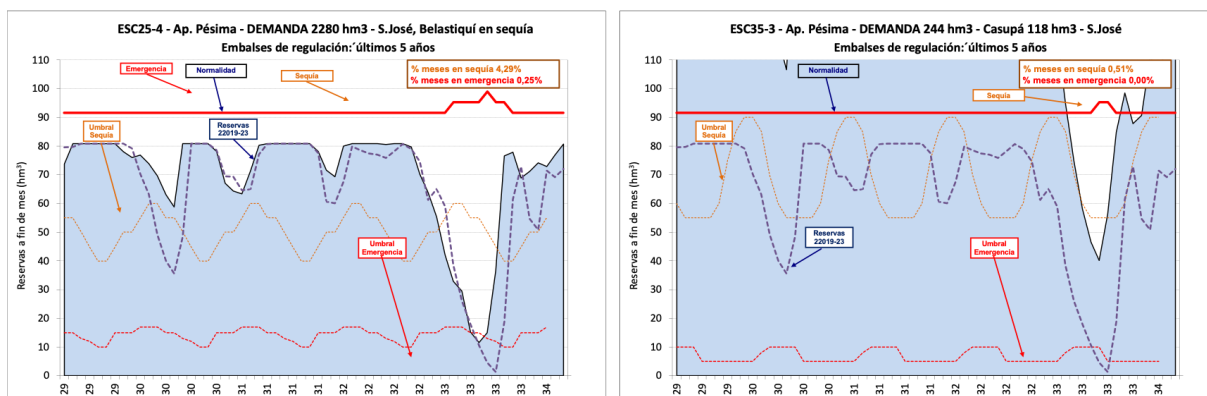


Figura 100 Comparación del periodo más crítico de evolución de reservas en los embalses del Santa Lucía entre el escenario homólogo ESC25-4 (izquierda) y el ESC35-3 (derecha).

En conclusión, en esta alternativa donde se incorpora una posible presa del A° Casupá con un embalse de 118 hm³ de capacidad de regulación, **el sistema no falla y no requiere** de medidas de **PES** para servir toda la demanda y cumplir con las obligaciones ambientales, pero no estaría cumpliendo caudales ambientales en AACC.

4.5.4 Escenario ESC35-4

La siguiente pregunta natural por responder es si podemos repetir una variante del escenario anterior, pero cumpliendo los caudales ambientales en AACC. Estos caudales ambientales se basarían en el q80 por tratarse de una captación o derivación de aguas. Sabiendo del impacto que tiene en el sistema el caudal ambiental en AACC, se anularían en el primer nivel de sequía. Para esta nueva propuesta se cuenta con un protocolo específico de adaptación a sequías que regule las disminuciones de demanda y de caudales ambientales en las presas y, que también incorpore como medidas excepcionales el trasvase, que no funcionaría en



normalidad, y la captación del río San José. El conjunto de hipótesis está resumido en la siguiente figura.

	NORMALIDAD	SEQUÍA	EMERGENCIA
AACC	Demanda Objetivo 244 hm ³	-7%	-10%
Q ambiental	Basado en el q80 q80 en AACC	Basado en el q90 Se anula en AACC	Se anula
Trasvase	No aplica	12.000 m ³ /h	8.000 m ³ /h
Oferta Extraordinaria	Captación en el río San José		

Figura 101 Resumen de las hipótesis de trabajo de la simulación ESC35-4.

La representación de las reservas de la simulación de reservas embalsadas arroja un panorama muy distinto al caso anterior. Para facilitar la comparación se superponen en la figura siguiente el conjunto de reservas de las 3 presas del Santa Lucía en este escenario versus el escenario anterior ESC35-3. Se puede apreciar que las oscilaciones son mucho más intensas y frecuentes, pero no se vacía el conjunto de los embalses. La dinámica del balance hídrico mensual en este caso lleva a unos mínimos que se dan en el año 25 de simulación, y no en el año 33 como suele ocurrir, y son ligeramente inferiores a los que se habían modelizado en la alternativa anterior.

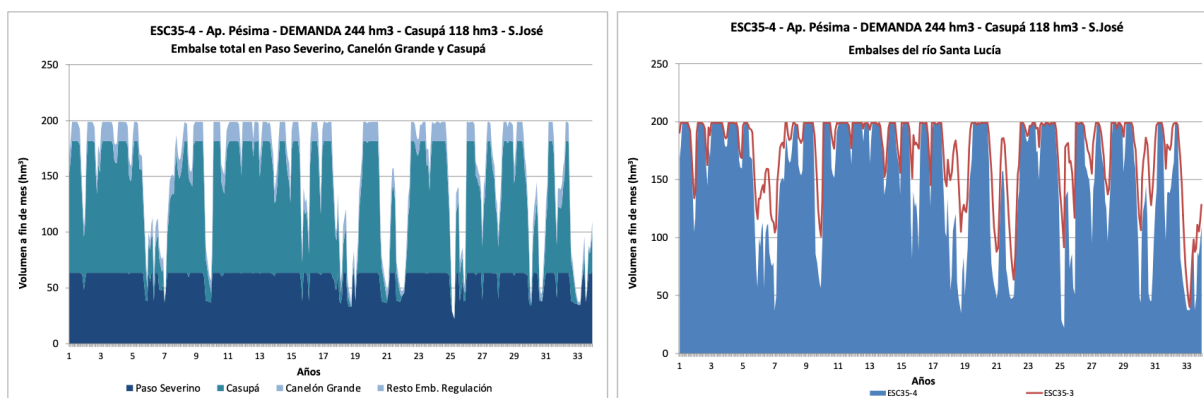


Figura 102 Simulación ESC35-4. A la izquierda la evolución de las reservas embalsadas en el Santa Lucía. A la derecha, evolución conjunta de reservas versus la evolución del escenario anterior ESC35-3.

La **Figura 103** muestra como las demandas son servidas plenamente sin déficits en todos los años, aunque esta vez en años de sequía hay pequeñas reducciones del servicio fruto de la aplicación de medidas de ahorro de la demanda. A diferencia del caso anterior la satisfacción de esta demanda es mucho más compleja y superpone diferentes fuentes donde el peso del agua regulada desde los 3 embalses tiene mayor protagonismo además de incorporar agua trasvasada en la presa de AACC en los años secos.

Las consignas ambientales se cumplen tanto en las 3 presas como en la toma de AACC según lo previsto. Solamente se detectan déficits o incumplimientos leves en los años 25 y 33 de la simulación, tanto en Casupá como en Canelón Grande.

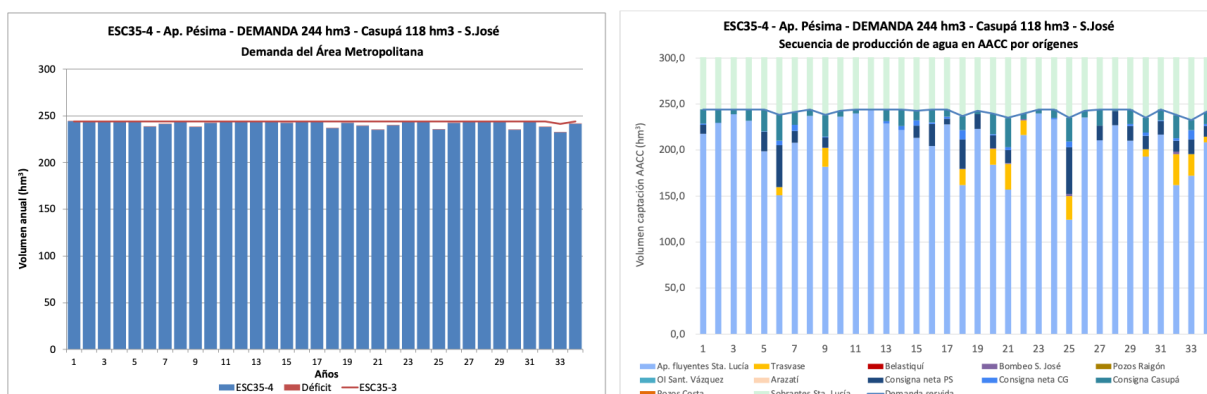


Figura 103 Simulación ESC35-4. A la izquierda demanda AM servida y déficit anual, superponiéndose en línea roja la evolución de la demanda servida del ESC35-3 anterior. A la derecha demanda servida como suma de volúmenes de distintas fuentes de suministro.

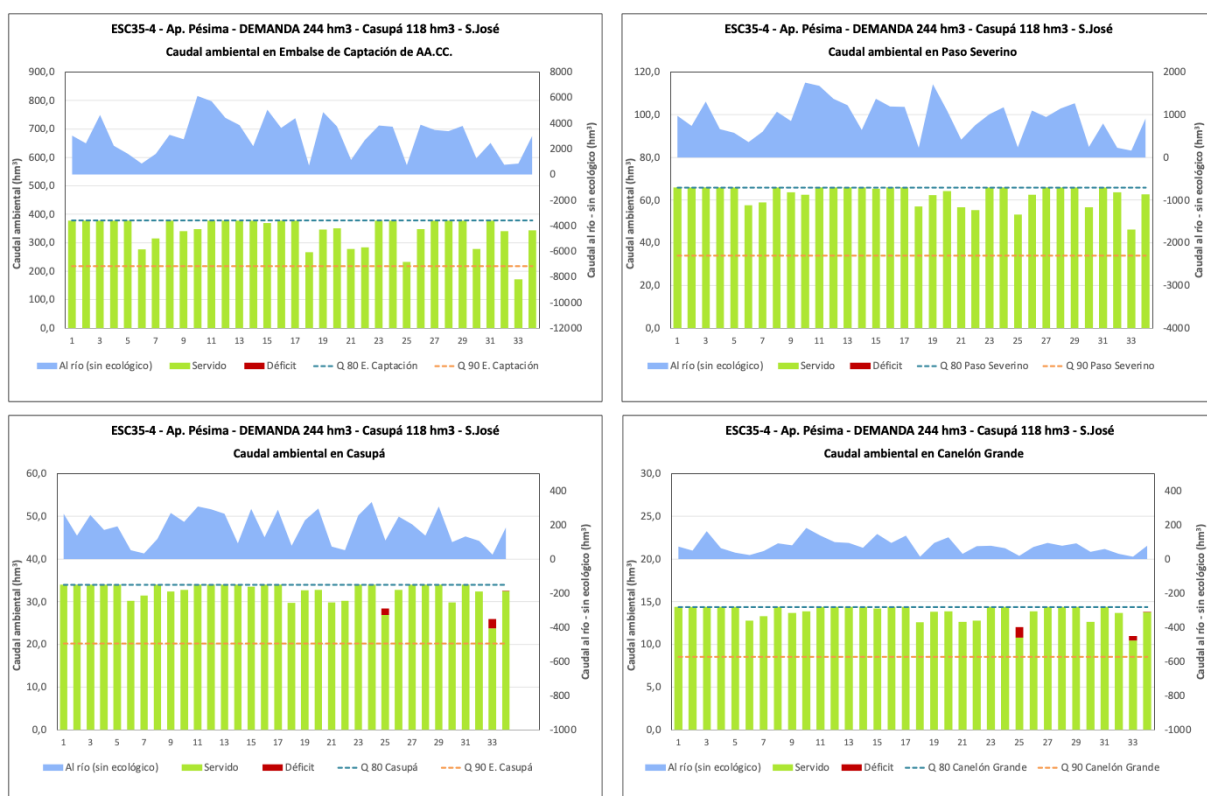


Figura 104 Simulación ESC35-4. Grado de cumplimiento de los caudales ambientales. A la izquierda parte superior toma de Aguas Corrientes y parte inferior presa de Casupá; a la derecha superior presa de Paso Severino y, en derecha inferior, presa de Canelón Grande.

En cuanto al cumplimiento del caudal objetivo de 3 m³/s para garantizar la dilución de contaminantes en el punto denominado Fray Marcos (ver **Figura 105**) a nivel anual se cumple siempre, pero mensualmente se dan incumplimientos muy poco frecuentes, pero sí intensos con valores cercanos a 1 m³/s o menos, lejos del caudal objetivo. Todos los incumplimientos están asociados a los momentos de máxima sequía.

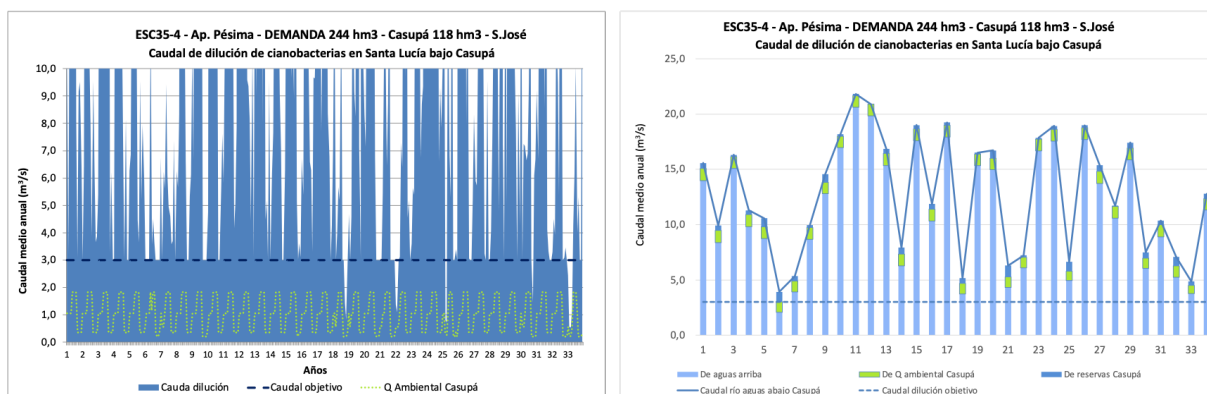


Figura 105 Simulación ESC35-4. A la izquierda caudales medios mensuales en Fray Marcos y límite de dilución establecido; a la derecha caudal promedio anual distinguiendo el origen del agua fluyente en el punto.

Tal como se ha comentado en la proporción de los recursos que se sirven para satisfacer la demanda, en este escenario, a diferencia del ESC35-3, se requiere la incorporación de volúmenes del trasvase en los años secos que, en cualquier caso, están muy por debajo de los valores que en la actualidad se están trasvasando en años de aportaciones similares (**Figura 106**). Como el modelo está incorporado el bombeo del río San José desde Paso Valdez, este aporta puntualmente, pero los valores son tan pequeños que podemos concluir que no es necesaria la infraestructura para poder superar los eventos de sequía que se presenten, incluso con aportaciones peores que las vividas.

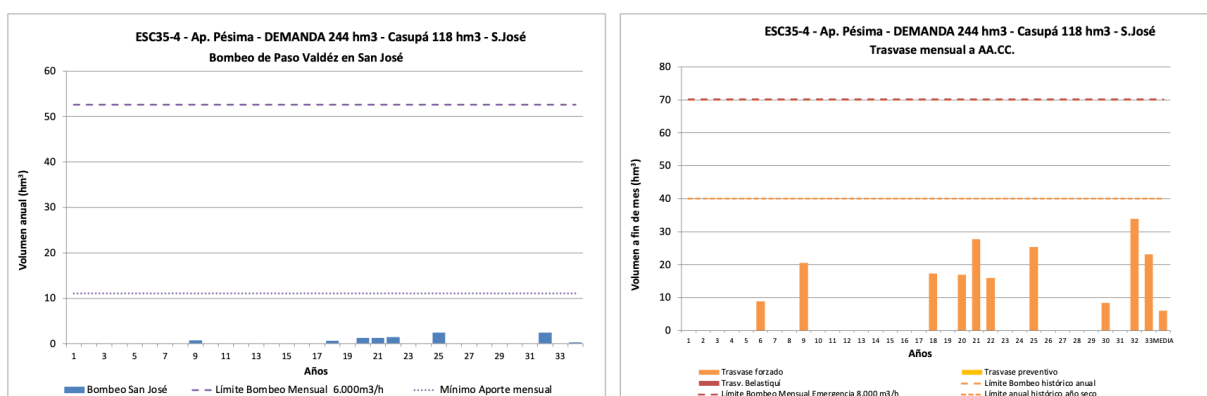


Figura 106 Simulación ESC35-2. A la izquierda volúmenes anuales de agua del San José bombeados en Paso Valdez y a la derecha volúmenes anuales trasvasados en AACC, en ambos casos versus los límites máximos técnicos e históricos.

Se repite los valores de los umbrales de sequía y definición de los estados con medidas excepcionales del escenario anterior, pero esta vez están siendo utilizados para modelar la activación de las medidas con restricciones sobre las demandas y caudales ambientales. Como en el caso del escenario objetivo actual, los umbrales escogidos minimizan el volumen destinado a emergencia e intentan concentrar el efecto de las medidas en el estado de sequía, minimizando también la estadía en el mismo. El indicador en este caso incorpora todas las reservas del río Santa Lucía y, por tanto, tiene un rango hasta a 200 hm³. Los umbrales son cambiantes mes a mes (forma hidrológica) con valores que fluctúan entre 60 y 90 hm³. Con esta propuesta la declaración de sequías se produce un 14% de los meses de simulación, sin producirse ninguna entrada en emergencia, con un volumen mínimo de reservas que supera los 20 hm³. El detalle del periodo temporal con menor nivel de reservas aparece en la **Figura 108** y, en esta simulación el mínimo mensual no se da en el año 33 sino en el año 25.

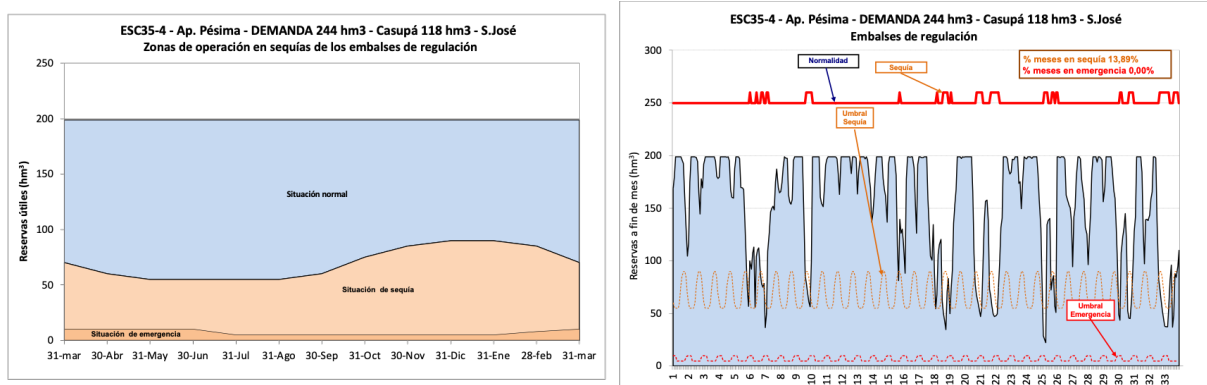


Figura 107 Simulación ESC35-4. A la izquierda posibles umbrales de definición de estado hidrológico. A la derecha evolución en los niveles de reservas en el Santa Lucía (Casupá+PS+CG), umbrales y línea superior como contador de meses en cada estado de sequía.

Aunque el periodo de aplicación de medidas de sequía de esta alternativa supera al del escenario objetivo ESC25-2, en este caso no se dan tampoco situaciones de emergencia y las reservas mínimas a las que llega al sistema la simulación son equivalentes.

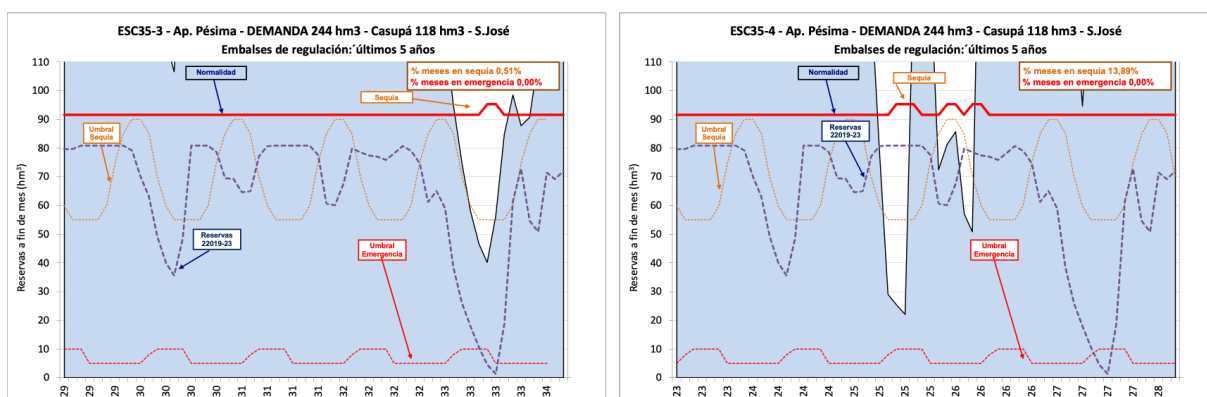


Figura 108 Comparación del periodo más crítico de evolución de reservas en los embalses del Santa Lucía entre el escenario anterior ESC35-3 (izquierda) y el ESC35-4 (derecha).

En conclusión, según la alternativa anterior ESC35-3, Casupá permite dar los caudales ambientales en las presas, sin contar AACC con una explotación ordinaria, es decir sin modificar la demanda o forzar la puesta en marcha de infraestructuras de sequía, es decir sin medidas preventivas tipo PES.

No obstante, si añadimos ahora ESC35-4 el requisito de dar cumplimiento al caudal ambiental basado en q80 en AACC en normalidad, esto obliga a aplicar un PES con umbrales que evitarán la emergencia, pero el 14% del tiempo se aplicarán medidas de gestión de la demanda y aportaciones extraordinarias vía trasvase desde aguas abajo de la presa de toma de AACC, infraestructura que ya se encuentra totalmente consolidada, y no habría que añadir la recuperación y estabilización de la obra de Paso Valdez, porque el agua del río San José no sería necesaria.

4.5.5 Escenario ESC35-5

En la actualidad hay otra alternativa infraestructural con elevado grado de avance en los estudios y caracterización. Se trata del proyecto Neptuno, compuesto por la captación en el



río de La Plata, obra de regulación local del agua cruda, y planta de tratamiento de Arazatí, que suma una conducción de bombeo del agua tratada hasta el tanque Melilla, dentro de la red de distribución urbana del sistema metropolitano. En la **Figura 109** se presenta el esquema. La pregunta que surge tras el análisis de la alternativa anterior es si, en condiciones equivalentes a las del escenario ESC35-4 con Casupá, es posible dar una respuesta igual o superior con la infraestructura de Arazatí.

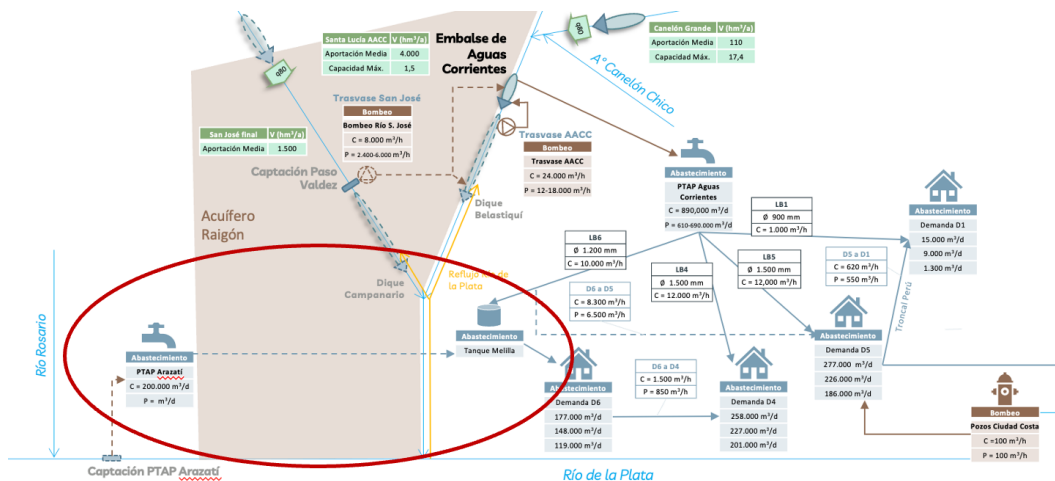


Figura 109 Ubicación topológica de la toma, planta de Arazatí y conducción hasta el tanque Melilla en la red de distribución urbana del sistema Metropolitano.

Previamente conviene recordar que las características de esta infraestructura la hacen totalmente distinta al funcionamiento de una presa con su embalse de regulación. En este caso la producción tiene un recurso original o agua cruda ilimitada ya que la disponibilidad de recursos en la fuente (río de La Plata) es proporcionalmente infinita respecto al caudal de diseño de la planta. Pero la capacidad de aportar recursos al sistema es limitada, tanto por el caudal de tratamiento como por la capacidad de bombeo del sistema de impulsión hasta la red. Esta limitación está valorada es de 200.000 m³ al día.

Las condiciones del agua del río de La Plata pueden no ser siempre las más adecuadas y, en el extremo llegarían a hacer inviable el tratamiento para su potabilización por exceso de salinidad. Este efecto es más frecuente en estiajes y sequías. Para ello la planta de Arazatí debe contar con un pulmón o *buffer* de agua cruda que permita retener agua en los momentos donde las mareas aportan agua dulce, limitando la entrada en los períodos de agua salada. A través de esta reserva se mantendría constante la producción de la planta. El volumen de esta balsa es clave para garantizar el 100% del funcionamiento y disponibilidad de la infraestructura. Hasta la fecha de redacción de este informe no estaba claro cuál sería su volumen. Consecuentemente se propone hacer la hipótesis de que será un volumen tal que siempre existirá la disponibilidad de tratar hasta el caudal máximo de diseño. Pero podría no ser así.

En cuanto al punto de entrega, éste representa una segunda limitación técnica para la producción de agua de Arazatí. Concretamente, Arazatí no entrega en el sistema de impulsión global que nace en la planta de AACC, y que le permitiría ser distribuido a cualquier punto del sistema, sino que la conexión se produce en el tanque Melilla, situado en los márgenes de la conurbación. La demanda del agua de Arazatí está limitada a la demanda servida desde el tanque Melilla, que es inferior al caudal diario de producción de la planta, concretamente los valores promedios son ligeramente inferiores a 150.000m³/día. El tanque Melilla es el punto clave de distribución de agua a un área denominada D6 en referencia a que es nutrida por la línea de bombeo o impulsión n°6 de elevación del agua tratada en AACC. La demanda desde



el tanque Melilla es cautiva, es decir solo se puede suministrar desde la línea de impulsión n°6 y, en esta alternativa, también desde Arazatí. La permeabilidad entre las distintas zonas de distribución de agua por las líneas de elevación desde AACC son limitadas y no todas las zonas pueden transferir agua de una a otra a través de una conducción bien definida o a través de la suma de pequeñas conducciones que unen distritos de suministro. Particularmente, desde el área D6 suministrada por el tanque Melilla existe la posibilidad de distribuir agua al área denominada D4 por nutrirse por la línea de bombeo n°4 de AACC. Esta conexión es muy limitada, solamente se utiliza en situaciones de emergencia de operación de la red, debido a la dificultad que representa su puesta en funcionamiento. Inicialmente se han hecho hipótesis de trabajo donde la conducción permitiría incrementar el área de la demanda servida por recurso de Arazatí en situaciones de sequía y emergencia. Con aras de maximizar el uso del recurso de la nueva planta, se ha concluido con una hipótesis menos restrictiva donde la conducción de transferencia desde el área D6 a la D4 funcionaría permanentemente. El cumplimiento de esta hipótesis requeriría de alguna actuación local para poder ser garantizada.

Por último, en el planteamiento del proyecto Neptuno hay condicionantes vinculados al régimen de operación de la infraestructura que también tienen un peso específico en la simulación que se ha de realizar. En particular, los primeros 100.000 m³/día, es decir la mitad de la capacidad de producción, tienen un costo fijo para el operador. Dicho de otra manera, ese volumen se tiene que utilizar preferentemente incluso cuando hubiera agua sobrante en el río Santa Lucía.

En la **Figura 110** se presenta el resumen de las hipótesis de trabajo de esta alternativa, de forma congruente con el escenario anterior ESC35-4, lo que implica aplicar un protocolo de gestión de sequías con reducción de la demanda y caudales ambientales en las presas también reducidos en situación de sequía y nulos en situación de emergencia y, un caudal ambiental en normalidad en la captación de AACC. El trasvase no aplicaría en normalidad, pero se incorporaría cuando fuera necesario en las situaciones de sequía y emergencia.

	NORMALIDAD	SEQUÍA	EMERGENCIA
AACC	Demanda Objetivo 244 hm ³	-7%	-10%
Q ambiental	Basado en el q80 q80 en AACC	Basado en el q90 Se anula en AACC	Se anula
Trasvase	No aplica	12.000 m ³ /h	8.000 m ³ /h
Oferta Extraordinaria		Captación en el río San José	

La conexión de emergencia entre D6 y D4 funcionaría todo el tiempo a máxima capacidad

Figura 110 Resumen de las hipótesis de trabajo de la simulación ESC35-5.

El efecto de esta simulación se observan las siguientes figuras. El conjunto de las reservas del río Santa Lucía (CG+PS) tienen fuertes oscilaciones con vaciados muy importantes que llegan a ser completos en dos ocasiones. En comparación con el escenario anterior los volúmenes de reserva son siempre muy inferiores. El vaciado del año 30 de simulación produce déficit y mayoritariamente el servicio de la demanda es algo inferior al del escenario previo, aunque muy similar. En la distribución del recurso por fuentes de suministro, queda clara la fuerte presencia de los aportes de la planta de Arazatí y, también la necesidad intermitente de incorporar agua del trasvase y del río San José.

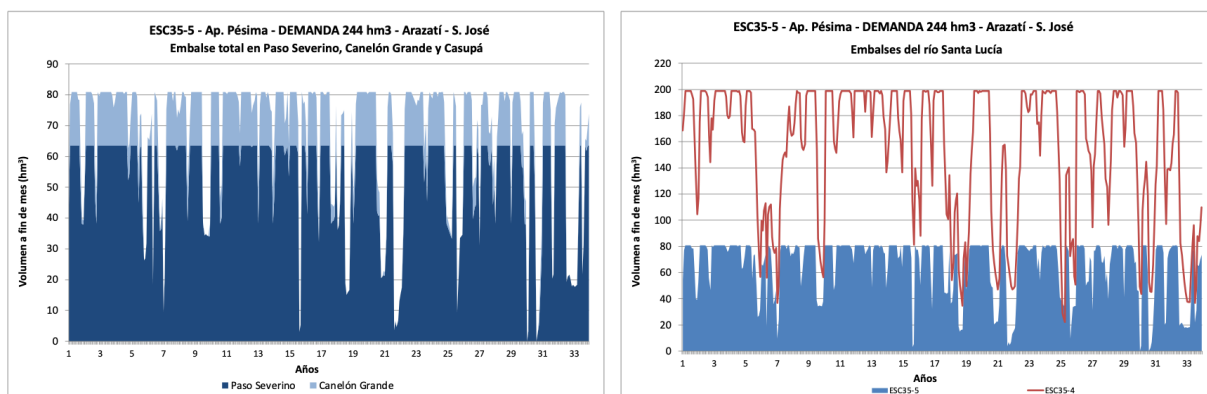


Figura 111 Simulación ESC35-5. A la izquierda la evolución de las reservas embalsadas en el Santa Lucía. A la derecha, evolución conjunta de reservas versus la evolución del escenario anterior ESC35-4.

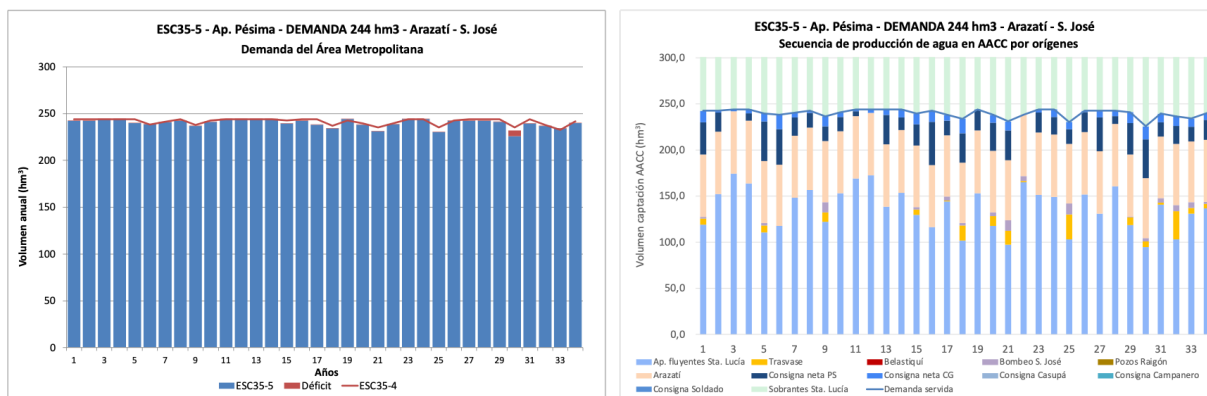


Figura 112 Simulación ESC35-5. A la izquierda demanda AM servida y déficit anual, superponiéndose en línea roja la evolución de la demanda servida del ESC35-4 anterior. A la derecha demanda servida como suma de volúmenes de distintas fuentes de suministro.

Los caudales ambientales son suministrados sin problemas en la presa de Paso Severino y también en la captación de AACC con las limitaciones que ya se han comentado, pero en el caso del embalse de Canelón Grande los incumplimientos son sistemáticos, llegando a ser importantes en algunos años.

Siguiendo el razonamiento equivalente al escenario previo, si se analiza el cumplimiento del caudal de dilución de 3 m³/s en el punto denominado Fray Marcos, un valor que responde a garantizar la calidad previa del agua cruda del río Santa Lucía para poder ser tratada en la planta de AACC. La **Figura 114** muestra como el caudal medio mensual no regulado de la cabecera del río Santa Lucía no es suficiente para cubrir ese caudal objetivo de calidad en los años secos y en la mayoría de los años medios. No existiendo una regulación en esa parte de la cuenca no es posible el suministro de recurso complementario remitir ese incumplimiento. Esta es una situación que también se da en la actualidad.



PES para el sistema de agua potable del área Metropolitana (de Montevideo) y del Arroyo San Francisco en Ciudad de Minas, Uruguay
Informe Análisis de Alternativas y Protocolo del Escenario Objetivo

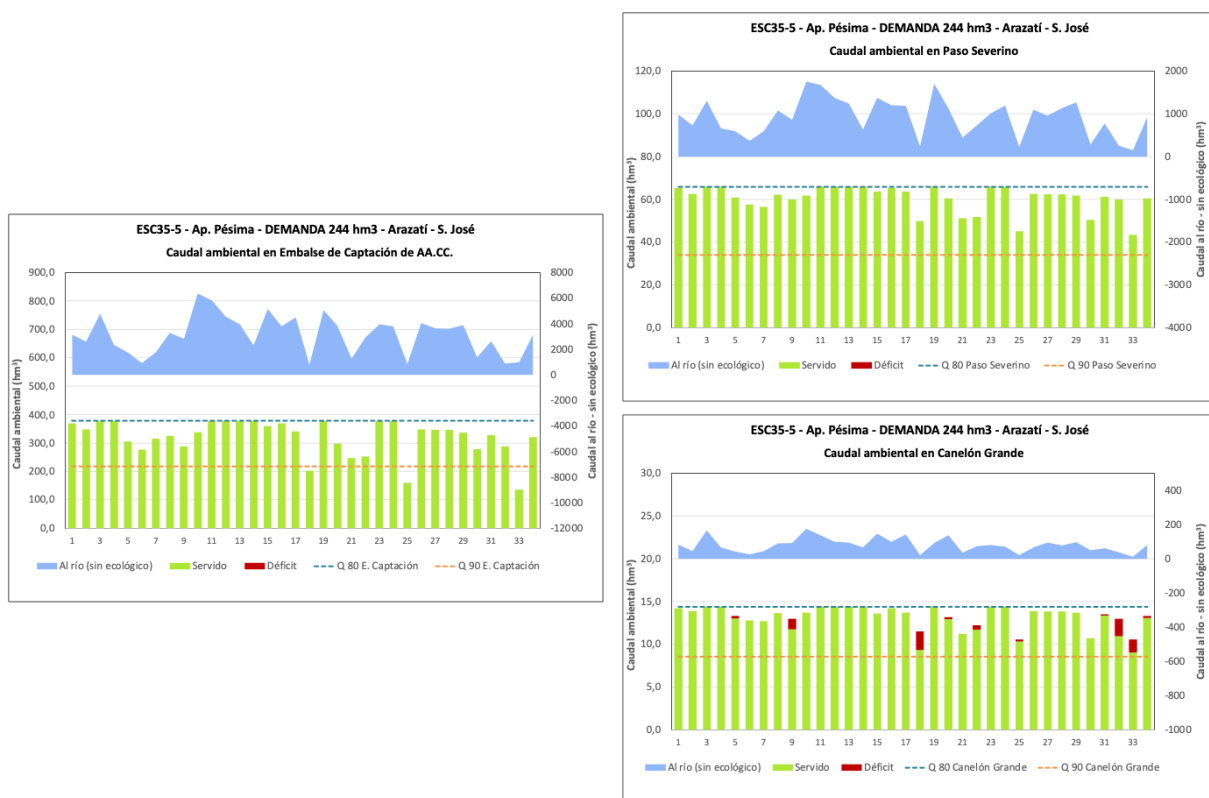


Figura 113 Simulación ESC35-5. Grado de cumplimiento de los caudales ambientales. A la izquierda toma de Aguas Corrientes; a la derecha superior presa de Paso Severino y, en derecha inferior, presa de Canelón Grande.

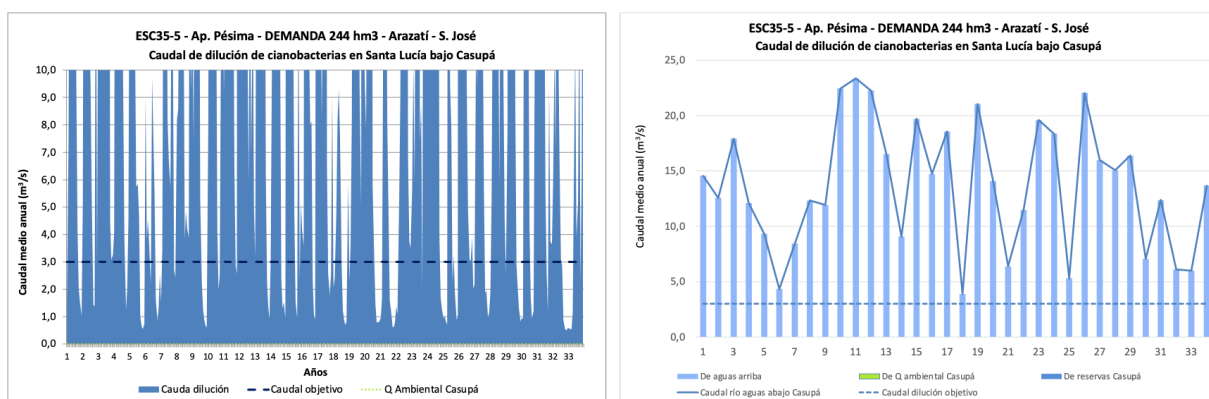


Figura 114 Simulación ESC35-5. A la izquierda caudales medios mensuales en Fray Marcos y límite de dilución establecido; a la derecha caudal promedio anual distinguiendo el origen del agua fluyente en el punto.

El sistema requiere de la declaración de sequías muy frecuentemente, con lo que activa los recursos complementarios del río San José o del trasvase. En el caso del río San José, éste se utiliza intensamente, aunque el volumen suministrado esté limitado doblemente, ya sea por la capacidad de bombeo o por la disponibilidad del recurso no regulado. Hay que mencionar que el aporte del río San José es objeto de cuestionamiento en el caso de un uso prolongado en períodos de fuerte estiaje. El trasvase en cambio está infrautilizado respecto a la situación actual y, por tanto, es de suponer que la solución de Arazatí seguiría requiriendo del trasvase incluso en normalidad para superar buena parte de los de períodos de sequía.

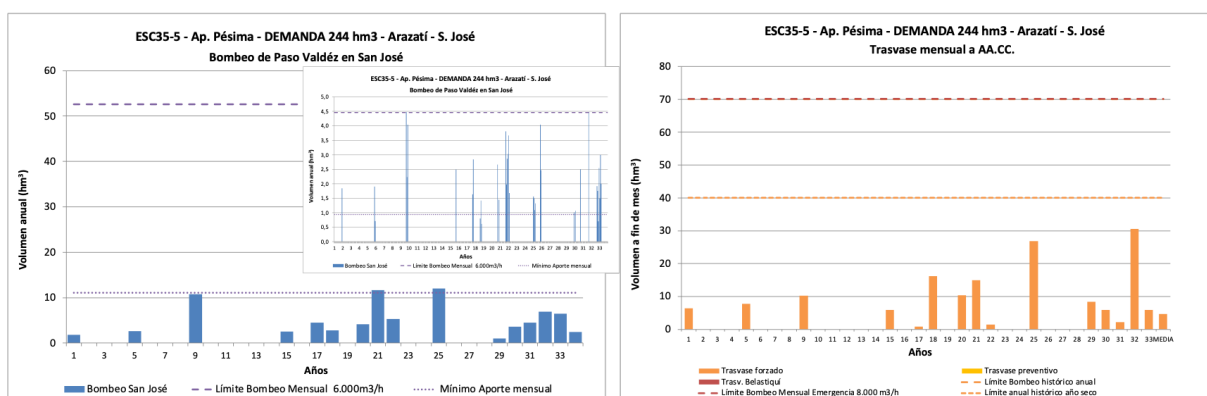


Figura 115 Simulación ESC35-5. A la izquierda volúmenes anuales (detalle mensual superpuesto) de agua del San José bombeados en Paso Valdez y a la derecha volúmenes anuales trasvasados en AACCC, en ambos casos versus los límites máximos técnicos e históricos.

En los gráficos siguientes se puede observar el fenómeno de limitación del uso de agua de la planta de Arazatí. Tal como se ha expuesto anteriormente el agua no se entrega al sistema de elevación de AACCC, sino en el tanque Melilla y, por tanto, es la demanda dependiente de este tanque su factor limitante. En los gráficos se representa el volumen anual total de agua de Arazatí utilizada en comparación al límite técnico en línea discontinua celeste, que son 73 hm³ al año. Estos volúmenes se han representado en diversos colores para distinguir los primeros 100.000 m³ de obligado uso o máxima prioridad y la fracción complementaria hasta los supuestos 200.000 de capacidad máxima. Además, se ha distinguido con una línea punteada azul marino el volumen total que se destina a la demanda dependiente exclusivamente del tanque Melilla (D6), y en cambio en color anaranjado se ha representado aquella agua que se transfiere desde el tanque Melilla al área de suministro D4 mediante la conexión de emergencia. Al costado se muestra el suministro total del área D4 diferenciando la que proviene del tanque Melilla, es decir recurso de Arazatí, de la que proviene de la línea de impulsión n°4 desde AACCC.

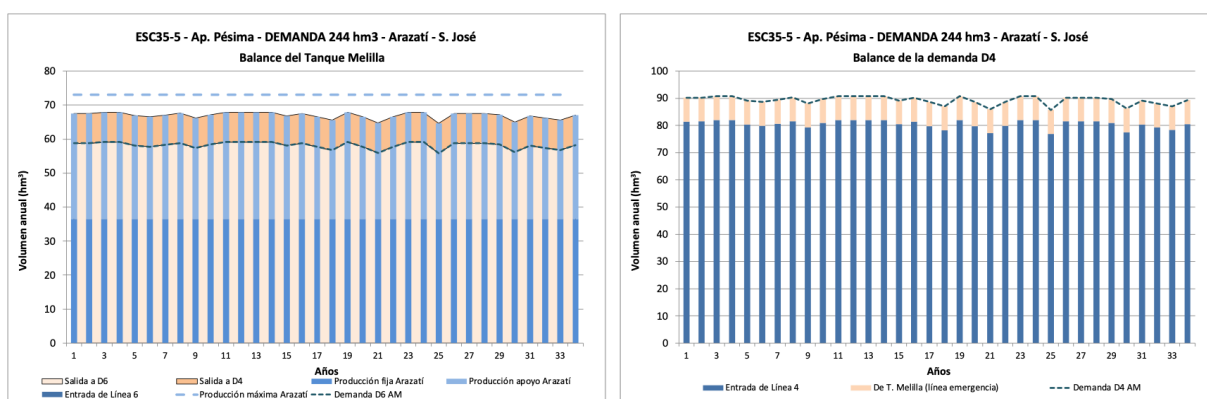


Figura 116 Simulación ESC35-5. A la izquierda volúmenes entregados por Arazatí, distinguiendo el valor fijo del modular, fracción de demanda D6 y parte enviada a D4; a la derecha volúmenes anuales servidos de la demanda D4 por origen del recurso.

La anterior **Figura 116** difiere de la **Figura 117** en cómo se ha limitado el uso de la conexión de emergencia entre D6 y D4. En el segundo gráfico, el agua de Arazatí solamente se transporta hasta el área de suministro D4 en situaciones de sequía y emergencia.

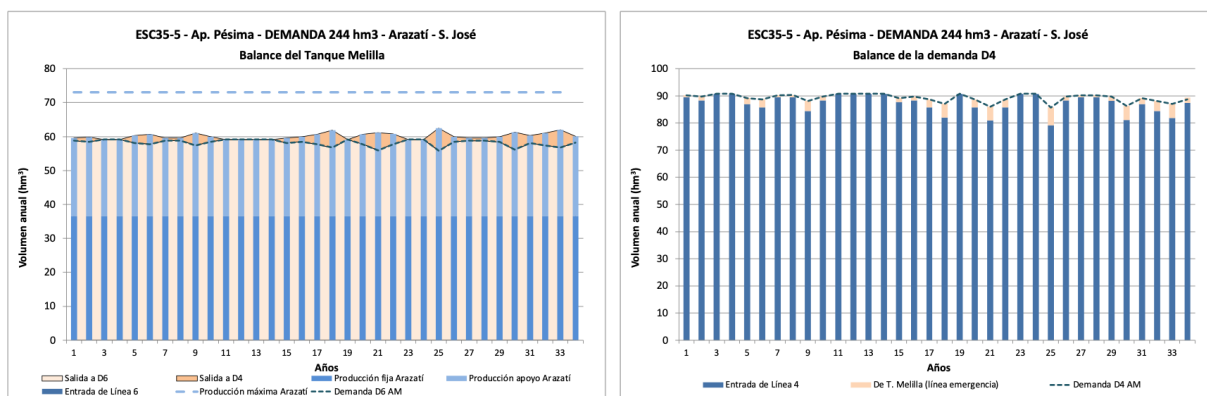


Figura 117 Simulación ESC35-5. Variante de la figura anterior donde se ha modelizado la conexión D6 a D4 solamente en caso de sequía y emergencia.

Como las reservas embalsadas en el río Santa Lucía son las mismas que en la situación actual, es decir las reguladas por Paso Severino y Canelón Grande exclusivamente, y ante un escenario de aportaciones pésimas, se han reproducido los umbrales de sequía y emergencia que se habían establecido para el escenario actual ESC25-4. Con estos umbrales la declaración la aplicación de medidas de sequía se produce casi el 18% de los meses a los cuales hay que añadir un 3,3% del tiempo en situación de emergencia, estado hidrológico que implicaría el incumplimiento de la calidad en el agua servida.

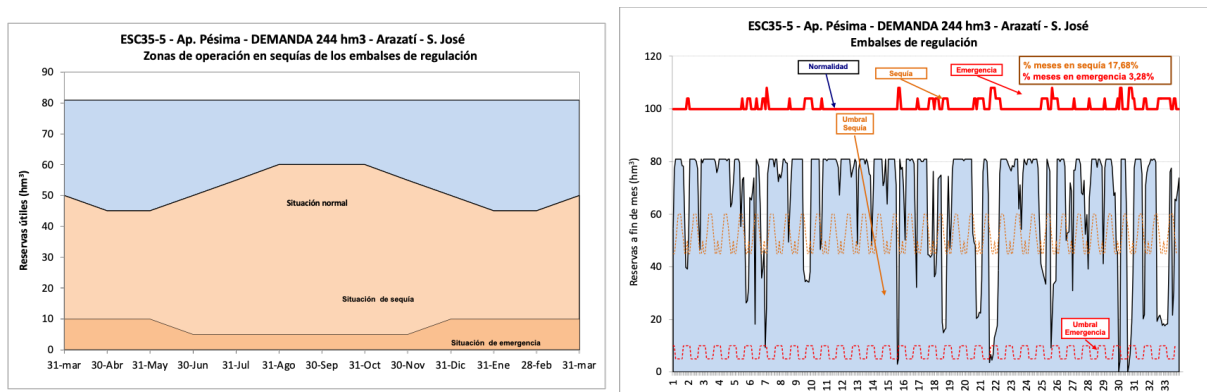


Figura 118 Simulación ESC35-5. A la izquierda posibles umbrales de definición de estado hidrológico. A la derecha evolución en los niveles de reservas en el Santa Lucía (PS+CG), umbrales y línea superior como contador de meses en cada estado de sequía.

El detalle de la **Figura 119** con la evolución de las reservas mensuales en los últimos 5 años permite comparar como se llega a los valores mínimos de reservas en los vaciados más intensos, a la izquierda en el escenario anterior con Casupá (ESC35-4) y a la derecha en el escenario actual con Arazatí (ESC35-5), con hipótesis equivalentes. Esta solución con Arazatí no es aceptable por la fuerte recurrencia de los vaciados e intensidad de los mismos donde la persistencia en una situación de emergencia supera en algunos casos los 3 meses y la suma de los momentos donde se aplican medidas de sequía o de emergencia se acerca al 21% del tiempo de la simulación, muy lejos de los valores en el escenario objetivo actual o en el caso anterior a través de la infraestructura de Casupá.

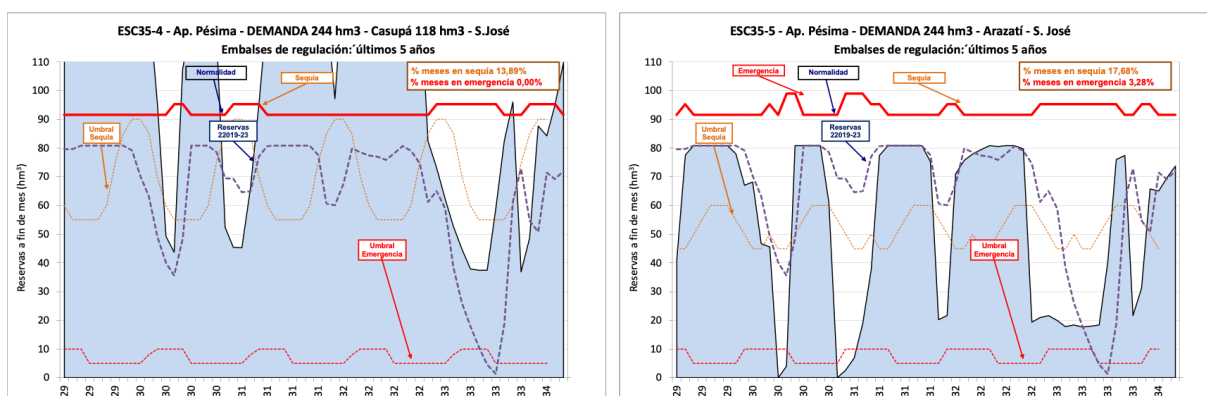


Figura 119 Comparación del periodo más crítico de evolución de reservas en los embalses del Santa Lucía entre el escenario anterior ESC35-4 su homólogo, con Casupá (izquierda) y el actual ESC35-5 (derecha).

Por último, se añade una **Figura 120** para la reflexión donde se repite la producción anual de Arazatí utilizada en esta alternativa *versus* los sobrantes mensuales del río Santa Lucía. Este gráfico invita a reflexionar sobre la necesidad de incorporar continuamente el recurso externo de Arazatí por razones operativas, pero no para generar mayor disponibilidad, ya que siempre que haya agua no regulada saliente por la desembocadura del río Santa Lucía, sería preferible tomarla a incorporar cualquier otro recurso extraordinario con el coste ambiental y económico que éste tenga.

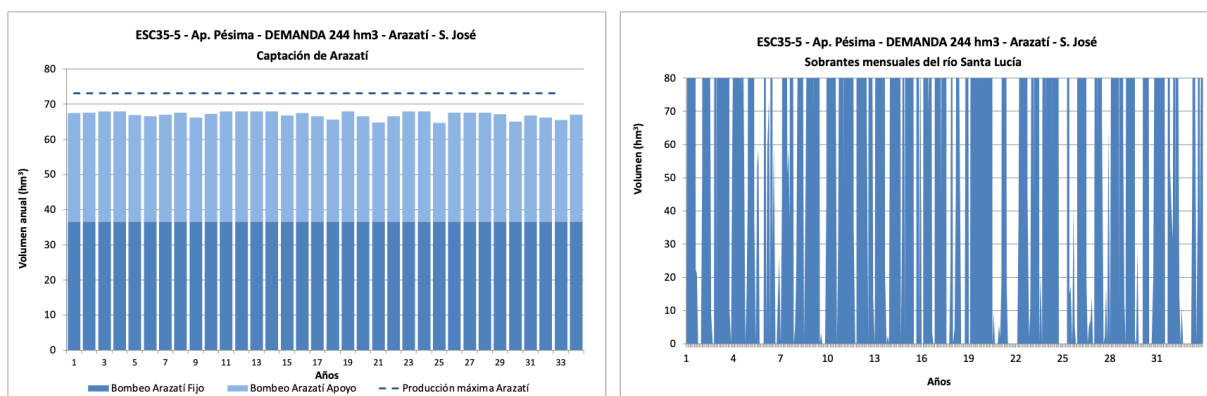


Figura 120 Simulación ESC35-5. Comparación de los aportes de Arazatí (izquierda) con los caudales mensuales sobrantes en el río Santa Lucía (derecha). La escala vertical está en el mismo rango hasta 80 hm³.

A modo de conclusión, puede decirse que esta alternativa es menos conveniente que la del escenario anterior, si bien hay que destacar algo muy positivo que no tiene ninguna otra alternativa de las propuestas para análisis en este estudio: la generación de una segunda planta de tratamiento de cierta envergadura en el área Metropolitana que pueda apoyar a la actual PTAP de AACC, hoy en día saturada y sin *backup*, aunque sea parcial, para poder superar cualquier incidente de explotación. En este sentido, la planta de Arazatí reduce los niveles de vulnerabilidad operativa ante diversos tipos de contingencias, no solamente de sequías.

4.5.6 Escenario ESC35-6

Antes de desestimar la solución de Arazatí, se podría preguntar si existe otra alternativa de incorporación de esta infraestructura y su recurso que fuera más confiable y robusta. Muy probablemente eso pasaría por eliminar el cumplimiento de caudales ambientales de la toma



de AACC en situación de normalidad, una situación equivalente al primer caso estudiado con Casupá, es decir el escenario consolidado ESC35-3. Pero en este caso, no sería posible trasladar las mismas hipótesis de trabajo estrictamente, ya que en ese escenario no se estaban aplicando procedimientos de gestión de la demanda o protocolo de sequías. Ahora sí estaríamos implementando ese tipo de medidas con los escalones de reducción que se vienen aplicando para demanda de abastecimiento metropolitano y para los caudales ambientales en las presas. El trasvase se aplicaría a partir del escenario de sequía, igual que la captación de San José. Se repetiría la hipótesis de que la conexión o transferencia de agua desde el área de influencia del tanque Melilla se maximizaría a través del funcionamiento permanente de la conexión de emergencia entre D6 y D4.

	NORMALIDAD	SEQUÍA	EMERGENCIA
AACC	Demanda Objetivo 244 hm ³	-7%	-10%
Q ambiental	Basado en el q80 Se anula en AACC	Basado en el q90 Se anula en AACC	Se anula
Trasvase	No aplica	12.000 m ³ /h	8.000 m ³ /h
Oferta Extraordinaria		Captación en el río San José	

La conexión de emergencia entre D6 y D4 funcionaría todo el tiempo a máxima capacidad

Figura 121 Resumen de las hipótesis de trabajo de la simulación ESC35-6.

Los gráficos comparativos que se superponen en las figuras siguientes son con el escenario parcialmente equivalente ESC35-3 con Casupá.

La **Figura 122** muestra una mejora muy importante de la evolución de las reservas en el sistema del río Santa Lucía con respecto al escenario anterior de la misma infraestructura Arazatí, pero comparativamente con el escenario ESC35-3 estas reservas son menores y, en el mínimo descienden más. No obstante, la evolución es muy positiva, ya que casi todos los meses las reservas se encuentran por encima de 50% de su máxima capacidad.

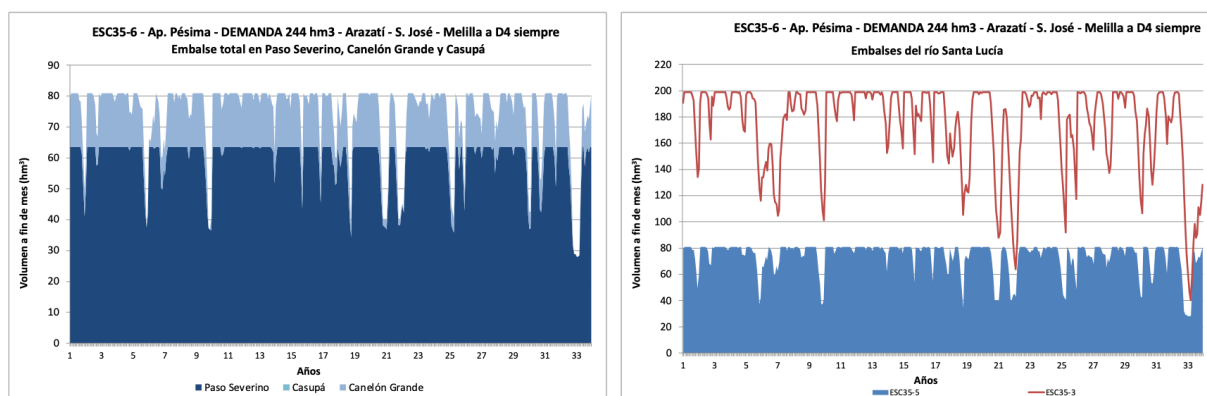


Figura 122 Simulación ESC35-6. A la izquierda la evolución de las reservas embalsadas en el Santa Lucía. A la derecha, evolución conjunta de reservas versus la evolución del escenario homólogo con Casupá ESC35-3.

Aunque la demanda servida es ligeramente inferior a la de la alternativa ESC35-3, ambas son muy similares y no se presenta ningún déficit. En la propuesta de orígenes del recurso para satisfacer la demanda, la aportación de Arazatí es constante y en una proporción muy grande, incorporándose muy pocas veces recurso del trasvase o del río San José.

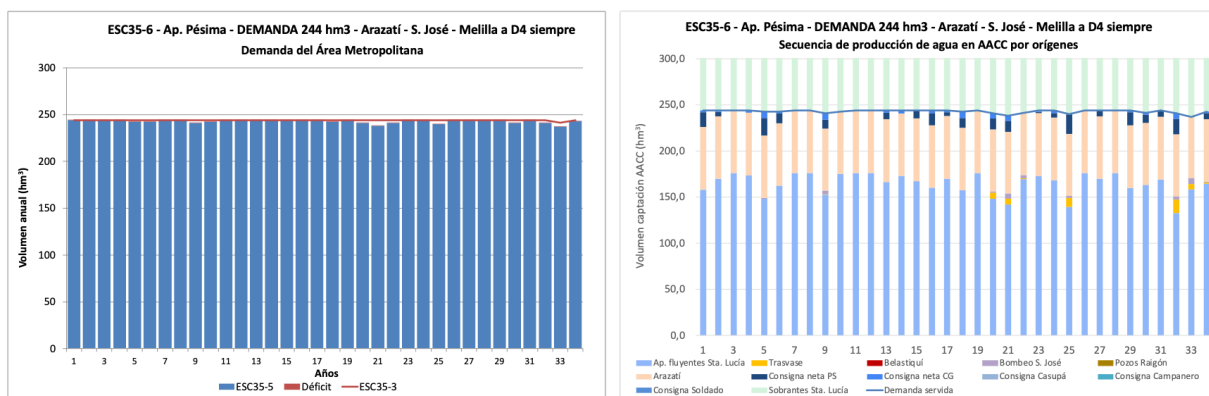


Figura 123 Simulación ESC35-6. A la izquierda demanda AM servida y déficit anual, superponiéndose en línea roja la evolución de la demanda servida del ESC35-3 homólogo de Casupá. A la derecha demanda servida como suma de volúmenes de distintas fuentes de suministro.

Los caudales ambientales quedan restringidos exclusivamente a las presas con un cumplimiento satisfactorio, solamente presentando algún déficit puntual en el caso del embalse de Canelón Grande.

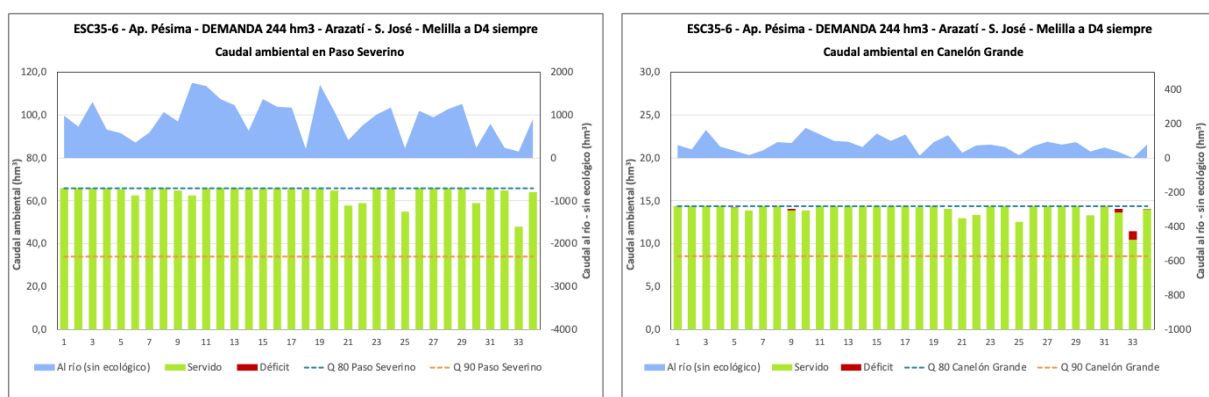


Figura 124 Simulación ESC35-6. Grado de cumplimiento de los caudales ambientales. A la izquierda presa de Paso Severino y, en derecha la presa de Canelón Grande.

A nivel de cumplimiento del caudal objetivo para dilución de posibles contaminantes en Fray Marcos, se replica la situación del escenario anterior puesto que no hay ninguna regulación en cabecera.

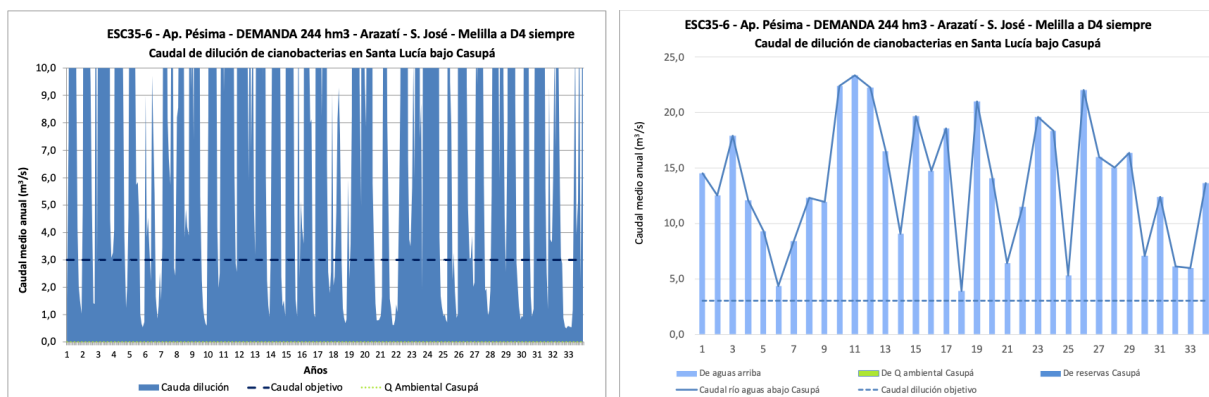


Figura 125 Simulación ESC35-6. A la izquierda caudales medios mensuales en Fray Marcos y límite de dilución establecido; a la derecha caudal promedio anual distinguiendo el origen del agua fluyente en el punto.



En la imagen siguiente se presentan comparativamente los aportes del río San José y del trasvase en las dos soluciones con la infraestructura de Arazatí, a la izquierda el escenario anterior y a la derecha la alternativa actual. Los valores captados en esta oportunidad son mucho menores, prácticamente testimoniales, lo cual responde como ocurriría también en algún otro caso, a que la eliminación de los caudales ambientales en la presa de AACC relaja mucho las entradas en sequía y la activación de la oferta extraordinaria.

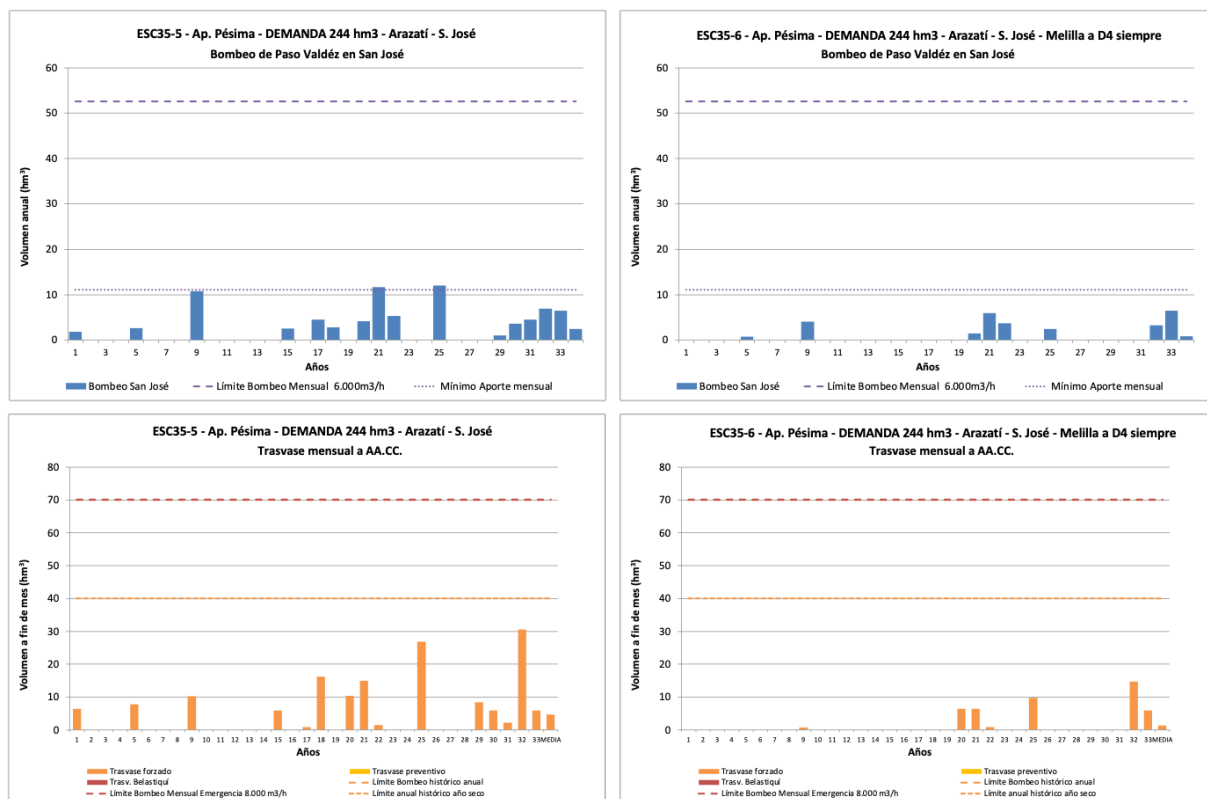


Figura 126 Comparación de aportaciones anuales en sequía en las simulaciones anterior ESC35-5 a la izquierda y actual ESC35-6 a la derecha. En la parte superior agua del río San José bombeada en Paso Valdez y en la parte inferior volúmenes trasvasados en AACC.

Seguidamente en la **Figura 127** se presentan también de forma comparada los aportes anuales del recurso de Arazatí, siendo en esta alternativa algo superiores y mucho más regulares puesto que la demanda es constante al no aplicarse medidas de sequía en la mayoría de los meses.

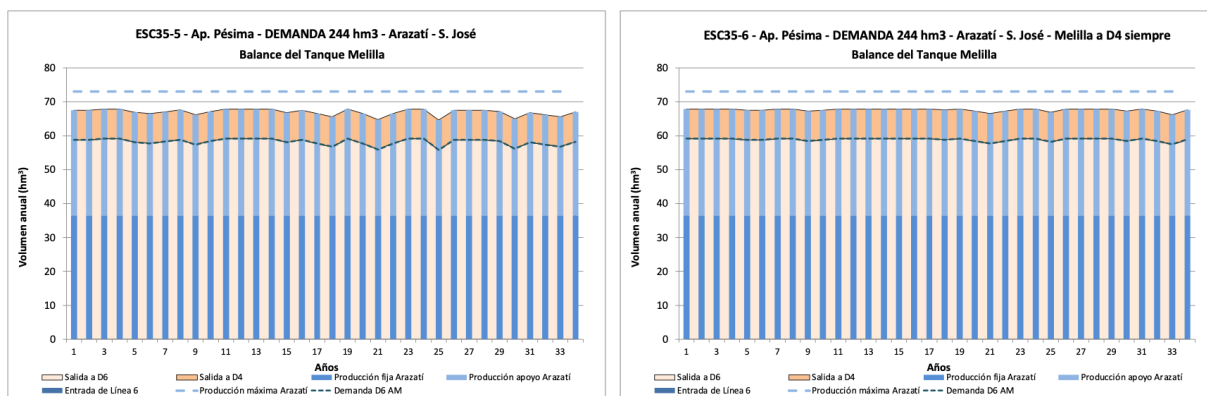


Figura 127 Comparación de aportaciones anuales de Arazatí en las simulaciones anterior ESC35-5 a la izquierda y actual ESC35-6 a la derecha. Se distingue el valor fijo del modular, fracción de demanda D6 y parte enviada a D4.



Para los mismos umbrales de sequía que en el caso anterior y, en consonancia con la evolución de las reservas que ya se han comentado, las declaraciones de emergencia desaparecen y se reduce significativamente el número de meses en situación de sequía. Concretamente este valor representa el 6,57% del tiempo de simulación, lejos del 17,7% del escenario anterior.

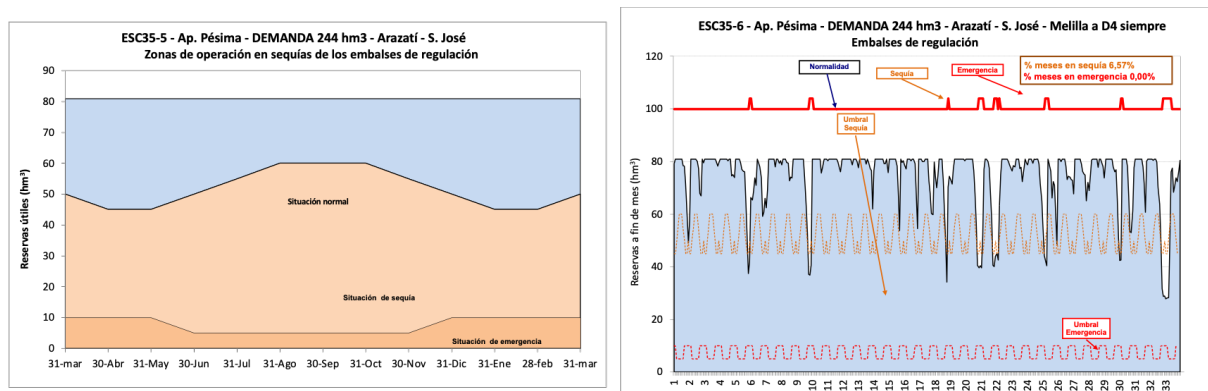


Figura 128 Simulación ESC35-6. A la izquierda posibles umbrales de definición de estado hidrológico. A la derecha evolución en los niveles de reservas en el Santa Lucía (PS+CG), umbrales y línea superior como contador de meses en cada estado de sequía.

Otra manera de analizar el motivo de la mejora que tiene el sistema eliminando los caudales ambientales en AACC se pueden observar en el siguiente gráfico que compara las dos soluciones de Arazatí. No aplicar ese caudal ambiental hace menos partícipe a las reservas embalsadas, es decir, el grado de agua regulada utilizada es menor y, en consecuencia, las reservas mayoritariamente siempre están llenas.

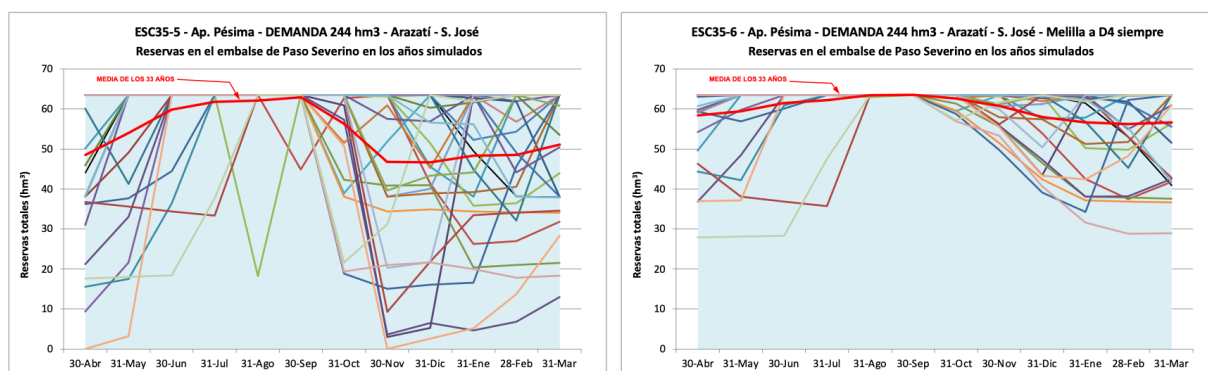


Figura 129 Comparación de la evolución intra anual de toda la serie de simulación de reservas conjuntas en los embalses del Santa Lucía. A la izquierda el escenario anterior ESC35-5 y a la derecha el actual ESC35-6.

En el detalle del período temporal donde se presentan los niveles de mínimas reservas de la simulación (**Figura 130**), se compara la alternativa en curso con el ESC35-3, escenario con Casupá y resto de hipótesis similares. Los valores de este escenario comparativo son mejores a la práctica sin utilización de ninguna medida de sequía y con unas reservas mínimas que no disminuyen de los 42 hm³, pero ahora esta alternativa de Arazatí tampoco descienden de un valor cercano a 28 hm³.

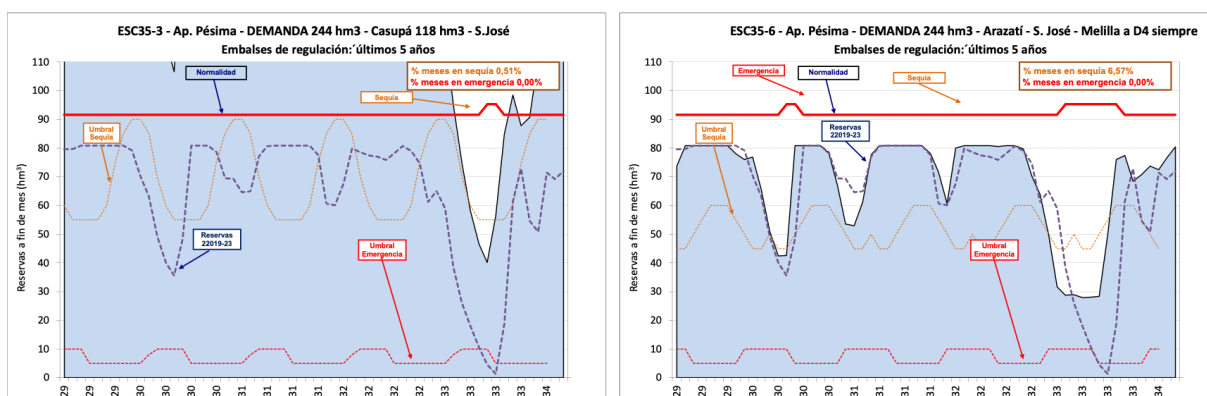


Figura 130 Comparación del periodo más crítico de evolución simulada de reservas en los embalses del Santa Lucía entre el escenario homólogo ESC35-3, con Casupá (izquierda) y el actual ESC35-6 (derecha).

La reflexión presentada en la alternativa anterior sobre la conveniencia de la utilización del agua de Arazatí cuando existen sobrantes en el río Santa Lucía, es también válida en esta oportunidad.

Una última conclusión de la comparación entre las soluciones de Casupá y Arazatí, es que con Casupá, el caudal ambiental en AACC se puede dar en normalidad sin fallos, cosa que no ocurre con Arazatí (ESC35-4 versus ESC35-5), pero sin esa exigencia, ambas soluciones (ESC35-3 y ESC35-6) tienen un comportamiento similar **en términos de disponibilidad**. Esa similitud no se mantiene en términos de costos de operación³ ya que Casupá es agua rodada.

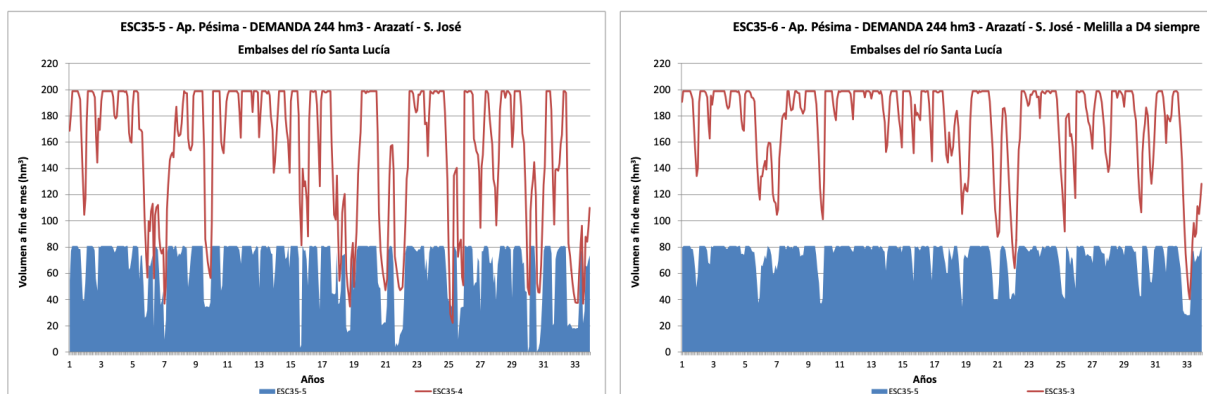


Figura 131 Comparación de evolución conjunta de reservas en el río Santa Lucía en las alternativas homólogas de Arazatí y Casupá: izquierda, ESC35-5 vs. ESC35-4 con caudales ambientales en AACC y a la derecha, ESC35-6 vs. ESC35-3 sin caudales ambientales en AACC.

Se comentan de nuevo las exclusivas ventajas de cada caso: una redundancia parcial de planta de tratamiento en las alternativas con Arazatí y una garantía de aseguramiento de la calidad del agua del río previamente a su tratamiento en las alternativas de Casupá, a través del caudal de dilución en Fray Marcos.

4.5.7 Escenario ESC35-7

Llegados a este punto, se plantea una última alternativa más del escenario consolidado que pretende analizar la posibilidad de potenciar el río San José de forma permanente, a través de un nuevo embalse de Rincón de Carballo en ese afluente con una capacidad de 37 hm³, lo

³ No se trata de una comparación profunda de costo final incorporando CAPEX y OPEX de cada solución, pero se destaca que lógicamente el OPEX es mayor en un agua impulsada que en el agua que ya viene por el Santa Lucía.



que permitiría también consolidar y operar permanentemente el bombeo de paso Valdez o alguna infraestructura equivalente por gravedad que reutilice la conducción instalada desde la última sequía entre el San José y AACC. Las limitantes técnicas que tiene esta conducción, las cuales podrían cambiar y estudiarse como variantes, representan un freno a optimizar el importante volumen de agua regulada en el río San José. Es por eso que esta alternativa también se ha complementado con una obra de carácter extraordinario que se visualiza como un aporte en situaciones de extrema sequía a través de una nueva planta de tratamiento con ósmosis inversa de 2 m³/s de caudal de diseño y que tomara agua salobre del río de La Plata en un lugar cercano al área de suministro metropolitano, denominado Santiago Vázquez. Al tratarse de agua ya potabilizada y, por la ubicación de la planta, el volumen sería incorporado al tanque Melilla con las mismas limitaciones que ya se han comentado para el caso del recurso de Arazatí.

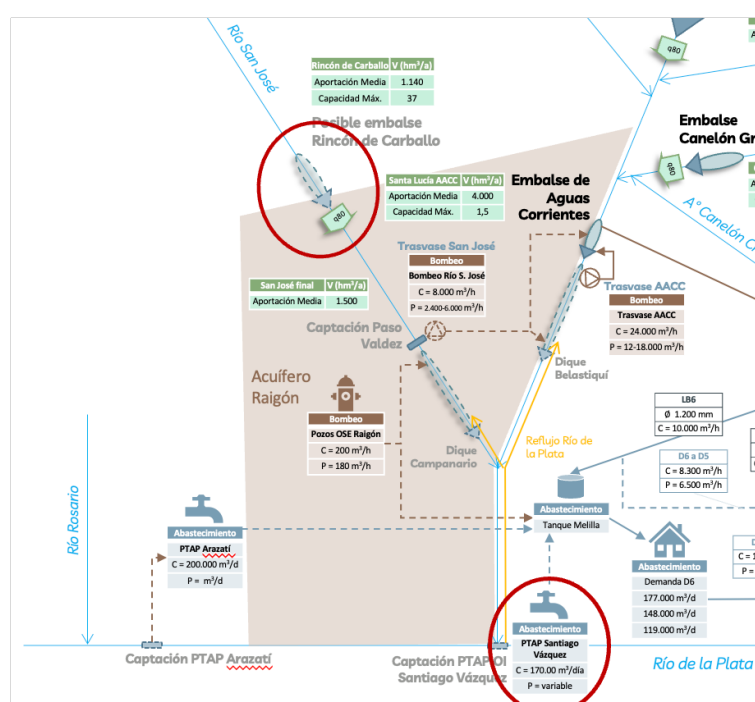


Figura 132 Ubicación topológica de la presa de Rincón de Carballo y la planta de Ol de Santiago Vázquez respecto al conjunto al sistema Metropolitano en el río Santa Lucía.

Las hipótesis de esta simulación sobre las variables de demanda de abastecimiento metropolitano y caudal ambiental serían equivalentes a las del escenario ESC35-5, es decir incorporando caudal ambiental en AACC en normalidad. La captación del río San José ya no estaría restringida a la situación de sequía, sino que funcionaría permanentemente y también se le aplicaría un caudal ambiental basado en el q80 para la normalidad hidrológica, anulándose en las situaciones de sequía y emergencia. A diferencia del caso de Arazatí, ahora se mantendrá el concepto desde la planta Santiago Vázquez de suministrar agua para demanda dependiente exclusivamente del tanque de Melilla en situación de normalidad y solamente incorporar un agua complementaria transferible al distrito de demanda D4 en los estados de sequía y emergencia. La planta de ósmosis de Santiago Vázquez se plantea como un elemento de prendido y apagado en función de la necesidad de abastecimiento extraordinario para situaciones de sequía extrema.



	NORMALIDAD	SEQUÍA	EMERGENCIA
AACC	Demanda Objetivo 244 hm ³	-7%	-10%
Q ambiental	Basado en el q80 q80 en AACC y PV	Basado en el q90 Se anula en AACC y PV	Se anula
Trasvase	No aplica	12.000 m ³ /h	8.000 m ³ /h
Nueva Oferta Ordinaria	Captación en el río San José (Agua regulada por Rincón Carballo)		
Oferta Extraordinaria	La conexión de emergencia entre D6 y D4 funcionaría cuando se active la OI OI Santiago Vázquez hasta 2 m ³ /s		

Figura 133 Resumen de las hipótesis de trabajo de la simulación ESC35-7.

En la **Figura 134** de la evolución de las reservas de los embalses de la cuenca del Santa Lucía se ha superpuesto el volumen del nuevo embalse de Rincón de Carballo para ver el efecto. No obstante, este embalse al no estar dentro de la misma cuenca drenante de AACC, no debería ser incorporado como indicador, ya que no hay la capacidad de utilizar la totalidad de las reservas en el embalse.

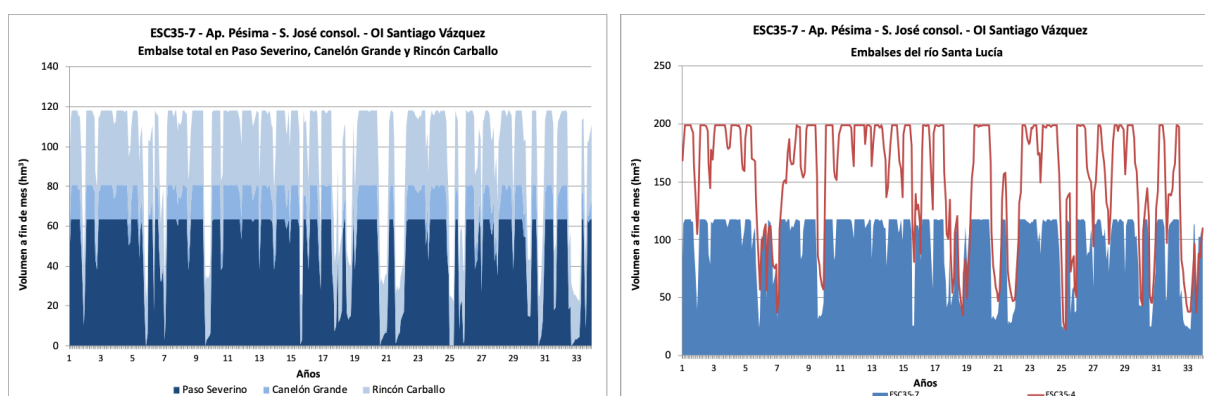


Figura 134 Simulación ESC35-7. A la izquierda la evolución de las reservas embalsadas en el Santa Lucía y San José. A la derecha, evolución conjunta de reservas versus la evolución del escenario homólogo con Casupá ESC35-4.

El gráfico muestra engañosamente que siempre quedan reservas en el sistema, pero en realidad el Santa Lucía se agota y los embalses de PS y CG quedan vacíos. Pese a que se está trasvasando agua del San José, puede haber momentos en que hay déficit, como queda constatado en los gráficos siguientes de la **Figura 135**. Por tanto, sería muy importante en este caso valorar la posibilidad de ampliar la capacidad de transporte de agua desde el río San José como mínimo a un valor más cercano a la demanda de la planta de tratamiento de AACC. La capacidad de transporte actual es de una quinta parte de la necesidad total de la planta.

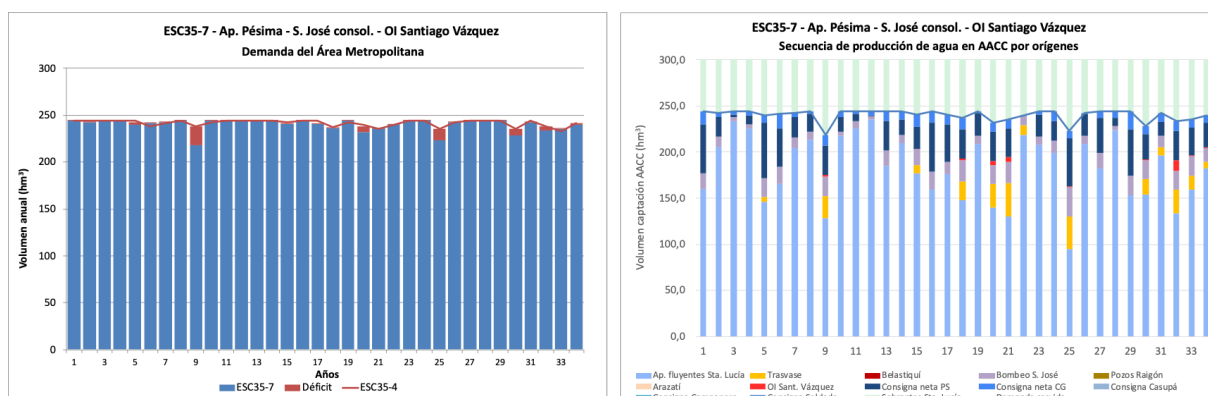


Figura 135 Simulación ESC35-7. A la izquierda demanda AM servida y déficit anual, superponiéndose en línea roja la evolución de la demanda servida del ESC35-4. A la derecha demanda servida como suma de volúmenes de distintas fuentes de suministro.

Los niveles de cumplimiento del caudal ambiental son peores que los conseguidos en otros escenarios, con múltiples e intensos déficits en el caso de Canelón Grande y algún déficit puntual en Paso Severino y la presa de AACC.

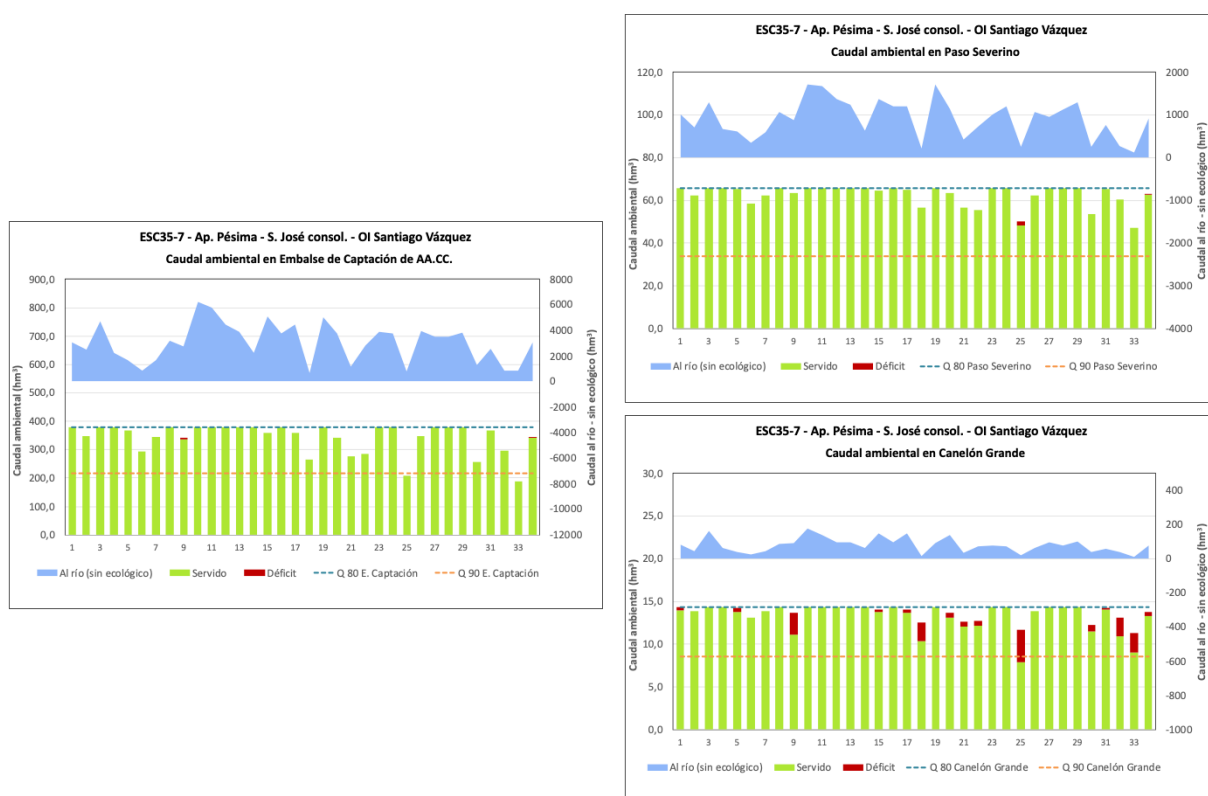


Figura 136 Simulación ESC35-7. Grado de cumplimiento de los caudales ambientales. A la izquierda toma de Aguas Corrientes, a la derecha superior presa de Paso Severino y, en derecha inferior, presa de Canelón Grande.

La utilización de los recursos del río San José, aunque son sistemáticos en ningún caso llegan a los valores máximos anuales de diseño. No obstante, a nivel mensual si se consiguen, pero la persistencia de estos valores no es constante más allá de unos pocos meses. Sabiendo que hay disponibilidad de recurso en la cuenca del San José fruto del efecto de regulación de la presa en Rincón de Carballo, el motivo de esta situación es la coincidencia en el tiempo con aportes sobrantes en el Santa Lucía que se consideran prioritarios para el modelo. Por tanto, estamos ante un escenario en el que no hay una buena optimización del manejo de los



recursos porque o bien se está dando disponibilidad de recurso en ambas cuencas a la vez sin poder ser aprovechada una de ellas, o bien cuando se requeriría que la Cuenca del San José aportará mayor cantidad de recurso, hay una limitante infraestructural en la conducción de transporte.

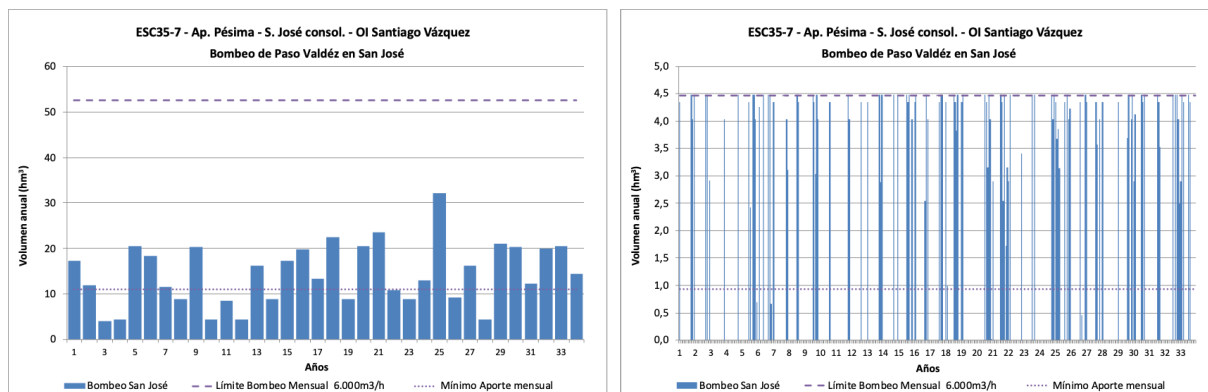


Figura 137 Simulación ESC35-7. A la izquierda volúmenes anuales de agua del San José bombeados en Paso Valdez y a la derecha los datos mensuales, con sus respectivos límites técnicos.

El trasvase se activa coyunturalmente para poder dar servicio en situaciones de sequía y puede llegarse a volúmenes anuales importantes cercanos a los 40 hm³. En la misma **Figura 138** puede verse la incorporación del agua de la planta de ósmosis inversa de Santiago Vázquez en las sequías intensas, pero los volúmenes aportados son insuficientes para compensar la falta de recurso puntual.

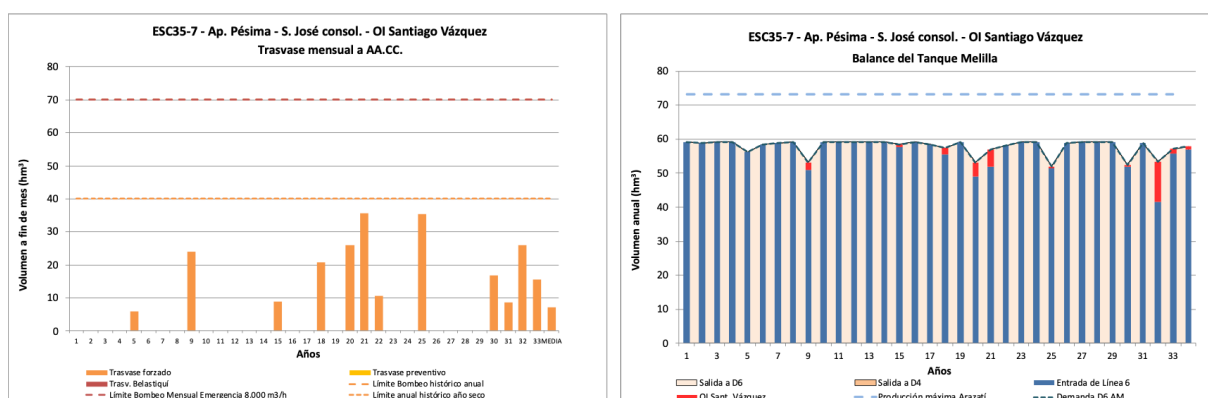


Figura 138 Simulación ESC35-7. A la izquierda, volúmenes anuales de agua trasvasados en AACCC. A la derecha, volúmenes anuales suministrados desde el tanque Melilla, diferenciando los orígenes del agua.

Utilizando los mismos umbrales de sequía que en los últimos casos los que se han incorporado protocolos de gestión de demanda como umbrales que oscilan entre 45 y 60 hm³ para el estado de sequía, y mínimos para la emergencia, los resultados son calamitosos, con declaraciones de emergencia que ocupan casi el 10% del tiempo, existiendo recurso en el San José como se ha podido apreciar en gráficos superiores. Además, se suman los periodos en sequía más del 13% del tiempo restante.

En la comparación entre escenarios (**Figura 140**) la **situación es muy crítica por más de un año** y lejos de los valores del caso ESC35-4, lo que hace totalmente inviable esta alternativa.

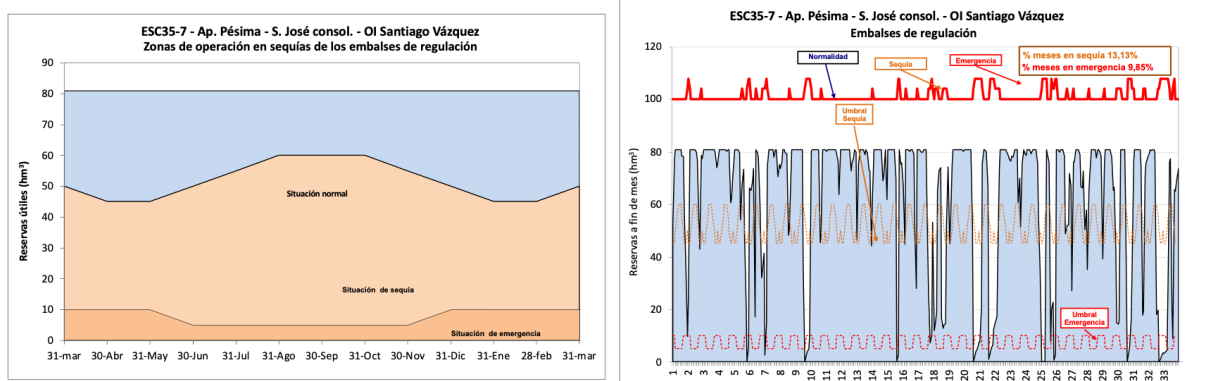


Figura 139 Simulación ESC35-7. A la izquierda posibles umbrales de definición de estado hidrológico como reservas de PS+CG. A la derecha evolución del conjunto de las reservas en PS+CG+Rincón de Carballo, umbrales y línea superior como contador de meses en cada estado de sequía.

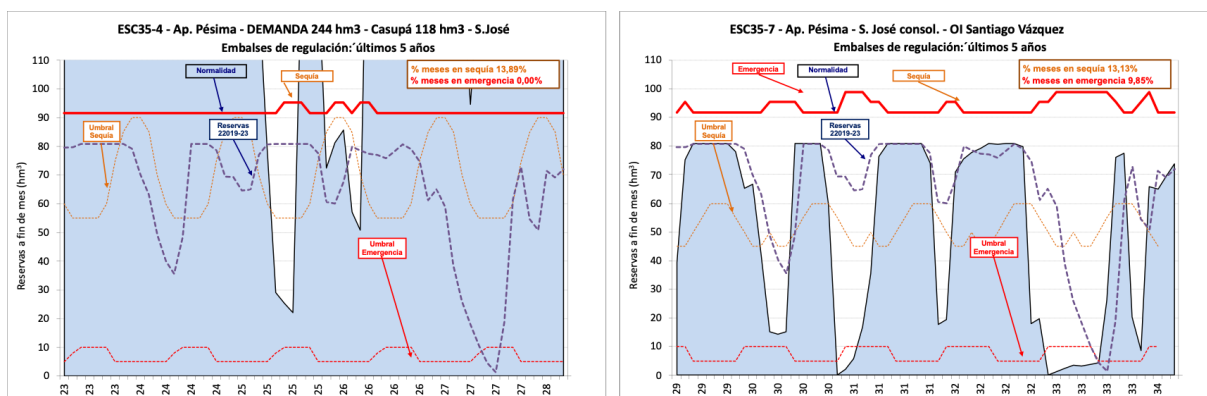


Figura 140 Comparación del periodo más crítico de evolución simulada de reservas en los embalses del Santa Lucía entre el escenario homólogo ESC35-4, con Casupá (izquierda) y el actual ESC35-7 (derecha).

En conclusión, pese a tener mayor disponibilidad de agua en Paso Valdez fruto de la regulación de la presa Rincón de Carballo **la limitante técnica del bombeo actual conjuntamente con la existencia muchos meses de excedentes del Santa Lucía**, impediría aprovechar toda el agua disponible en el San José y desacreditan esta opción.

4.5.8 Resumen de las alternativas ESC35

En la comparativa que se presenta en la **Tabla 14** de las variables clave que permiten analizar los diferentes casos, hay que tener en cuenta que, a diferencia del escenario 2025 o actual, en esta oportunidad los umbrales que determinan los estados hidrológicos de sequía o escasez coyuntural del sistema no solamente cambian de valor, sino que también lo pueden hacer de rango, puesto que en varios casos se suman volúmenes de nuevas presas en la cuenca del Santa Lucía drenante hasta AACC⁴.

Como en el otro apartado homólogo, se han coloreado de anaranjado los peores resultados y en negrita los que parecen más convenientes, añadiendo al final la columna equivalente del escenario objetivo actual ESC25-2 para su comparación.

⁴ Esto no ocurre en el caso ESC35-7 con la presa de Rincón de Carballo porque ésta se encuentra en otra cuenca, el río San José, que requiere de una infraestructura de trasvase para poder ser utilizada.



PES para el sistema de agua potable del área Metropolitana (de Montevideo) y del
Arroyo San Francisco en Ciudad de Minas, Uruguay
Informe Análisis de Alternativas y Protocolo del Escenario Objetivo

Tabla 14 Comparativa de las variables clave para cada alternativa del escenario 25.

VARIABLE	ESCENARIO	ESC35-1	ESC35-2	ESC35-3	ESC35-4	ESC35-5	ESC35-6	ESC35-7	ESC25-2
Demanda AM aplicada		220,00	244,00	244,00	244,00	244,00	244,00	244,00	240,00
Demanda servida		219,49	241,11	243,92	241,58	239,90	242,87	240,01	239,34
Déficit máximo		0,01	5,74	0,00	0,00	6,01	0,00	19,59	0,00
Q Ambiental AA.CC.		0,00	342,62	0,00	344,02	321,31	0,00	342,44	0,00
% meses en sequía		3,79%	12,37%	0,51%	13,89%	17,68%	6,57%	13,89%	3,79%
% meses en emergencia		0,00%	1,52%	0,00%	0,00%	3,28%	0,00%	0,00%	0,00%
Reservas mínimas embalses Santa Lucía		26,08	1,00	40,12	22,17	0,00	27,90	22,20*	27,05
% meses cumplimiento Q dilución F. Marcos		73,0%	100,0%	100,0%	97,2%	73,0%	73,0%	73,0%	78,0%
Bombeo Promedio Paso Valdez en San José		0,51	1,73	0,00	0,31	2,44	0,85	14,38	0,56
Trasvase Promedio a captación		24,15	44,22	0,02	6,00	4,66	1,36	7,08	23,23
Bombeo del Plata vía Belastiquí		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Volumen promedio aportado por Arazatí						66,99	67,65		



Recordando el contexto de los escenarios 2035, que son situaciones a medio/largo plazo donde se haya podido reforzar la robustez del sistema Metropolitano a través de una o varias nuevas infraestructuras que aumenten la seguridad hídrica de sus ciudadanos, la tabla anterior nos permitiría concluir que la construcción del **proyecto histórico de la presa en arroyo Casupá representa** una muy buena solución. Particularmente, (1) permite un incremento de seguridad para mantener la garantía, (2) una infraestructura con la que se haría frente a nuevas sequías más intensas (serie pésima), (3) también a nuevos incrementos de demanda de la red urbana naturales por su crecimiento poblacional, (4) contribuiría a mejorar la regulación global de todos los usuarios de la cuenca y (5) garantizar un caudal mínimo del río Santa Lucía que impediría la caída de su calidad en situaciones de estiaje, además de (6) poder dar cumplimiento a los caudales ambientales de la norma uruguaya en las presas y en AACC, con la particularidad de que estos se basaran en el q80 en normalidad y pudieran modularse en situaciones de escasez coyuntural. Esta propuesta presenta un único punto débil que es que no resuelve la saturación productiva de la planta de AACC, con lo que se debería complementar con alguna infraestructura de tratamiento redundante.

No obstante, existe cierta controversia sobre la posibilidad de dar los caudales ambientales en AACC o de que la infraestructura más conveniente sea el proyecto Neptuno que incluye la alternativa de Arazatí. A continuación, se presenta un apartado para comparar pares de alternativas, Casupá con y sin caudal ambiental en AACC, Casupá vs. Arazatí con y sin caudal ambiental en AACC.

4.5.9 Breve comparación de alternativas homólogas

A) Entre alternativas Casupá

Tabla 15 Comparativa de las variables clave de las alternativas con Casupá, ESC35-3 y ESC35-4

Escenario	Abastecimiento (hm ³)		Ambiental y Calidad		Gestión de Demanda (hm ³)			Otras fuentes (hm ³)	
	Servida Anual	Déficit medio Anual	Servida AACC (hm ³ /año)	Meses >3 m ³ /s Fray Marcos	Meses en sequía	Meses en emergencia	V mínimo Sta. Lucía	Trasvas e AACC	Bombeo río San José
ESC35-3	243,92	0,00	0,00	100%	0,5%	0,0%	40,12	0,02	0,00
ESC35-4	241,58	0,00	344,02	97,2%	13,9%	0,0%	22,17	6,00	0,31

Sin la solución de refuerzo del sistema fuese la presa de Casupá, el hecho de establecer una norma de operación que rebalsara caudales ambientales en la presa de AACC al nivel del que establece la norma para captaciones, basado en el q80, tiene consecuencias en los estadísticos clave del sistema, como se puede apreciar en la **Tabla 15**. No obstante, no se generan déficits en el abastecimiento, los niveles servidos medios anuales son muy parecidos y la utilización de un protocolo específico de sequía permitiría superar cualquier episodio de los que se han planteado en las simulaciones (series histórica, escasez y pésima). La pérdida de puntos en los meses en que no se cumplirían los 3m³/s en Fray Marcos es testimonial y el volumen mínimo al que llegarían las reservas ante un episodio pésimo, aunque más bajo, no llega a vaciar el conjunto de reservas y, en cualquier caso, es 20 hm³ superior al alcanzado en 2023 (ver **Figura 141** Comparación del periodo más crítico de evolución simulada de reservas en los embalses del Santa Lucía entre el escenario ESC35-3 y el escenario ESC35-4.)

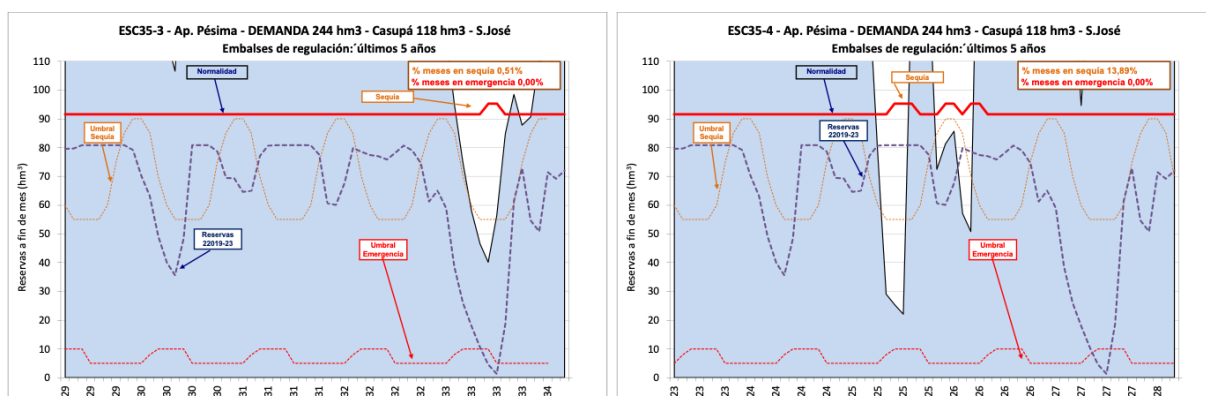


Figura 141 Comparación del periodo más crítico de evolución simulada de reservas en los embalses del Santa Lucía entre el escenario ESC35-3 y el escenario ESC35-4.

Los valores de aportes por trasvase desde aguas abajo de AACC son muy bajos, muy lejos de los actuales y hemos de tener en cuenta que la infraestructura de bombeo podría mantenerse. Los valores aportados desde el San José, como ya se ha comentado en el análisis de la alternativa ESC35-4, son tan pequeños que se puede prescindir de ellos y compensar con el trasvase.

En definitiva, **todo parece apuntar a que es seguro aplicar los caudales ambientales en AACC, además de en las presas, si Casupá está operativa.** No obstante, el proceso de generación de confianza podría conllevar a establecer alguna situación temporal intermedia, como aplicar un caudal ambiental en la presa de captación basado en el q90.

B) Entre alternativas Casupá y Arazatí con caudal ambiental en la presa de AACC

Siguiendo en la senda de dar cumplimiento a los caudales ambientales sin bajar la garantía y seguridad al sistema de abastecimiento Metropolitano, la comparación entre las soluciones con presa Casupá (ESC35-4) o con planta de Arazatí (ESC35-5) es la que se presenta en las siguientes **Tabla 16** y **Figura 142**.

Tabla 16 Comparativa de las variables clave de las alternativas ESC35-4(Casupá) y ESC35-5 (Arazatí).

Escenario	Abastecimiento (hm³)		Ambiental y Calidad		Gestión de Demanda (hm³)			Otras fuentes (hm³)	
	Servida Anual	Déficit medio Anual	Servida AACC (hm³/año)	Meses >3 m³/s Fray Marcos	Meses en sequía	Meses en emergencia	V mínimo Sta. Lucía	Trasvas e AACC	Bombeo río San José
ESC35-4	241,58	0,00	344,02	97,2%	13,9%	0,0%	22,17	6,00	0,31
ESC35-5	239,90	6,01	321,31	73,0%	17,7%	3,3%	0,00	4,66	2,44

Los números de la solución de Arazatí, como se analizó en el apartado de la alternativa correspondiente, demuestran que el sistema puede fallar, con sequías incluso no tan extremas como la del 2023 y con déficits muy grandes inaceptables para un abastecimiento. También, como se expuso allá, los motivos estriban en la limitación productiva de una planta como Arazatí y su conexión dentro de la red, contraponiéndose a unos fenómenos de sequía intensísimos donde las reservas actuales del río Santa Lucía pueden estar vacías y el caudal del río ser muy inferior a la captación media de la toma.

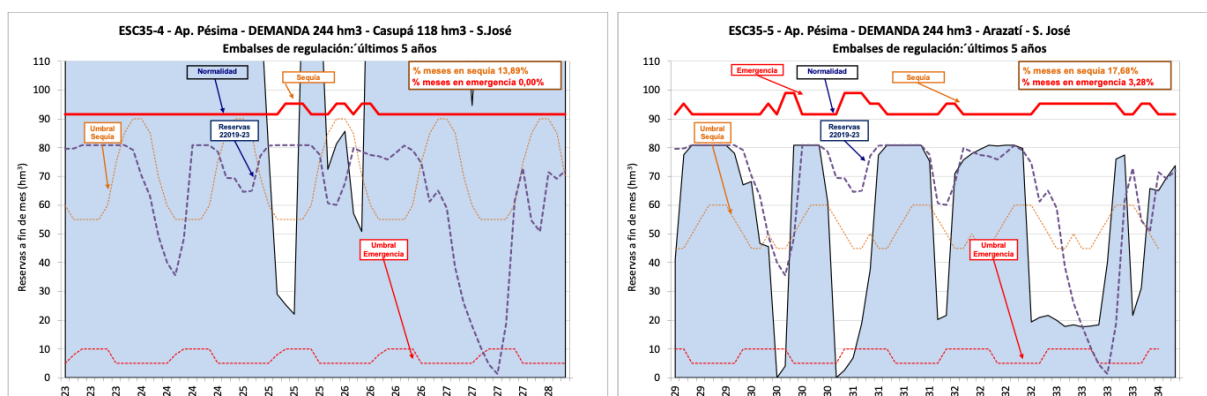


Figura 142 Comparación del periodo más crítico de evolución simulada de reservas en los embalses del Santa Lucía entre el ESC35-4(Casupá) y ESC35-5 (Arazatí).

C) Entre alternativas Casupá y Arazatí sin caudal ambiental en la presa de AACC

En el caso de relajar la condición de los caudales ambientales en AACC, no en las presas, la situación está más igualada. Las diferencias en el servicio medio del abastecimiento son ínfimas y, en ninguno de los dos casos hay déficit. Lógicamente el volumen de reservas en el conjunto de los embalses de uno y otro caso son distintos, puesto que tienen rangos distintos (80 hm³ en el caso Arazatí y 200 hm³ en el caso de Casupá). El mínimo también es superior en Casupá, pero para Arazatí el mínimo de reservas simulado es superior al caso histórico en más de 27 hm³ lo cual es muy positivo. Por supuesto, en el caso de Arazatí hay que aplicar PES, aunque sea solamente el 6,6% del tiempo, mientras que con Casupá no haría falta ningún tipo de restricción temporal.

Tabla 17 Comparativa de las variables clave de ESC35-3(Casupá) y ESC35-6 (Arazatí).

Escenario	Abastecimiento (hm³)		Ambiental y Calidad		Gestión de Demanda (hm³)			Otras fuentes (hm³)	
	Servida Anual	Déficit medio Anual	Servida AACC (hm³/año)	Meses >3 m³/s Fray Marcos	Meses en sequía	Meses en emergencia	V mínimo Sta. Lucía	Trasvas e AACC	Bombeo río San José
ESC35-3	243,92	0,00	0,00	100%	0,5%	0,0%	40,12	0,02	0,00
ESC35-6	242,87	0,00	0,00	73%	6,6%	0,0%	27,90	1,36	0,85

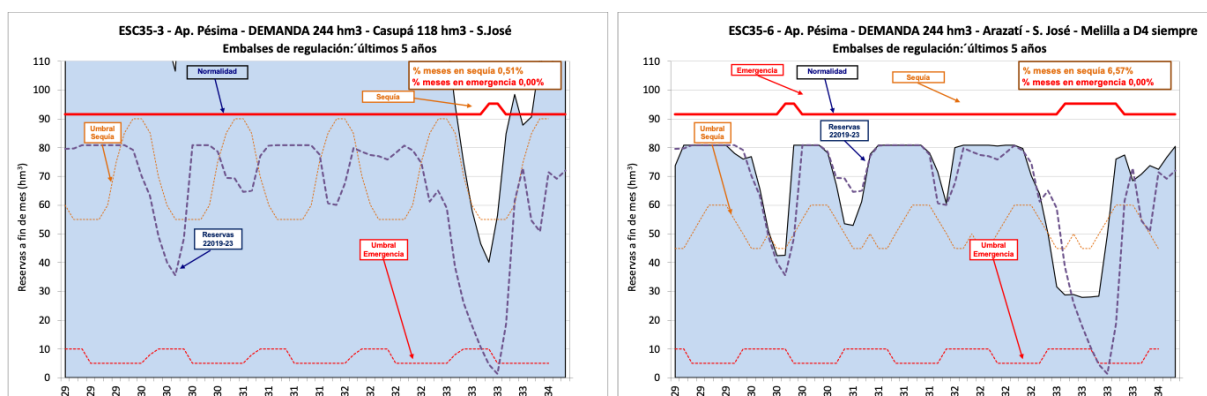


Figura 143 Comparación del periodo más crítico de evolución simulada de reservas en los embalses del Santa Lucía entre el ESC35-3(Casupá) y ESC35-6 (Arazatí).

En definitiva, en este caso, pareciera indiferente elegir una u otra solución, con todas las reservas vinculadas al hecho de no mejorar la regulación del Santa Lucía y no asegurar el caudal ambiental en cualquier punto de la cuenca, también AACC.



5 Protocolo de gestión de sequías para la UGS Metropolitana

5.1 Propuesta de Protocolo de Gestión

5.1.1 Proceso de ajuste del umbral de sequía

A) Valores de los umbrales de excepcionalidad y forma estacional

Una vez establecido que el **escenario objetivo actual es el ESC25-2**, se pasan a analizar diferentes juegos de umbrales de emergencias, sequía y alerta. En el caso de la emergencia, ésta será fijada por aquellos valores mensuales que evitan la entrada en esta situación con la serie histórica, y que son clave para evitar el colapso con la serie de aportaciones pésima. Una vez generado este umbral más extremo, se ha pasado a tantear los umbrales de sequía.

Se han generado multitud de propuestas a partir del juego inicial u original de umbrales que llamaremos hipótesis 1 (H1). A través de un proceso iterativo, se han ido tanteando más de una docena de escenarios donde se comparan los resultados de las variables básicas. En este proceso se van aumentando o disminuyendo los valores de entrada a la situación de sequía con escalones de 5 hm³ (traslación) y variaciones de la relación del umbral entre meses (cambios de forma). Las variables de control son:

- Tiempo medido en número de meses y porcentaje de meses (del total de 396 simulados) en que el sistema se encuentra en situación de emergencia, sequía o alerta.
- Cantidad de declaraciones de sequía en las que precedentemente se ha declarado alerta de uno a tres meses antes, o en el extremo de forma directa, sin pasar por el estado de alerta.
- Demanda media anual servida en cada escenario.
- Demanda mínima anual servida en la simulación.
- Reservas mínimas del sistema o valor mínimo del indicador de sequía, reservas entendidas como la suma de los volúmenes de las presas de Paso Severino y Canelón Grande en todo el periodo de simulación.
- Datos de detalle del episodio de máxima sequía entre los años de simulación número 32 y 33 (equivalentes a la sequía del 2022 a 2023). De esos datos se valora:
 - Inicio y fin del episodio y número de meses en cada estado de sequía (A, S y E).
 - Volumen aportado por el trasvase y número de meses en funcionamiento.
 - Volumen aportado por el dique de Belastiquí (trasvase en sequía extrema a través del apoyo del dique según lo referido del caso 2023) y número de meses en funcionamiento.
 - Volumen aportado por el río San José y número de meses en funcionamiento.

De todos los escenarios probados. Finalmente se presentan aquellos que aportan mayores diferencias y exploran situaciones límite de los valores de dichos umbrales. En concreto, el



listado de los escenarios que se presentan a continuación es ya un resumen (umbrales de cada hipótesis en la tabla n°1).

- Hipótesis H1, **solución original**.
- Hipótesis H2, fórmula donde los **umbrales son constantes** todos los meses del año, con un valor para emergencia de 15 hm³, la sequía 50 hm³ y la alerta en 60 hm³.
- Hipótesis H3, basada en la primera hipótesis, pero **aumentando los máximos y disminuyendo los mínimos**, es decir, con una forma más exagerada de cambio entre periodos. En concreto, en el caso de la sequía se incrementan 5 hm³ de diciembre a marzo, 10 hm³ de abril a junio, se disminuyen 10 hm³ entre agosto y septiembre y por último se disminuyen 5 hm³ en octubre. En el caso de la alerta, se incrementan 5 hm³ de enero a junio y se reducen 10 hm³ de agosto y septiembre y 5 hm³ en octubre.
- Hipótesis H4, una variante de la hipótesis anterior H3 donde se mantienen los umbrales de alerta, pero en el caso de la sequía se disminuyen en 5 y 2 hm³ en función del mes.
- Hipótesis H5, donde se explora la **inversión de la forma de los umbrales**, es decir, mayores umbrales de julio a diciembre y menores en el resto del año.
- Hipótesis H6, se vuelve a la hipótesis H3, pero aumentando aún más los umbrales máximos, en el caso de sequía, **explorando la posibilidad de evitar la emergencia puntual en la serie pésima**.
- Hipótesis H7 donde se explora la posibilidad de reducir el juego de originales a **valores mínimos de los umbrales**. Los umbrales de sequía se sitúan 10 hm³ por debajo de los valores originales y los de alerta 15 hm³ inferiores entre abril y septiembre y 10 hm³ menores en el resto de los meses
- Hipótesis H8, donde se repite la hipótesis H7, pero con cambios personalizados en algunos meses. En concreto la alerta de enero pasa de 55 a 60 hm³, en febrero de 60 a 62 hm³ y en abril de 50 a 55 hm³.

Tabla 18 Diversas hipótesis de umbrales del indicador de escasez para el sistema Santa Lucía. En **negrita** los cambios secuenciales entre hipótesis. Sombreada en azul la hipótesis original.

	30- Abr	31- May	30- Jun	31- Jul	31- Ago	30- Sep	31- Oct	30- Nov	31- Dic	31- Ene	28- feb	31- mar
Hip 1: Solución original												
Alerta	65	65	60	55	50	50	55	60	60	65	70	70
Sequía	55	55	50	45	40	40	45	50	50	55	60	60
Emergencia	15	15	13	12	10	10	15	15	15	17	17	17

Hip 2: Umbrales constantes A:60, S:50 y E:15

Alerta	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Sequía	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Emergencia	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

Hip 3: H1 con Mayores máximos y menores mínimos. Alerta: +5 Ene-Jun. -10 Ago.-Sept. y -5 Oct; Sequía +5 Dic-Mar, +10 Abr-Jun, -10 Ago.-Sept. y -5 Oct.

Alerta	70	70	65	55	40	40	50	60	65	70	75	75
Sequía	65	65	60	45	30	30	40	50	55	60	65	65
Emergencia	15	15	13	12	10	10	15	15	15	17	17	17



Hip 4: H3 misma alerta pero con ajustes en sequía a la baja entre -5 y -2

Alerta	70	70	65	55	40	40	50	60	65	70	75	75
Sequía	63	60	58	45	30	30	40	50	55	58	63	65
Emergencia	15	15	13	12	10	10	15	15	15	17	17	17

Hip 5: Invertir la forma de los umbrales, mayores de jul a dic y menores el resto

Alerta	60	55	55	60	65	65	65	60	60	60	55	60
Sequía	45	45	50	55	60	60	60	55	55	50	45	50
Emergencia	15	15	13	12	10	10	15	15	15	17	17	17

Hip 6: H3 más exagerada con aumento de los umbrales máximos

Alerta	75	75	73	55	40	40	50	60	70	75	75	78
Sequía	73	70	68	45	30	30	40	50	65	69	73	75
Emergencia	15	15	13	12	10	10	15	15	15	17	17	17

Hip 7: Nueva base para reducir sequías, H1 bajando sequía -10 y Alerta -15 abril-sept. Y -10 el resto

Alerta	50	50	45	40	35	35	45	50	50	55	60	60
Sequía	45	45	40	35	30	30	33	40	40	45	50	50
Emergencia	15	15	13	12	10	10	15	15	15	17	17	17

Hip 8: H7 con cambios personalizados, Alerta enero de 55 a 60 Febrero 60 a 62 Abril 50 a 55

Alerta	55	50	45	40	35	35	45	50	50	60	62	60
Sequía	45	45	40	35	30	30	33	40	40	45	50	50
Emergencia	15	15	13	12	10	10	15	15	15	17	17	17

Todas las hipótesis se valoran para los aportes de la serie histórica y para la serie pésima, y en algunos casos como las hipótesis 5, 6, 7 y 8 cuentan con versiones de la serie escasez, sin que ésta aporte ninguna situación límite de interés.



PES para el sistema de agua potable del área Metropolitana (de Montevideo) y del
Arroyo San Francisco en Ciudad de Minas, Uruguay
Informe Análisis de Alternativas y Protocolo del Escenario Objetivo

Tabla 19 Variables clave para la comparación de las hipótesis de umbrales del ESC25-2.

	H1	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8
	Histórica	Pésima	Pésima	Pésima	Pésima	Pésima	Pésima	Pésima	Pésima
Meses Alerta	14	15	10	37	37	8	8	7	12
Meses Sequia	15	18	14	23	23	12	12	2	8
Meses Emergencia	0	1	3	1	1	3	3	3	3
% Meses Alerta	3,5%	3,8%	2,5%	9,3%	9,3%	2,0%	2,0%	1,8%	3,0%
% Meses Sequía	3,8%	4,5%	3,5%	5,8%	5,8%	3,0%	3,0%	0,5%	2,0%
% Meses Emergencia	0,0%	0,25%	0,76%	0,25%	0,25%	0,76%	0,76%	0,76%	0,76%
Alerta sin sequía	5	7	1	11	11	0	0	3	1
Sequía en 1 mes con alerta	4	1	6	6	7	2	2	1	4
Sequía en 2 meses con alerta	0	0	1	2	0	1	1	0	0
Sequía en 3 meses con alerta	0	0	0	0	1	1	1	0	0
Sequía sin Alerta	1	4	0	0	0	2	2	0	0
% Alertas sin sequía	50%	58%	13%	58%	58%	0%	0%	75%	20%
% Sequías en 1 mes con alerta	40%	8%	75%	32%	37%	33%	33%	25%	80%
% Sequías en 2 meses con alerta	0%	0%	13%	11%	0%	17%	17%	0%	0%
% Sequías en 3 meses con alerta	0%	0%	0%	0%	5%	17%	17%	0%	0%
% Sequías sin Alerta	10%	33%	0%	0%	0%	33%	33%	0%	0%
Demanda media servida	239,34	239,15	239,21	238,92	238,92	239,30	239,30	239,73	239,47
Demanda mínima servida	234,18	232,46	231,29	233,82	233,82	231,29	231,29	232,63	232,66
Reservas mínimas	33,99	12,06	2,20	12,06	12,06	2,20	2,20	6,23	2,20
Sequía 32-33 - mes inicio (A)	ene-33	ene-33	ene-33	dic-32	dic-32	ene-33	ene-33	feb-33	ene-33
Sequía 32-33 - meses en alerta	1	0	1	2	2	1	1	1	2
Sequía 32-33 - meses en sequía	6	7	4	6	6	4	4	2	3
Sequía 32-33 - meses en emergencia	0	1	3	1	1	3	3	3	3
Sequía 32-33 - mes Fin (A)	jul-33	ago-33	ago-33	ago-33	ago-33	ago-33	ago-33	jul-33	ago-33
Sequía 32-33 - Volumen San José (A+S+E)	7,23	16,31	14,44	16,31	16,31	14,44	14,44	12,85	14,44
Sequía 32-33 - N.º meses San José (A+S+E)	3	6	5	6	6	5	5	4	5
Sequía 32-33 - Volumen Traslase (A+S+E)	47,95	25,91	16,98	34,84	34,84	16,98	16,98	8,05	16,98
Sequía 32-33 - N.º meses Traslase (A+S+E)	6	4	2	4	4	2	2	1	2
Sequía 32-33 - Volumen Belastiquí (A+S+E)	0	5,78	11,73	5,78	5,78	11,73	11,73	17,51	11,73
Sequía 32-33 - N.º meses Belastiquí (A+S+E)	0	1	2	1	1	2	2	3	2

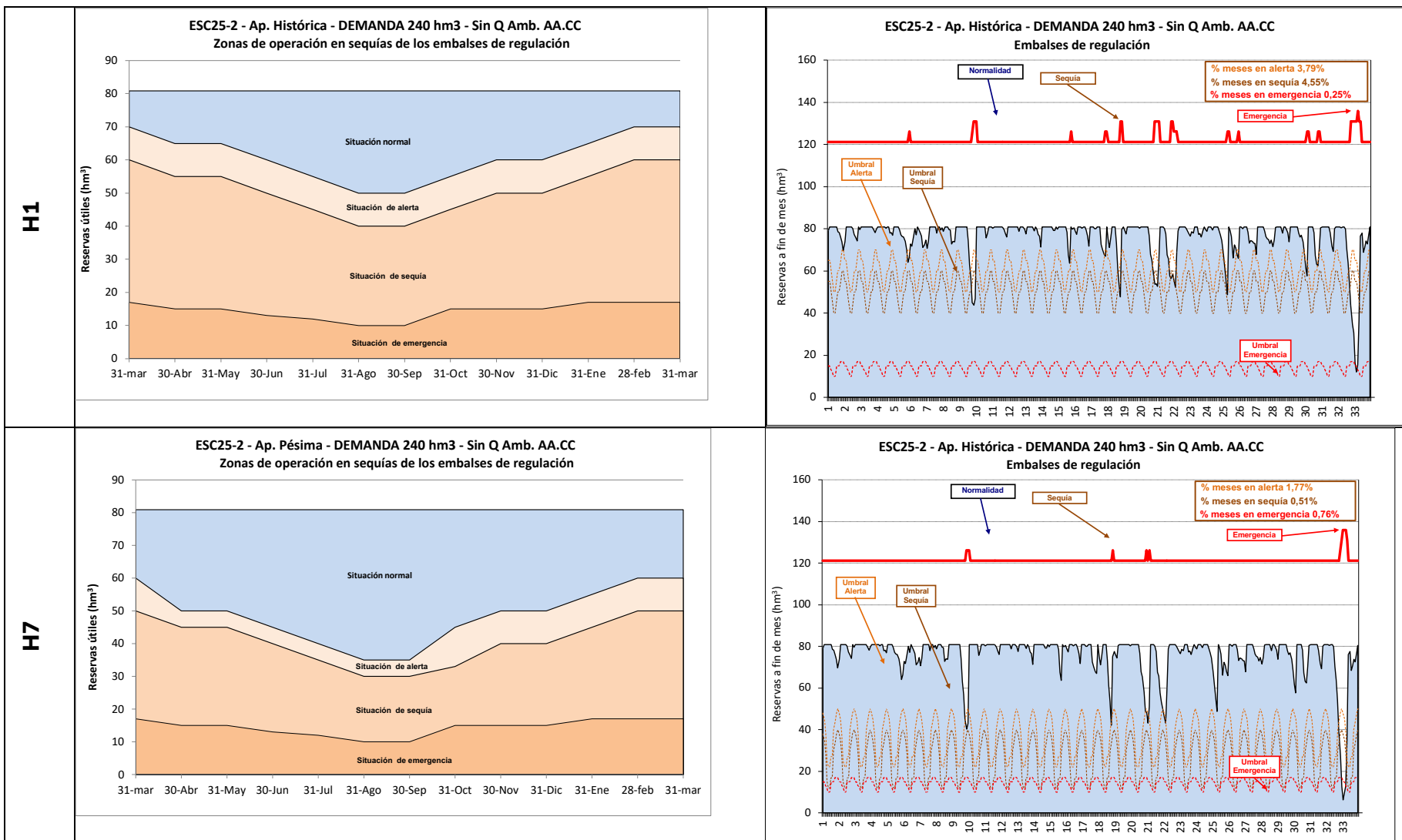


Los resultados son muy similares con pequeñas variaciones en los niveles de servicio, pero a la luz de la tabla anterior y **centrándose el análisis en los casos donde la serie de aportaciones ha sido la pésima**, es decir, un 10% inferior a la serie de aportaciones históricas registradas, se destacan las siguientes conclusiones:

- Los umbrales más arriesgados, es decir, los valores menores del umbral de sequía permiten reducir considerablemente el tiempo en el que se está en situaciones excepcional, pasando de valores entre 4,5 y 5,8 % del tiempo en sequía a valores inferiores del 3 % o incluso en el caso de la hipótesis **H7** solamente el 0,5 % de los meses en situación de aplicación de medidas de sequía. No obstante, en el estado de emergencia, aunque sea un muy corto espacio de tiempo, se triplica, pasando de un mes de todo el proceso simulación de 396 meses, lo que representa un 0,25 %, a tres meses consecutivos de aplicación de medidas de emergencia en la intensa sequía de los años 32-33, lo que representa un 0,76 % del tiempo simulado.
 - Aunque sea un valor porcentual pequeño, no es aconsejable un juego de umbrales que no permite preventivamente evitar estos fenómenos. Hay que ser consciente del grave efecto social y económico que podría tener la persistencia de las medidas previstas en emergencia durante tres meses consecutivos, medidas que obliga a una reducción drástica de la demanda, pero también que pasan por permitir la continuidad del servicio sin garantizar la potabilidad del agua distribuida, ya que una de las principales actuaciones previstas en este estado hidrológico, es la utilización del agua embalsada en el dique de Belastiquí, agua probablemente salobre.
- Otra consecuencia importante en los casos donde se minimizan los umbrales es que la evolución simulada reservas llega a un valor mínimo extremadamente bajo de 2,2 hm³, lo que representa un alto riesgo de desabastecimiento.
- En el caso de utilizar umbrales constantes como la hipótesis **H2** no se consiguen mejoras significativas y, contrariamente tiene consecuencias similares a la de disminuir drásticamente los umbrales generales.
- En el caso de invertir la forma de los umbrales como se ha hecho en la hipótesis **H5**, tampoco se consiguen mejoras significativas para el episodio extremo de 2022-23 porque se declare antes la sequía.
- Aumentar drásticamente los umbrales en los periodos clave como puede ser la hipótesis **H3** y sus variantes **H4**, si bien los valores no empeoran, tampoco mejoran evitando el mes de emergencia o incrementando los valores medios servidos, pero por contra se aumentan significativamente el tiempo de aplicación de medidas de sequía y restricciones.

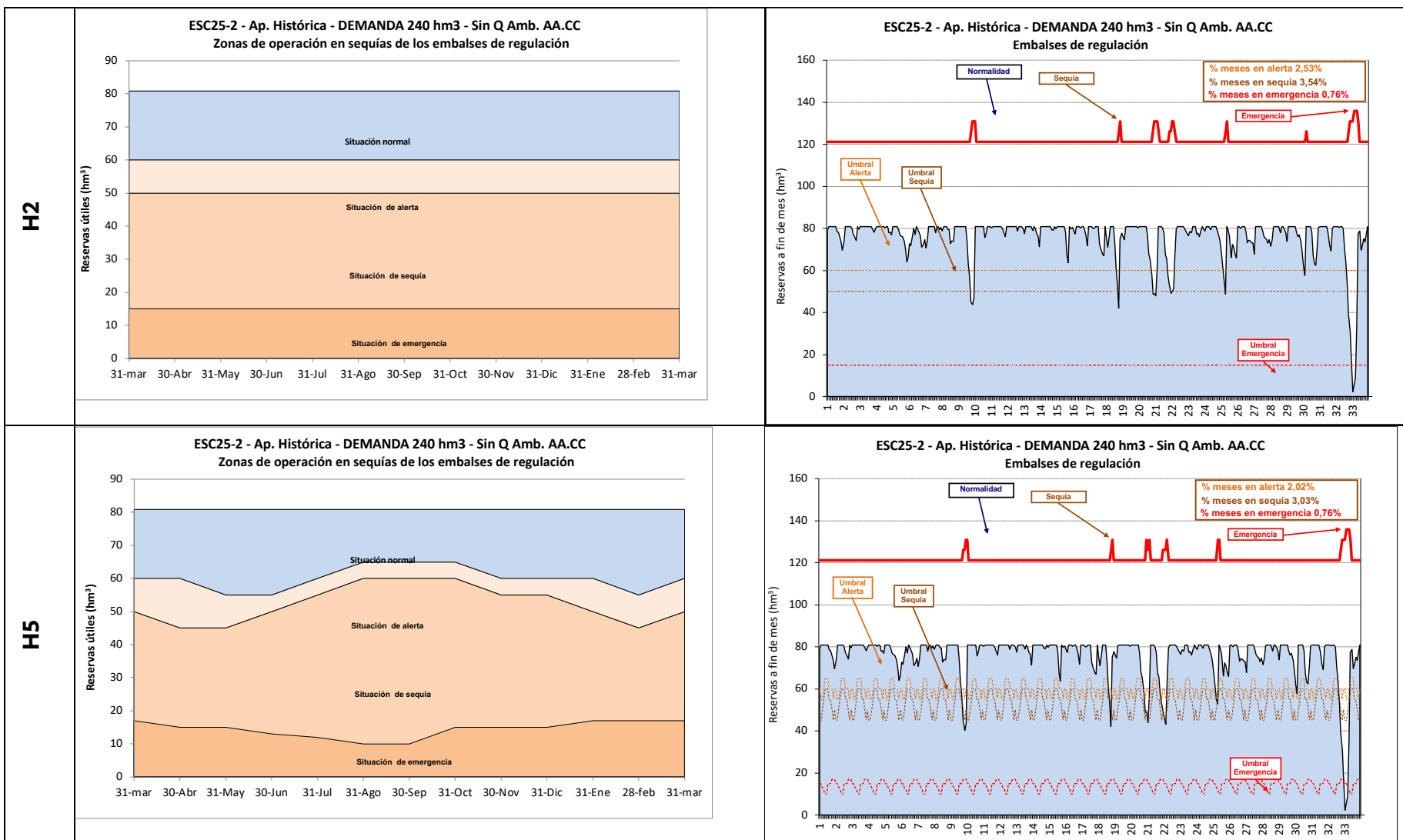


PES para el sistema de agua potable del área Metropolitana (de Montevideo) y del
Arroyo San Francisco en Ciudad de Minas, Uruguay
Informe Análisis de Alternativas y Protocolo del Escenario Objetivo





PES para el sistema de agua potable del área Metropolitana (de Montevideo) y del
Arroyo San Francisco en Ciudad de Minas, Uruguay
Informe Análisis de Alternativas y Protocolo del Escenario Objetivo





PES para el sistema de agua potable del área Metropolitana (de Montevideo) y del
Arroyo San Francisco en Ciudad de Minas, Uruguay
Informe Análisis de Alternativas y Protocolo del Escenario Objetivo

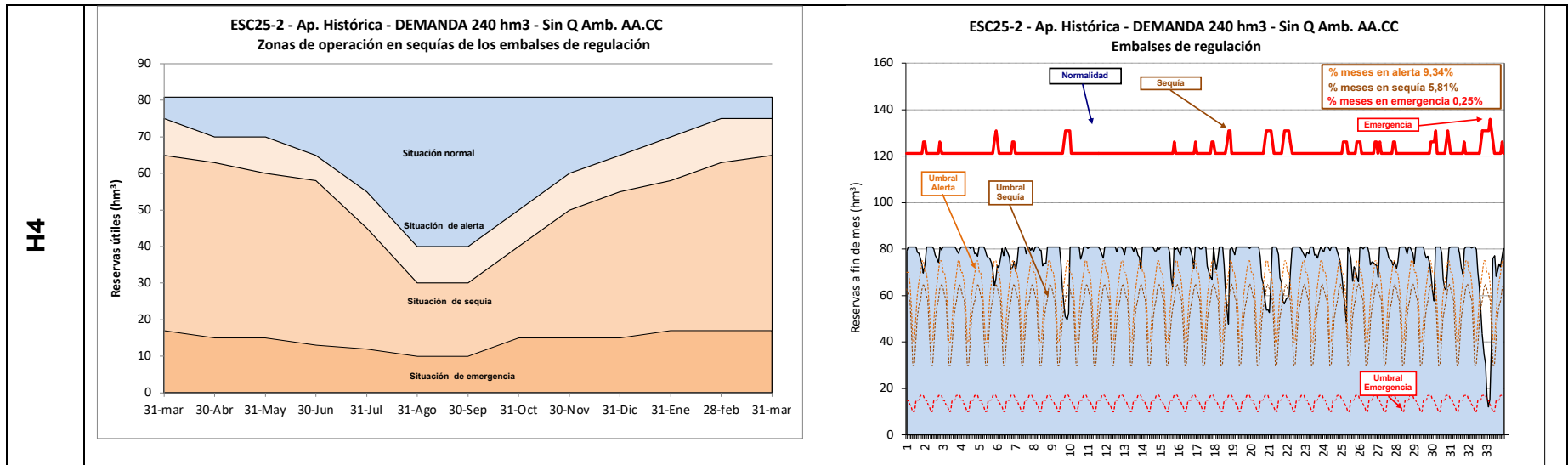


Figura 144 Ejemplos de umbrales y simulación de la evolución de las reservas en cada caso, con la serie de aportaciones pésima.



PES para el sistema de agua potable del área Metropolitana (de Montevideo) y del
Arroyo San Francisco en Ciudad de Minas, Uruguay
Informe Análisis de Alternativas y Protocolo del Escenario Objetivo

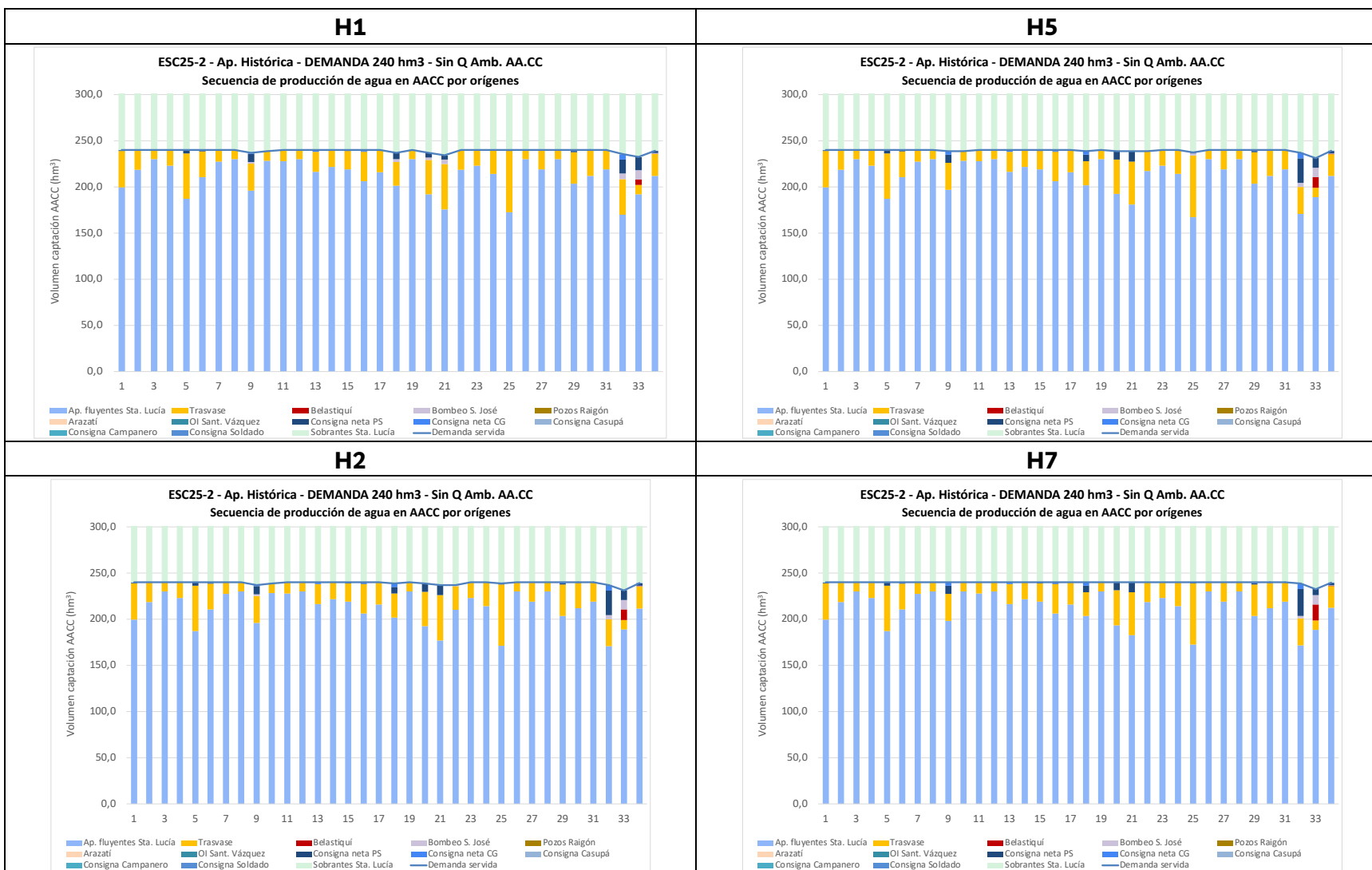


Figura 145 Ejemplos distribución de agua por fuentes en algunas de las hipótesis tanteadas.



A la vista de todo lo anterior se concluye que la mejor hipótesis desde el punto de vista del equilibrio del tiempo de aplicación de las medidas excepcionales y de los efectos de éstas para evitar el colapso se dan en la solución inicial u original **hipótesis H1**.

B) Determinación del umbral del estado de alerta

En el análisis detallado de la evolución de las reservas de la hipótesis H1 se detecta que el umbral de alerta no tiene función ya que, en 4 casos de 5 las sequías se han declarado sin pasar previamente ningún mes en situación de alerta y, en el único caso en el que sí ocurre, lo hace con un único mes en esta situación previa. Reflexionando sobre la utilidad de la **situación de alerta, este es un periodo preventivo para los preparativos de medidas clave** como la puesta en marcha de campañas de sensibilización, la intensificación y reorganización de las actividades de operación de los equipos de OSE, cambios de los procesos de gestión de la red, aplicación de prohibiciones selectivas, cambios de origen del recurso en determinados sectores del entramado urbano, etc., así como posibles activaciones infraestructurales previas que deben funcionar al llegar al estado de sequía, por ejemplo el bombeo de San José. Por tanto, es importante tener **como mínimo dos meses previos en estado de alerta** antes de declarar y aplicar las medidas de sequía.

Debido a eso se analizan nuevas **variantes de la hipótesis H1** donde no se modifican los umbrales de emergencia ni sequía, pero se tantean los **umbrales de alerta**. Estas son las nuevas propuestas donde también se prueban series de aportes históricas y pesimistas, y en algún caso de escasez, y cuyos resultados se resumen más adelante.

- Se prueban diferentes variantes de umbrales de alerta, para intentar conseguir que no se declaren sequías sin pasar previamente por este estado preventivo, y más concretamente se esté como mínimo dos meses en alerta, antes de la entrada o declaración de sequía.
- La variante recomendada es la tercera, **hipótesis H1-3**, donde con aportes históricos todas las declaraciones de sequía (5) se producen con 2 o 3 meses en alerta y, en el caso de aplicar la serie pésima, se sigue cumpliendo tener 2 meses preventivos en alerta en los 5 casos. En la tabla n°4 se destaca en negrita los cambios de mejora y en rojo los cambios a peor.

Tabla 20 Diversas hipótesis de umbrales de alerta del indicador de escasez para el sistema AM.

	30- Abr	31- May	30- Jun	31- Jul	31- Ago	30- Sep	31- Oct	30- Nov	31- Dic	31- Ene	28- feb	31- mar
Hip 1: Solución original												
Alerta	65	65	60	55	50	50	55	60	60	65	70	70
Sequía	55	55	50	45	40	40	45	50	50	55	60	60
Emergencia	15	15	13	12	10	10	15	15	15	17	17	17
Hip 1-1												
Alerta	70	65	65	60	55	50	50	65	70	70	70	70
Sequía	55	55	50	45	40	40	45	50	50	55	60	60
Emergencia	15	15	13	12	10	10	15	15	15	17	17	17



Hip 1-2

Alerta	67	65	63	60	55	55	55	70	74	73	71	69
Sequía	55	55	50	45	40	40	45	50	50	55	60	60
Emergencia	15	15	13	12	10	10	15	15	15	17	17	17

Hip 1-3

Alerta	68	66	62	57	55	55	70	74	73	71	69	68
Sequía	55	55	50	45	40	40	45	50	50	55	60	60
Emergencia	15	15	13	12	10	10	15	15	15	17	17	17

Tabla 21 Variables clave para la comparación de las variantes de umbrales de la hipótesis H1.

	H1	H1	H1-1	H1-2	H1-3
	Histórica	Pésima	Pésima	Pésima	Pésima
Meses Alerta	14	15	27	32	37
Meses Sequía	15	18	18	18	18
Meses Emergencia	0	1	1	1	1
% Meses Alerta	3,5%	3,8%	6,8%	8,1%	9,3%
% Meses Sequía	3,8%	4,5%	4,5%	4,5%	4,5%
% Meses Emergencia	0,0%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%
Alerta sin sequía	5	7	9	11	11
Sequía en 1 mes con alerta	4	1	2	0	0
Sequía en 2 meses con alerta	0	0	3	5	5
Sequía en 3 meses con alerta	0	0	0	0	0
Sequía sin Alerta	1	4	0	0	0
% Alertas sin sequía	50%	58%	64%	69%	69%
% Sequías en 1 mes con alerta	40%	8%	14%	0%	0%
% Sequías en 2 meses con alerta	0%	0%	21%	31%	31%
% Sequías en 3 meses con alerta	0%	0%	0%	0%	0%
% Sequías sin Alerta	10%	33%	0%	0%	0%
Demanda media servida	239,34	239,15	239,15	239,15	239,15
Demanda mínima servida	234,18	232,46	232,46	232,46	232,46
Reservas mínimas	33,99	12,06	12,06	12,06	12,06
Sequía 32-33 - mes inicio (A)	ene-33	ene-33	dic-32	nov-32	nov-32
Sequía 32-33 - meses en alerta	1	0	1	2	2
Sequía 32-33 - meses en sequía	6	7	7	7	7
Sequía 32-33 - meses en emergencia	0	1	1	1	1
Sequía 32-33 - mes Fin (A)	jul-33	ago-33	ago-33	ago-33	ago-33
Sequía 32-33 - Volumen San José (A+S+E)	7,23	16,31	16,31	16,31	16,31
Sequía 32-33 - N° meses San José (A+S+E)	3	6	6	6	6
Sequía 32-33 - Volumen Traslase (A+S+E)	47,95	25,91	34,84	36,51	36,51
Sequía 32-33 - N° meses Traslase (A+S+E)	6	4	4	5	5
Sequía 32-33 - Volumen Belastiquí (A+S+E)	0	5,78	5,78	5,78	5,78
Sequía 32-33 - N° meses Belastiquí (A+S+E)	0	1	1	1	1

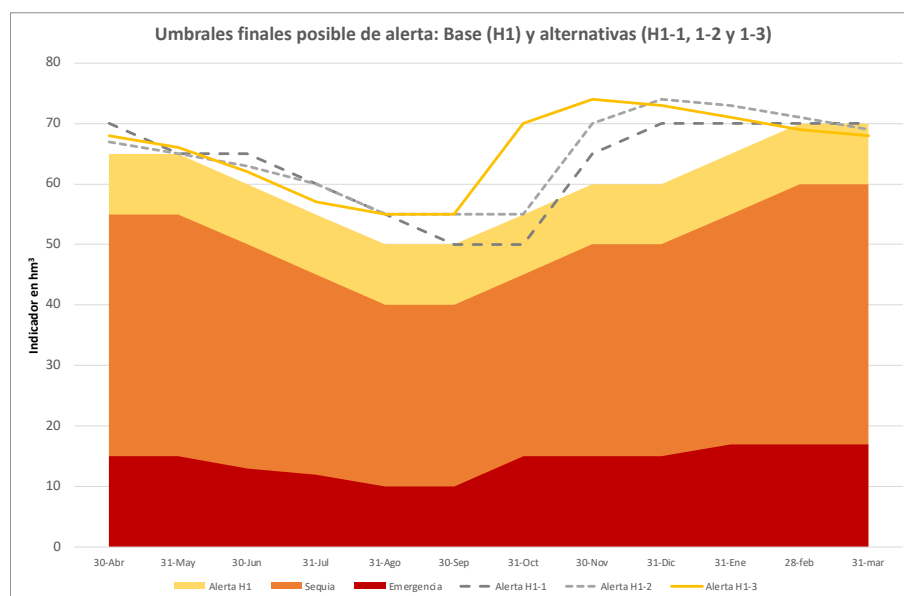


Figura 146 Umbrales definidos para emergencia y sequía del indicador de escasez del sistema Metropolitano con alternativas del umbral del estado de alerta.

Tentativamente se propone el umbral deducido de la **hipótesis H1-3** por ser el más envolvente de cara a garantizar que las declaraciones de sequía serán precedidas por un periodo entre 2 y 3 meses en alerta.

C) Análisis de la afección del bombeo del río San José en las situaciones críticas

Se analiza el peso de los aportes del San José en la situación elegida. Para ello, se realizan 3 variantes más, también con aportes históricos y con aportes pésimos, pero con reducción de los provenientes del río San José. Como en el inicio de este proyecto, la reducción de los aportes del río San José pueden verse de dos maneras. De un lado, como un nivel de eficiencia del 80% de la toma, lo que supondría un incremento del agua cruda para la misma agua captada (hipótesis H1-3_80%), pero no una reducción de los aportes simulados. Del otro, puede plantearse como una reducción directa de los aportes (hipótesis H1-3_SJRed20_70). En este segundo caso, y en coherencia con el apartado de calibración del modelo de la etapa de diagnóstico, se aplica una reducción del 70% de los aportes que estén por debajo del percentil 20 de la serie, es decir, los caudales menores. Los efectos son los resumidas en la siguiente tabla, donde como en otros casos se destaca en negrita los cambios de mejora y en rojo los cambios a peor.

Tabla 22 Variables clave para la comparación de las variantes de umbrales de la hipótesis H1-3.

	H1-3	H1-3	H1-3 80%	H1-3_SJ Red20_70	H1-3_SJ Red20_70
	Histórica	Pésima	Pésima	Pésima	Histórica
Meses Alerta	32	37	36	37	32
Meses Sequía	15	18	19	17	15
Meses Emergencia	0	1	1	2	0
% Meses Alerta	8,1%	9,3%	9,1%	9,3%	8,1%
% Meses Sequía	3,8%	4,5%	4,8%	4,3%	3,8%



% Meses Emergencia	0,0%	0,3%	0,3%	0,5%	0,0%
Alerta sin sequía	10	11	11	11	10
Sequía en 1 mes con alerta	0	0	0	0	0
Sequía en 2 meses con alerta	2	5	5	5	2
Sequía en 3 meses con alerta	3	0	0	0	3
Sequía sin Alerta	0	0	0	0	0
% Alertas sin sequía	67%	69%	69%	69%	67%
% Sequías en 1 mes con alerta	0%	0%	0%	0%	0%
% Sequías en 2 meses con alerta	13%	31%	31%	31%	13%
% Sequías en 3 meses con alerta	20%	0%	0%	0%	20%
% Sequías sin Alerta	0%	0%	0%	0%	0%
Demanda media servida	239,34	239,15	239,10	239,13	239,34
Demanda mínima servida	234,18	232,46	232,42	231,89	234,18
Reservas mínimas	33,99	12,06	12,59	8,62	33,99
Sequía 32-33 - mes inicio (A)	nov-32	nov-32	nov-32	nov-32	nov-32
Sequía 32-33 - meses en alerta	3	2	2	2	3
Sequía 32-33 - meses en sequía	6	7	7	6	6
Sequía 32-33 - meses en emergencia	0	1	1	2	0
Sequía 32-33 - mes Fin (A)	jul-33	ago-33	ago-33	ago-33	jul-33
Sequía 32-33 - Volumen San José (A+S+E)	7,23	16,31	17,2	11,61	7,23
Sequía 32-33 - N° meses San José (A+S+E)	3	6	6	6	3
Sequía 32-33 - Volumen Traslase (A+S+E)	63,03	36,51	36,51	36,51	63,03
Sequía 32-33 - N° meses Traslase (A+S+E)	8	5	5	5	8
Sequía 32-33 - Volumen Belastiquí (A+S+E)	0	5,78	5,95	5,78	0
Sequía 32-33 - N° meses Belastiquí (A+S+E)	0	1	1	1	0

La utilización de un factor de eficiencia en el bombeo no disminuye el agua captada del río San José en Paso Valdez, y eso es porque según la serie de aportes utilizada, hay agua disponible hasta el valor que es de menester para el sistema siguiendo la regla de operación. En cambio, la aplicación de un coeficiente de reducción de la serie de aportaciones, según lo que ya se ha comentado en otros documentos de esta consultoría como acción coherente con que el calibrado hidrológico del modelo *Wflow* sobrestima los caudales inferiores, sí tiene un efecto limitante en la toma. Concretamente, durante todo el **periodo de sequía entre los años 32 y 33** (correspondiente a la sequía 2022-23) en la hipótesis de partida H1-3 (aportaciones pésimas) **se derivan 16,31 hm³ del San José** en 6 meses, mientras que en la H1-3Red20_70 **se reduce la derivación a 11,61 hm³** en los mismos 6 meses.



PES para el sistema de agua potable del área Metropolitana (de Montevideo) y del
Arroyo San Francisco en Ciudad de Minas, Uruguay
Informe Análisis de Alternativas y Protocolo del Escenario Objetivo

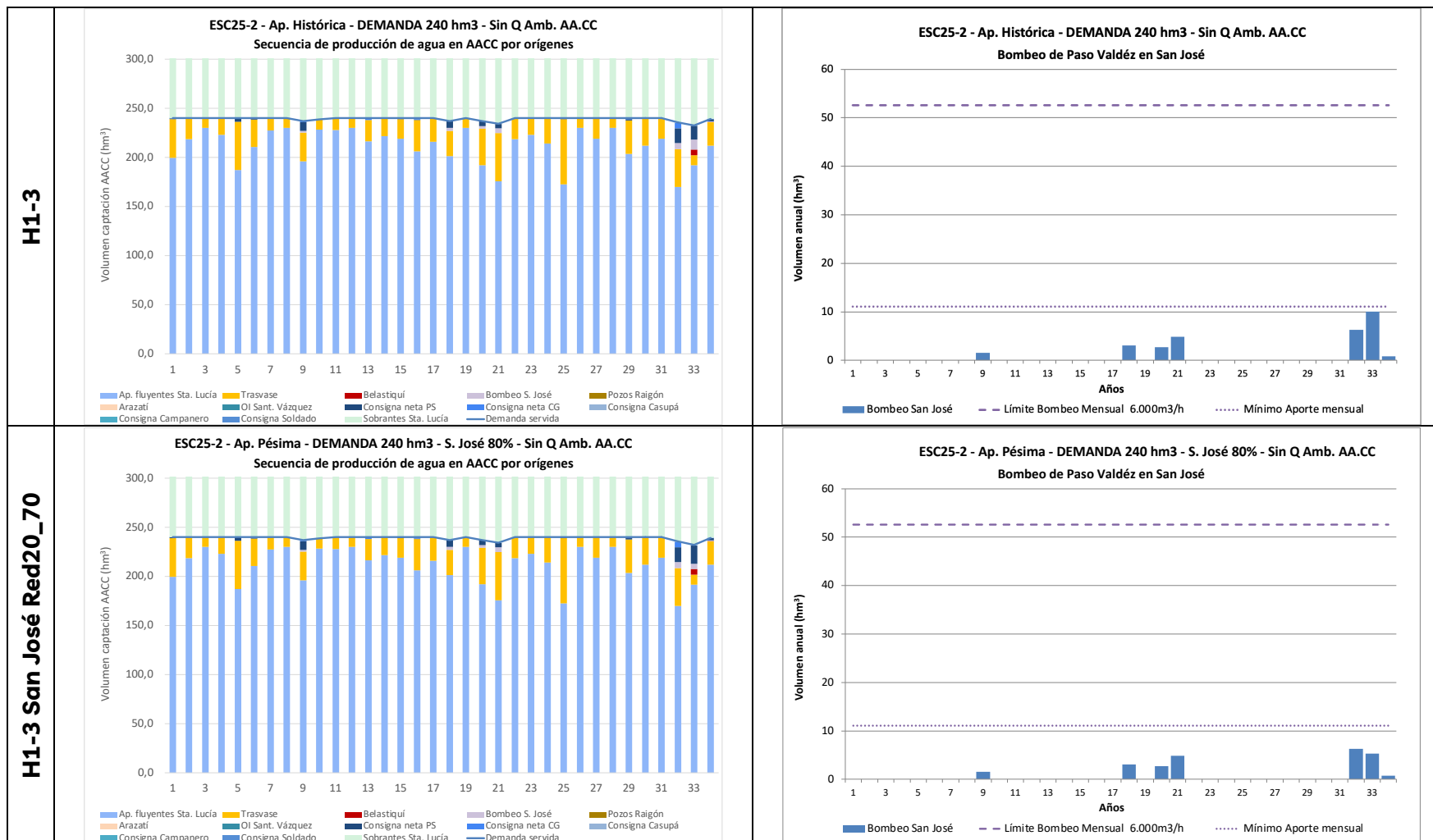


Figura 147 Comparación del mix de fuentes en la demanda servida y el volumen anual trasvasado del San José con aportaciones pésimas.



5.1.2 Conclusiones

Se hacen constar las siguientes conclusiones:

- Este caso, en aportaciones pésimas, obliga a **declarar emergencia 2 meses** consecutivos, si bien en el segundo mes el sistema de priorización del modelo es capaz de tomar agua fluyente del Santa Lucía y no de Belastiquí. Es un efecto que se produce porque las declaraciones de estado se hacen con el cierre de datos del mes anterior (reservas en julio), pero en cómputo del balance del mes siguiente puede aparecer recurso de uso prioritario, como ocurre en agosto del año 33 cuando inician las lluvias.
- Los valores de **caudales mensuales del San José** evolucionan mes a mes rápidamente, partiendo de más de 12 hm³ en noviembre del año 32 a muchos meses de inicio del año 33 donde se está por debajo de 2 hm³/mes, hasta 1,5, todos ellos muy lejos de la capacidad de bombeo instalada.
- **No todas las sequías utilizan el río San José de la misma manera.** En los gráficos anteriores para los casos H1-3, puede verse en color violeta la pequeña fracción aportada por el San José en cada mix anual de recursos que constituyen la demanda servida. A la derecha se presentan los valores anuales de volúmenes aportados por el río San José. La reducción de los caudales bajos del río en la variante H1-3 SJRed20_70, implica un valor más bajo de los aportes del San José en los años 32 y 33, pero no en las sequías anteriores donde se han simulado aportaciones.
- **Hay sequías donde el San José no aporta nada**, como la del año 25 y en otras aporta mucho menos que en la última, como la de los años 9, 18 (correspondiente al 2008) y 20. Ese año los aportes simulados en San José son los registros más bajos, de hasta 0,49 hm³/mes, menos de 700 m³/h en media, aunque es de suponer que en la variabilidad entre los 30 días del mes puede representar un valor mucho más bajo algunos días, tal vez cercano a 0.
- Analizando los datos del San José con la reducción de caudal, **en el año 18, correspondiente al 2008** en diciembre de ese año no supuso aporte del río San José, pero sí en enero. Los valores de caudal fluyente son bajos, pero no tanto como en otros años y, aunque Paso Valdez se encuentre a 1.000 km² aguas abajo de Picada Varela, **puede ser que se estén sobrevalorando** a la vista del contenido del documento sobre el *Río San José* referido al inicio de este informe.
- Cabe destacar que lo comentado es para la serie pésima de aportaciones. **En el caso de aportes históricos**, es decir la serie original también con la reducción del 70% bajo el percentil 20 de los caudales del San José, cuyos resultados se presentan en la última columna de la tabla n°5. En esa tabla, la primera columna representa los datos de la simulación H1-3 sin reducir San José. Se puede apreciar de la comparación de ambas columnas que son idénticas y que los aportes del San José en el episodio de los años 32 y 33 son menores, de 7,23 hm³. Entre las variables clave se detecta como el gran aportante de agua a AACCC en la crisis hídrica sería el trasvase, que dobla su volumen, respecto a las otras simulaciones, llegando a 63,03 hm³ en 8 meses y evitando la emergencia.



- Aproximadamente **el 50% del tiempo medido en meses** simulados, el **indicador supera el valor de 80 hm³**, es decir, hay rebalse en las presas de Paso Severino y Canelón Grande (suma de capacidades máximas útiles es de 80,9 hm³).
- Por el contrario, existen diversos **factores de seguridad** que se han aplicado en estas modelaciones y que conviene recordar para el manejo de las situaciones de riesgo:
 - El modelo presupone que el agua de las presas que requiere AACC siempre es un 20% más (**eficiencia del 80%** para aguas de consigna directa). Este nivel de eficiencia genera rebalses en AACC que garantizan un caudal de continuidad, aunque no sea el Q ambiental basado en q80 o q90.
 - Dichos **rebalses** también permiten **asegurar la disponibilidad de agua aguas abajo** de la presa de AACC que será usada para el trasvase.
 - Se limita el **trasvase en normalidad a valores más conservadores** que los realmente se han podido dar a lo largo de los últimos años, lo que realmente generaría mayores ahorros de recursos hídricos en las presas.
 - Se presupone que **no se va a usar San José en normalidad ni en alerta** hidrológica, su incorporación es simulada en estado de sequía, pero esta infraestructura estaría disponible para avanzar el inicio de sus aportes y realizar un ahorro preventivo en las presas a partir del estado de alerta.
 - Los **Q ambientales se dan obligatoriamente en la simulación** en función del estado hidrológico, no se limitan a los valores entrantes al embalse. En realidad, siguiendo las recomendaciones de monitoreo continuo comentadas en la tabla anterior, sería posible establecer cada día el caudal entrante a las presas y determinar si el valor de descarga de un caudal ambiental es el teórico o uno menor e igual al valor entrante, cuando el río se encuentra en fuerte estiaje.
- Remarcamos que, como **nuevo factor de seguridad podría añadirse** que la preparación de la infraestructura de bombeo de **Paso Valdez** estuviera operativa cuando las presas dejan de rebalsar y que **inicie su operativa de aportes a AACC en el estado de alerta**, solamente limitado a complementar los caudales no regulados del Santa Lucía y trasvase. Eso generaría contención de reservas en las presas.
- A la vista de las simulaciones realizadas y el análisis expuesto, se propone utilizar los **umbrales de alerta, sequía y emergencia** denominados hipótesis H1-3 y que son:

Tabla 23 Propuesta de umbrales de entrada para el Protocolo de sequías basados en la H1-3.

	30- Abr	31- May	30- Jun	31- Jul	31- Ago	30- Sep	31- Oct	30- Nov	31- Dic	31- Ene	28- Feb	31- Mar
Alerta	68	66	62	57	55	55	70	74	73	71	69	68
Sequía	55	55	50	45	40	40	45	50	50	55	60	60
Emergencia	15	15	13	12	10	10	15	15	15	17	17	17

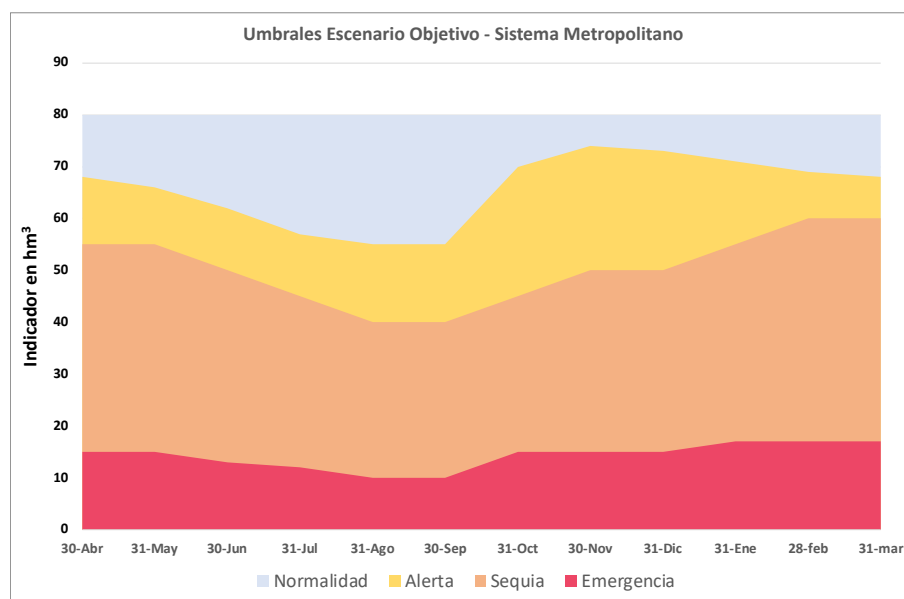


Figura 148 Valores mensuales de los umbrales y aspecto de estos en el gráfico del indicador de escasez.

- Los **casos simulados ponen a prueba el sistema con distintos tipos de sequía**, si bien la sequía extrema de los años 32 y 33 son los que fuerzan la posición de los umbrales. En la tabla final del protocolo de sequía, **se deben incorporar unos umbrales de alerta suficientemente amplios como escenario preventivo** para activar acciones y trabajos previos que garanticen la operatividad de las medidas en el **estado siguiente de sequía**, de forma que ese **estado previo se garantice siempre entre 2 y 3 meses antes**.
- No obstante, la propuesta realizada puede generar **declaraciones de alerta que no acaben desembocando en sequías**, sino que el sistema recupere la normalidad. Según las simulaciones realizadas, 2 de cada tres declaraciones de alerta no evolucionarían a sequía.
- Se han determinado umbrales en simulaciones con la **prelación de fuentes prioritarias** que se ha establecido en las reuniones de coordinación y que en líneas generales responde al siguiente orden, si bien la complejidad de cada situación hace que el sistema y el mix con el que satisface la demanda no tenga una respuesta idéntica en cada caso:
 1. Agua no regulada del Santa Lucía
 2. Traslase
 3. Presa CG (alternante por tramos con PS)
 4. Presa PS (alternante por tramos con CG)
 5. Captación y bombeo del río San José (Paso Valdez)
 6. Traslase con dique de Belastiquí en funcionamiento
- Los aportes del río **San José** son pequeños y en cada sequía simulada se utilizan de forma distinta, lo que denota que no hay un patrón seguro donde el río San José no aportará agua. No obstante, hay momentos donde los aportes son muy inferiores a la capacidad de bombeo, pero igualmente **aportan relajando otras fuentes y aumentando así la disponibilidad global**. Aunque hay sospechas que la serie utilizada, por ser de origen simulado (WFlow + Ribasim) puede tener una deriva que sobrevalore los caudales más bajos, es cierto que **en caso de no haber suficientes**



aportes el protocolo derivará a usar otras fuentes, como el incremento del trasvase, que en general se infrutiliza en la simulación. Por ello, es recomendable monitorear todo el tiempo el nivel aguas abajo de AACC y establecer también un criterio de sequía complementario con dicho nivel.

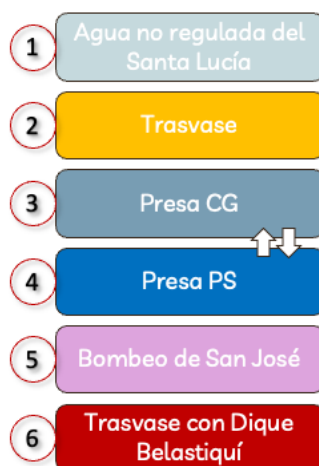


Figura 149 Esquema del orden de entrada de las fuentes en AM.

- La **salida de cada uno de los estados de sequía** debe garantizar que es franca, es decir que no se van a producir nuevas entradas en breve. Analizando los casos extremos se aprecia que, en general, las salidas se producen de forma rápida (figura 6), por efecto del bajo grado de regulación de las presas en proporción a los aportes ordinarios del Santa Lucía, pero por si acaso, se valora el umbral de salida de emergencia y sequía en 20 hm³ de más respecto a su homólogo de entrada, a sabiendas que ese valor es equivalente a un mes de suministro sin ninguna aportación adicional a las reservas; de hecho también se aprecia en la figura que los descensos máximos mensuales no superan los 10-12 hm³.

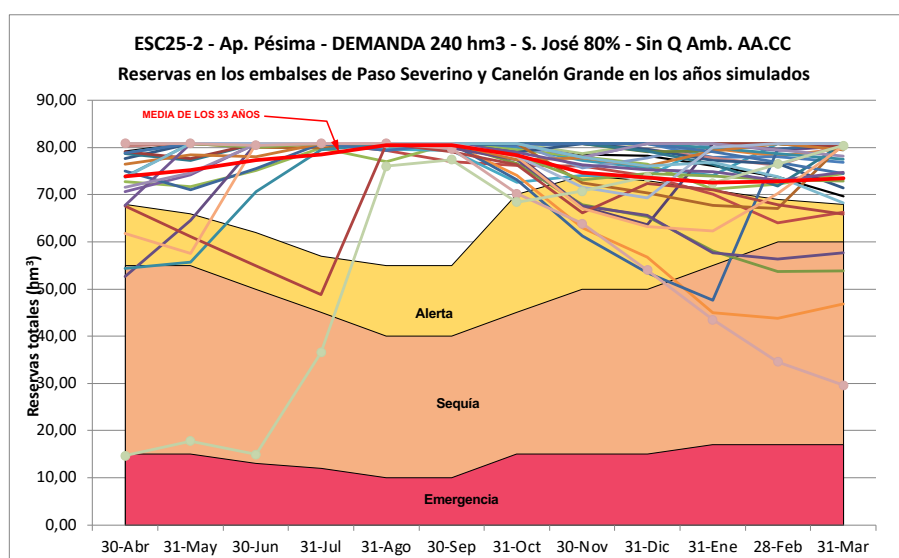


Figura 150 Evolución de reservas mensuales por años de simulación. La línea más gruesa de color rojo es el promedio. Serie 32-33 con marcado circular.



Con todo lo comentado, en el apartado siguiente se establece el **Protocolo operativo para el sistema Metropolitano** basado en el **indicador de escasez coyuntural Reservas de PS + CG** que se mide en hm³ y del que se establecerá su cálculo cada mes (pudiendo ser cada quincena o semana).

5.1.3 Propuesta de protocolo de gestión del escenario base

En las siguientes páginas se transcribe el protocolo operativo del sistema de abastecimiento Metropolitano de Montevideo. La nomenclatura cambia en la medida que se adapta al protocolo nacional, donde el nivel 2 de sequía se denomina excepcionalidad.

En cuanto a los caudales ambientales, la propuesta los incorpora, pero hoy no son de obligado cumplimiento todavía. En la tabla aparecen como volumen mensual, pero responden a los caudales instantáneos en m³/s de la **Tabla 10** y la **Tabla 11**.



PES para el sistema de agua potable del área Metropolitana (de Montevideo) y del Arroyo San Francisco en Ciudad de Minas, Uruguay
Informe Análisis de Alternativas y Protocolo del Escenario Objetivo

Tabla 24 Umbrales mensuales de entrada del ESTADO de sequía en el sistema

MESES (valor del umbral a final de mes como suma de reservas útiles de emb. Paso Severino y Canelón Grande en hm ³)												
ESTADO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT. ^{BRE}	OCT. ^{BRE}	NOV. ^{BRE}	DIC. ^{BRE}	ENERO	FEBRERO	MARZO
ALERTA(UA)	68	66	62	57	55	55	70	74	73	71	69	68
EXCEPCION^{DAD} (US)	55	55	50	45	40	40	45	50	50	55	60	60
EMERGENCIA (UE)	15	15	13	12	10	10	15	15	15	17	17	17

Para iniciar la operación mensual, **la declaración de estado se hará con el último dato del mes anterior**. Ese último día del mes se comparará el volumen suma de las reservas de los embalses de Paso Severino y Canelón Grande V_i^{mes} con los umbrales de cierre de ese mes, ya establecidos en la tabla superior (UA_i^{mes} o US_i^{mes} o UE_i^{mes}) que corresponden al valor del último día del mes. Se declarará el ESTADO vigente de operación del sistema según el siguiente algoritmo, diferenciando si las reservas están en situación de descenso (pérdida de volumen respecto al mes anterior) o de recuperación (aumento de volumen respecto al mes anterior):

Tabla 25 Criterio de determinación mensual del ESTADO del sistema

ESTADO DE LA CUENCA	Si $(V_i^{mes} - V_{i-1}^{mes}) < 0$	Si $(V_i^{mes} - V_{i-1}^{mes}) > 0$
NORMALIDAD	$V_i^{mes} > UA_i^{mes}$	-
ALERTA	$US_i^{mes} < V_i^{mes} \leq UA_i^{mes}$	$V_i^{mes} > 80$
EXCEPCIONALIDAD	$UE_i^{mes} < V_i^{mes} \leq US_i^{mes}$	$(UE_i^{mes} + 20 \text{ hm}^3) < V_i^{mes} \leq (US_i^{mes} + 20 \text{ hm}^3)$
EMERGENCIA	$V_i^{mes} \leq UE_i^{mes}$	$V_i^{mes} \leq (UE_i^{mes} + 20 \text{ hm}^3)$

En situación de descenso de las reservas se podrá producir la ENTRADA en un ESTADO excepcional, mientras que en ascenso se puede producir la SALIDA de un ESTADO de medidas excepcionales. Por razones de congruencia en la operación, a fin de evitar rebotes o declaraciones intermitentes de entrada y salida de un estado, la salida será siempre cuando ésta sea “franca”, es decir, con una tendencia continua de ascenso de reservas, por lo que se considera adecuado aplicar un valor superior al umbral de cambio de estado. En concreto, el valor del umbral variará según el estado del que se esté saliendo, iniciando la salida de emergencia cuando se tenga unas reservas superiores a la entrada al menos en 1 mes de demanda del sistema (20 hm³). De forma análoga, la salida de sequía se producirá cuando el indicador supere en 20 hm³ su umbral de entrada y, la finalización de la alerta cuando el indicador supere los 80 hm³, equivalente a iniciarse de forma inminente el rebalse de ambas presas.

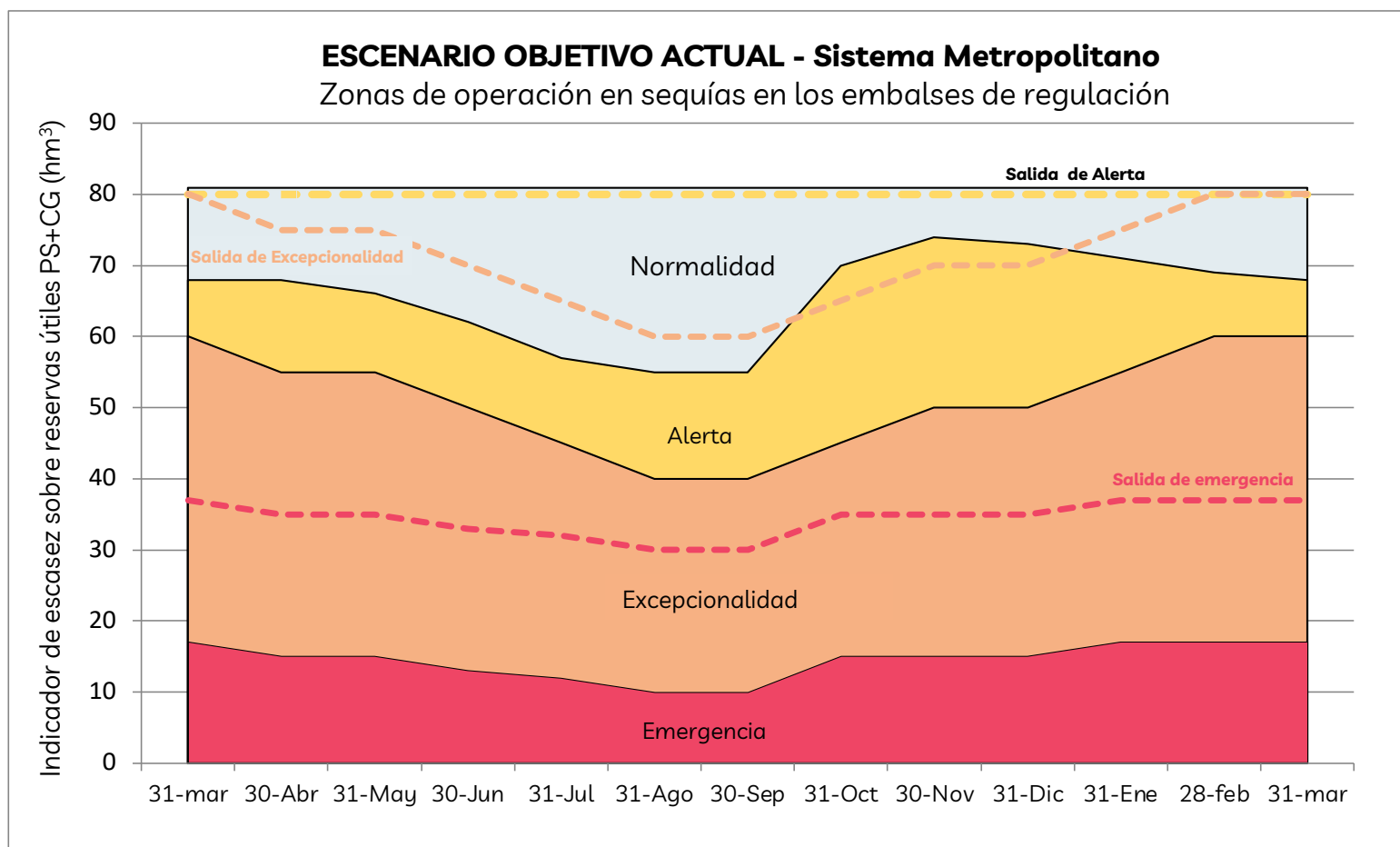


Figura 151 Valores mensuales de los umbrales de entrada y salida en el sistema Metropolitano.



PES para el sistema de agua potable del área Metropolitana (de Montevideo) y del Arroyo San Francisco en Ciudad de Minas, Uruguay
Informe Análisis de Alternativas y Protocolo del Escenario Objetivo

Tabla 26 Regla de operación del Sistema Montevideo.

	Demanda Abastecimiento y restricciones ambientales												Oferta Extraordinaria y Regla de operación																																																																
NORMALIDAD	Volumen Máximo Mensual Captado por la planta de AACC (hm³) <table><tr><th>ABRIL</th><th>MAYO</th><th>JUNIO</th><th>JULIO</th><th>AGOSTO</th><th>SEPT.^{BRE}</th><th>OCT.^{BRE}</th><th>NOV.^{BRE}</th><th>DIC.^{BRE}</th><th>ENERO</th><th>FEB^{RO}</th><th>MARZO</th></tr><tr><td>20,22</td><td>20,44</td><td>19,19</td><td>19,48</td><td>19,27</td><td>18,39</td><td>19,36</td><td>19,34</td><td>21,06</td><td>21,70</td><td>19,96</td><td>21,59</td></tr></table> (Los valores mensuales podrán variar en un +5% siempre y cuando el anual acumulado no supere los 240 hm³) Volumen Máximo Mensual Liberado en concepto de caudal ambiental (hm³) <table><tr><th></th><th>ABRIL</th><th>MAYO</th><th>JUNIO</th><th>JULIO</th><th>AGOS^{TO}</th><th>SEPT.^{BRE}</th><th>OCT.^{BRE}</th><th>NOV.^{BRE}</th><th>DIC.^{BRE}</th><th>ENERO</th><th>FEB^{RO}</th><th>MARZO</th></tr><tr><td>Presa PS</td><td>5,78</td><td>5,98</td><td>5,78</td><td>5,98</td><td>9,70</td><td>9,39</td><td>9,70</td><td>9,39</td><td>1,07</td><td>1,07</td><td>0,97</td><td>1,07</td></tr><tr><td>Presa CG</td><td>1,15</td><td>1,19</td><td>1,15</td><td>1,19</td><td>2,07</td><td>2,00</td><td>2,07</td><td>2,00</td><td>0,40</td><td>0,40</td><td>0,36</td><td>0,40</td></tr></table> (El caudal responde al q80 del estudio de caudales ambientales en los puntos correspondientes a las dos presas. En toma AACC no se aplicará Q ambiental más allá de los rebalses)													ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT. ^{BRE}	OCT. ^{BRE}	NOV. ^{BRE}	DIC. ^{BRE}	ENERO	FEB ^{RO}	MARZO	20,22	20,44	19,19	19,48	19,27	18,39	19,36	19,34	21,06	21,70	19,96	21,59		ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOS ^{TO}	SEPT. ^{BRE}	OCT. ^{BRE}	NOV. ^{BRE}	DIC. ^{BRE}	ENERO	FEB ^{RO}	MARZO	Presa PS	5,78	5,98	5,78	5,98	9,70	9,39	9,70	9,39	1,07	1,07	0,97	1,07	Presa CG	1,15	1,19	1,15	1,19	2,07	2,00	2,07	2,00	0,40	0,40	0,36	0,40	Orden de prelación general: - Agua no regulada río Sta. Lucía (incluye rebalses PS y CG) - Agua trasvase aguas abajo presa AACC, hasta un máximo instantánea de 24.000 m³/h (si fuese necesario hasta un valor equivalente a 13 hm³/mes) - Agua consignada desde CG (alternativamente con PS) - Agua consignada desde PS (alternativamente con CG) (aunque se priorice CG, la gestión tenderá a compensarlos)
	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT. ^{BRE}	OCT. ^{BRE}	NOV. ^{BRE}	DIC. ^{BRE}	ENERO	FEB ^{RO}	MARZO																																																																	
	20,22	20,44	19,19	19,48	19,27	18,39	19,36	19,34	21,06	21,70	19,96	21,59																																																																	
	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOS ^{TO}	SEPT. ^{BRE}	OCT. ^{BRE}	NOV. ^{BRE}	DIC. ^{BRE}	ENERO	FEB ^{RO}	MARZO																																																																	
Presa PS	5,78	5,98	5,78	5,98	9,70	9,39	9,70	9,39	1,07	1,07	0,97	1,07																																																																	
Presa CG	1,15	1,19	1,15	1,19	2,07	2,00	2,07	2,00	0,40	0,40	0,36	0,40																																																																	
ALERTA	Volumen Máximo Mensual Captado por la planta de AACC (hm³) <table><tr><th>ABRIL</th><th>MAYO</th><th>JUNIO</th><th>JULIO</th><th>AGOSTO</th><th>SEPT.^{BRE}</th><th>OCT.^{BRE}</th><th>NOV.^{BRE}</th><th>DIC.^{BRE}</th><th>ENERO</th><th>FEB^{RO}</th><th>MARZO</th></tr><tr><td>18,79</td><td>18,99</td><td>17,83</td><td>18,10</td><td>17,90</td><td>17,09</td><td>17,99</td><td>17,97</td><td>19,57</td><td>20,17</td><td>18,54</td><td>20,06</td></tr></table> (Los valores mensuales podrán variar en un +3% siempre y cuando el anual acumulado no supere los 223 hm³) Volumen Máximo Mensual Liberado en concepto de caudal ambiental (hm³) <table><tr><th></th><th>ABRIL</th><th>MAYO</th><th>JUNIO</th><th>JULIO</th><th>AGOS^{TO}</th><th>SEPT.^{BRE}</th><th>OCT.^{BRE}</th><th>NOV.^{BRE}</th><th>DIC.^{BRE}</th><th>ENERO</th><th>FEB^{RO}</th><th>MARZO</th></tr><tr><td>Presa PS</td><td>2,31</td><td>2,39</td><td>2,31</td><td>2,39</td><td>5,76</td><td>5,57</td><td>5,76</td><td>5,57</td><td>0,50</td><td>0,50</td><td>0,45</td><td>0,50</td></tr><tr><td>Presa CG</td><td>0,62</td><td>0,64</td><td>0,62</td><td>0,64</td><td>1,31</td><td>1,26</td><td>1,31</td><td>1,26</td><td>0,22</td><td>0,22</td><td>0,20</td><td>0,22</td></tr></table> (El caudal responde al q90 del estudio de caudales ambientales en los puntos correspondientes a las dos presas. El caudal ambiental liberado no podrá superar al caudal entrante en las presas. En toma AACC no se aplicará Q ambiental más allá de los rebalses)													ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT. ^{BRE}	OCT. ^{BRE}	NOV. ^{BRE}	DIC. ^{BRE}	ENERO	FEB ^{RO}	MARZO	18,79	18,99	17,83	18,10	17,90	17,09	17,99	17,97	19,57	20,17	18,54	20,06		ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOS ^{TO}	SEPT. ^{BRE}	OCT. ^{BRE}	NOV. ^{BRE}	DIC. ^{BRE}	ENERO	FEB ^{RO}	MARZO	Presa PS	2,31	2,39	2,31	2,39	5,76	5,57	5,76	5,57	0,50	0,50	0,45	0,50	Presa CG	0,62	0,64	0,62	0,64	1,31	1,26	1,31	1,26	0,22	0,22	0,20	0,22	Preparación Acciones Preventivas: - Campañas de sensibilización ciudadana - Puesta a punto instalaciones del bombeo en Paso Valdez - Valoración usuarios con posibilidad de sustitución de fuente
ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT. ^{BRE}	OCT. ^{BRE}	NOV. ^{BRE}	DIC. ^{BRE}	ENERO	FEB ^{RO}	MARZO																																																																		
18,79	18,99	17,83	18,10	17,90	17,09	17,99	17,97	19,57	20,17	18,54	20,06																																																																		
	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOS ^{TO}	SEPT. ^{BRE}	OCT. ^{BRE}	NOV. ^{BRE}	DIC. ^{BRE}	ENERO	FEB ^{RO}	MARZO																																																																	
Presa PS	2,31	2,39	2,31	2,39	5,76	5,57	5,76	5,57	0,50	0,50	0,45	0,50																																																																	
Presa CG	0,62	0,64	0,62	0,64	1,31	1,26	1,31	1,26	0,22	0,22	0,20	0,22																																																																	
EXCEPCIONALIDAD	Volumen Máximo Mensual Captado por la planta de AACC (hm³) <table><tr><th>ABRIL</th><th>MAYO</th><th>JUNIO</th><th>JULIO</th><th>AGOSTO</th><th>SEPT.^{BRE}</th><th>OCT.^{BRE}</th><th>NOV.^{BRE}</th><th>DIC.^{BRE}</th><th>ENERO</th><th>FEB^{RO}</th><th>MARZO</th></tr><tr><td>18,20</td><td>18,40</td><td>17,27</td><td>17,54</td><td>17,34</td><td>16,55</td><td>17,42</td><td>17,41</td><td>18,95</td><td>19,53</td><td>17,96</td><td>19,43</td></tr></table> (Los valores mensuales podrán variar en un +2% siempre y cuando el anual acumulado no supere los 216 hm³) Ni en los puntos de las dos presas ni en toma AACC se aplicarán caudales ambientales													ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT. ^{BRE}	OCT. ^{BRE}	NOV. ^{BRE}	DIC. ^{BRE}	ENERO	FEB ^{RO}	MARZO	18,20	18,40	17,27	17,54	17,34	16,55	17,42	17,41	18,95	19,53	17,96	19,43	- Inicio del funcionamiento del represamiento de Belastiquí el trasvase aguas abajo presa AACC hasta un máximo instantáneo de 24.000 m³/h, pero deberá establecerse un valor objetivo superior a 5,5 hm³/mes.																																							
ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT. ^{BRE}	OCT. ^{BRE}	NOV. ^{BRE}	DIC. ^{BRE}	ENERO	FEB ^{RO}	MARZO																																																																		
18,20	18,40	17,27	17,54	17,34	16,55	17,42	17,41	18,95	19,53	17,96	19,43																																																																		
EMERGENCIA																																																																													



5.2 Propuesta de implementación de actuaciones y hoja de ruta recomendada

5.2.1 Recomendaciones respecto al monitoreo

Los elementos limitantes de este análisis son todos relativos a la confiabilidad de los datos de caudal en situaciones de estiaje, con especial mención al caso del río San José en Paso Valdez. Esta falta de confiabilidad no solamente existe en los datos fluviales, sino también a las descargas de fondo y rebalses de las presas. En situación de normalidad y abundancia los niveles de agua existentes exceden en mucho las necesidades de la planta de AACC lo que desvanece la influencia de cualquier efecto de error en la medida. En situación de sequía y ante la necesidad de una estricta eficiencia en el manejo del agua en esos casos, ese error o falta de precisión puede ser del orden de magnitud del propio valor medido o supuesto y, por eso se transforma en un factor clave y muy limitante que generaliza la inseguridad en los datos simulados o la incertidumbre a la que estuvieron sometidos los responsables de la operación real en 2022-23. Se hace **imprescindible el aumento de puntos de monitoreo y mejora de la precisión de los existentes**, que permitan el balance continuo del recurso a nivel de las presas, del río Santa Lucía, de la toma y rebalse de AACC y del remanso/flujo de caudales en el tramo final del Santa Lucía aguas abajo de AACC, así como del río San José en Paso Valdez. En este sentido se recomienda:

Tabla 27 Recomendaciones de puntos y variables de medida.

Variable	Descripción	Tipo/Frec.
Balance Diario en Embalses de Paso Severino y Canelón Grande		
Caudal saliente	Punto de control de descargas reales: estación de aforos de caudales salientes aguas abajo de la presa, centrada en caudales bajos, especialmente pensada para descargas de fondo o rebalses pequeños donde las fórmulas teóricas pueden estar afectadas de alto error por las irregularidades de labio del vertedero, la gran longitud del mismo, los cambios en las condiciones geométricas, etc. Se recomienda un algoritmo que cambie de forma automática en función del rango de medida a usar el caudal de cálculo de las curvas teóricas de los vertederos y compuertas a un caudal medido <i>in situ</i> a través de aforador o estación de medida con nivel único y curva de gasto, sistemas tipo <i>Parshall</i> o <i>Venturi</i> con medición de doble nivel o sistemas con medición de nivel y velocidad del flujo.	Medición directa en continuo
Caudales detraídos en vaso o cuerpo de presa	Colocación de caudalímetros en sistemas de bombeo o captaciones con tuberías/conducciones para otros usos locales o que no se incorporen en el cauce aguas abajo de la presa, por ejemplo, riegos en CG.	Medición directa en continuo
Variación del volumen	Registro continuo del nivel del embalse y la deducción de la superficie de la lámina de agua y volúmenes retenidos para dicho nivel. Se utilizarán las curvas h-S-V más actualizadas y se aprovechará cualquier vaciado del embalse para hacer nuevos levantamientos de precisión, a poder ser con tecnología LIDAR.	Medición directa diaria o en continuo



Evaporación	Tanque evaporimétrico en las proximidades de la presa. De no poderse mantener, se podría utilizar el más cercano a la zona de la red meteorológica nacional. Para tener una correcta determinación de los valores de evaporación real, debe acompañarse al tanque evaporimétrico con un pluviómetro y, conviene una estación meteorológica de soporte para el contraste con la determinación teórica de la evaporación.	Medición directa diaria
Caudal entrante	En la medida de lo posible debe medirse de forma directa con estación de aforos en el/los curso/s principal/es aportantes al vaso del embalse. En el caso de PS, si la estación Florida R5 se considera suficientemente representativa de la mayoría del caudal entrante, esta puede seguir el mismo proceso de tecnificación que se ha comentado para el registro de caudales salientes de presa, es decir, estación de aforos con estructura que concentre el flujo y permita la medición precisa de caudales a través de vertederos o medición de niveles y velocidades. En el caso de que las aportaciones sean muy difusas por todo el contorno de la presa, esta variable podrá ser deducida como balance de todas las anteriores suponiendo que no hay pérdidas o usando unas pérdidas teóricas.	Medición directa en continuo / Deducción por cálculo diario
Pérdidas y filtraciones	Última variable que deberá ser deducida y permitirá el cierre del balance.	Deducción por cálculo diario/ semanal

Control de aportes fluviales clave

EA Paso Pache	Aportes del río Santa Lucía antes de la incorporación del río Santa Lucía Chico. Esta estación de caudales es clave para OSE, y debe estar operativa y poder medir caudales muy pequeños, por lo que se recomienda o bien establecer una estructura singular de medida (V-Flat, Krump o vertederos encajados de labio grueso) o bien un refuerzo en su sensorización con nivel y velocidad del agua y una estructura menor que concentre el flujo en aguas bajas y permita calados suficientes para no perder precisión en la medida.	Medición directa en continuo
Otras estaciones aguas arriba de Paso Pache	Para la gestión de las sequías por parte de OSE no son necesarias, si bien para la calibración del modelo hidráulico existente u otros hidrológicos e hidráulicos que se puedan hacer en el futuro, la existencia de más estaciones permitiría enriquecer el ajuste de los modelos y generar predicciones de caudales tanto en régimen ordinario como en avenidas.	Medición directa en continuo
EA de entrada a embalse de AACC	Si bien en situación de sequía intensa la suma de aportes del Santa Lucía en Paso Pache, el caudal saliente de PS y el caudal saliente de CG coincidirá en gran medida con los aportes entrantes en la presa de AACC, en situación ordinaria hay más aportes de la intercuenca y detracciones que puedan llegar a afectar en estiaje o sequía severa, por lo que se recomienda una estación de control. Pudiera substituirse esta estación por otra existente en el Santa Lucía que esté lo más cercana a este punto, tal vez la EA Santa Lucía R11. En cualquier caso, deben exigirse las mismas características que las descritas para Paso Pache.	Medición directa en continuo
EA de flujo aguas abajo de la presa de AACC	Más allá de la medición continua del nivel en el remanso aguas abajo de la presa de toma de AACC, sería conveniente establecer un sistema de control de flujo en el tramo final del Santa Lucía utilizando sensores de velocidad sumergidos, que además de determinar el posible caudal de descarga, en situación de estiaje	Medición directa en continuo



	pueda apoyar en la determinación de flujos mínimos hacia el río de La Plata o en sentido contrario, ascendentes desde el río de La Plata. Complementariamente, en la presa de AACC, se recomienda mejorar las condiciones geométricas del labio para aumentar la precisión de las curvas de descarga o rebalse con caudales bajos, y registrar el nivel permanentemente.	
EA en el Río San José en Paso Valdez	Siendo un punto de máxima incertidumbre y única alternativa complementaria de aportes extraordinarios en caso de sequía extrema, hay que conocer mejor la realidad hidráulica de esta estación, mejorando su medición. Las características de adecuación e instalación de equipos serían las descritas para Paso Pache.	Medición directa en continuo

5.2.2 Posible hoja de ruta

Como se ha comentado en el escenario anterior, **no se pueden asumir demandas nuevas ni desembalses vinculados a caudales de mantenimiento de forma permanente sin poner en riesgo el servicio del abastecimiento metropolitano hasta que no aparezcan nuevas aportaciones a medio plazo** fruto de la incorporación de infraestructura de carácter permanente.

Entre las diferentes soluciones estudiadas, se ha realizado un análisis tentativo del efecto que podrían tener estas nuevas infraestructuras a nivel conceptual, aunque no siempre sean homogéneas entre ellas, y teniendo en cuenta que todas deberían permitir, tanto el crecimiento de la demanda del área metropolitana prevista para el 2035 (o 2045) como el cumplimiento de los caudales ambientales. Algunas de las alternativas incorporan infraestructuras ampliamente estudiadas como la construcción de la presa que Casupá o el aporte de la nueva planta de tratamiento de Arazatí e impulsión del agua al tanque de Melilla. Otras son las que analizan una regulación menor en la cabecera del río Santa Lucía (presas de El Soldado y Campanero) o en el río San José (presa de Rincón de Carballo) o planta de osmosis inversa en Santiago Vázquez o incorporar planes de mejora de la eficiencia de la red a medio plazo.

Las soluciones de mayor impacto son la construcción de la presa de Casupá y la planta de tratamiento de aguas de Arazatí. No obstante, teniendo en cuenta la facilidad de **desplegar progresivamente un programa de reducción de pérdidas de la red y la compatibilidad** de este programa con cualquier otra alternativa que sume una nueva infraestructura al sistema, es altamente recomendable tener en cuenta esta primera alternativa que mejora la eficiencia del sistema y que permitiría afrontar la serie pésima de aportaciones incluso cuando Casupá o Arazatí no estén todavía culminadas.

Los resultados de las modelizaciones de ESC35-3 Casupá y ESC35-6 Arazatí han demostrado que ambas infraestructuras permitirían el **incremento de demanda esperado para el horizonte temporal 2035** y la incorporación de caudales ambientales basados en el **q80 tanto en las presas de regulación existentes**, pero no en la captación de la planta de AACC.

Solamente con Casupá (ESC35-4) **sería factible sumar al cumplimiento ambiental anterior las captaciones de Aguas Corrientes y San José en normalidad**. No obstante, las diferentes variantes demuestran que también sería **necesario incorporar un protocolo de gestión de sequías** si se quiere **hacer frente a una serie de aportaciones pésimas**, peor que la registrada históricamente. También se abandonaría el trasvase sistemático desde aguas abajo de la presa de Aguas Corrientes, que se reservaría para situaciones de sequía. j



En el caso de **Casupá**, se supera la simulación de aportaciones pésimas con un **porcentaje del 14% de los meses en situaciones de sequía y sin ninguna entrada en emergencia**, con umbrales superiores a los propuestos en la situación actual. Con la nueva presa se puede satisfacer la totalidad de la demanda de AM sin déficits y otro aspecto importante en la gestión de la cuenca: asegurar la gran mayoría de los meses un caudal mínimo continuo de **3 m³/s** del río Santa Lucía a la altura de la estación de aforos de **Fray Marcos**, caudal necesario para evitar *bloom* algales que deterioren la calidad del agua y dificulten el tratamiento en Aguas Corrientes.

Con todo lo expuesto, y tal como se presenta en la **Figura 152**, parecería lógico seguir esta secuencia:

- **Inmediatamente**, implementar el **protocolo de gestión de sequías** propuesto en este apartado, **consolidando las infraestructuras** que permiten el bombeo del agua del río San José en Paso Valdez. La puesta a punto de esta infraestructura debería plantarse como muy tarde en el estado de alerta.
- **A muy corto plazo**, impulsar acciones de mejora de la confiabilidad de la información, a través de la mejora en la red de monitoreo y los elementos de gestión *on-line* de los datos y utilización de herramientas de ayuda a la decisión.
- **A corto plazo**, impulsar acciones de mejora de la eficiencia de la red de distribución del agua potable en el sistema Metropolitano. En concreto, se trata de desarrollar e implementar un programa de reducción del agua no contabilizada, con especial mención en la detección temprana de pérdidas. Este programa iniciaría lo más temprano posible con la vocación inicial de conseguir un primer escalón de reducción de demanda en los 5 primeros años. No obstante, a sabiendas que la puesta en marcha de la solución definitiva puede alargarse hasta el 2035 o más, se plantea continuar con el programa de eficiencia de la red con un segundo escalón objetivo de reducción de la demanda a 10 años. Este planteamiento permite un factor de seguridad añadido a las hipótesis de trabajo que han definido el protocolo y representan una medida adaptativa a la espera de la llegada de una infraestructura mayor de producción hídrica, un período de tiempo en el aumenta la probabilidad de sufrir otra nueva sequía extrema, tal vez mayor a las anteriores.
- **A medio plazo (10 años)**, implementar un escenario de trabajo consolidado a través de la puesta en funcionamiento de alguna de las infraestructuras de producción hídrica que se han validado en las alternativas 2035. En concreto, la recomendación ante la obligación ambiental de ir cumpliendo con la liberación de caudales de ambientales en presas y captaciones es implementar la presa del arroyo Casupá, por ser la solución con mejores indicadores específicos para el abastecimiento AM y globales a nivel de cuenca del Santa Lucía. En el caso de no asumir la implementación completa de los caudales ambientales, podría optarse alternativamente entre la obra de Casupá o el proyecto de Arazatí, una nueva captación de agua del río de La Plata, reservorio de laminación de agua cruda, planta de tratamiento de agua potable y bombeo y conducción de agua tratada hasta la red.

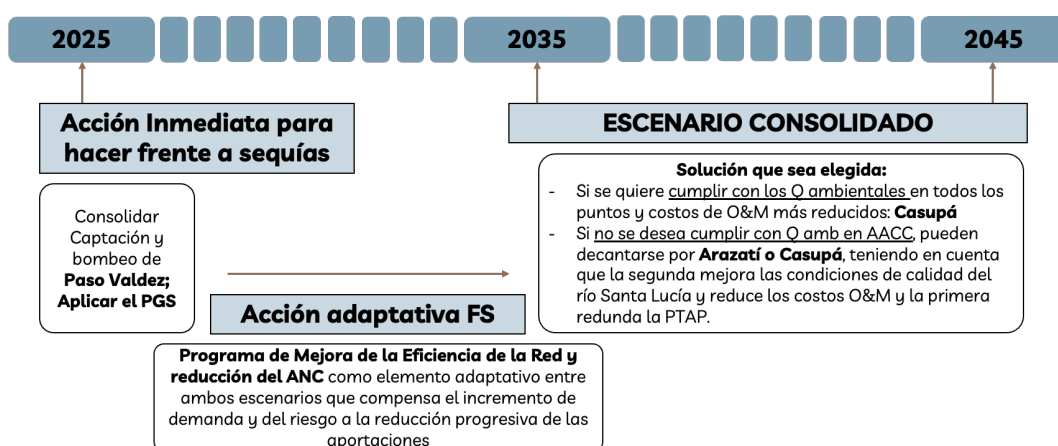


Figura 152 Posible secuencia temporal de inicio de actividades clave para robustecer el sistema AM ante episodios de sequía y escasez coyuntural.

6 Caracterización de alternativas de trabajo en la UGS Ciudad de Minas

6.1 Topología del modelo

6.1.1 Ajustes a la infografía

Aunque en el caso de la UGS Ciudad de Minas la estructura del flujograma en los datos resumen de oferta y demanda no han variado demasiado respecto al diagnóstico, acá se presenta la imagen con los pequeños ajustes que se han realizado en esta etapa de análisis de alternativas

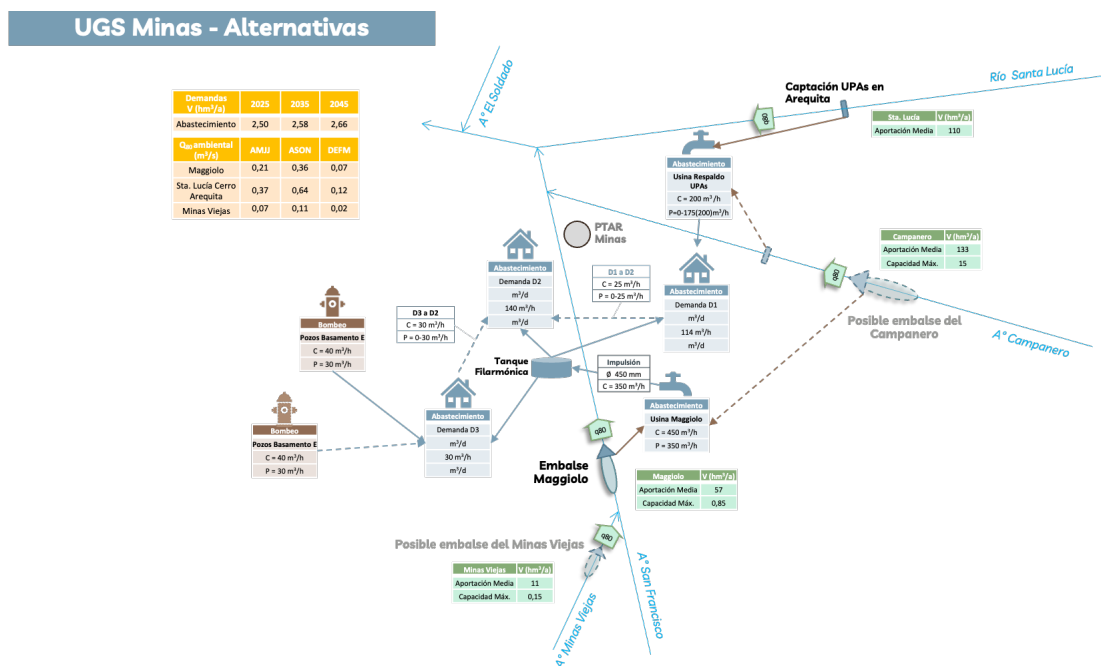


Figura 153 Flujograma revisado del Sistema de Ciudad de Minas con los datos clave del proyecto y posibles elementos para el análisis de alternativas.



Posteriormente, en el **Anexo 4** se presenta la infografía a mayor detalle y con su correspondiente leyenda.

6.1.2 Topología modificada

A continuación, en la **Figura 154** se presenta la topología ajustada. Se ha establecido una nueva disposición de los nodos y arcos para que el modelo funcione como en la realidad:

- D2, por tanto, resta como la demanda cautiva de la usina principal, planta Maggiolo.
- D1 representa toda el área de influencia actual de la producción de la usina de respaldo en Campanero (UPAs), aunque hay la posibilidad de ser sustituida total o parcialmente por agua de la planta Maggiolo que proviene del arco A11. No obstante, la capacidad máxima de producción de la usina de respaldo es superior a la demanda de D1.
- Una de las actuaciones propuestas es aumentar la capacidad de la estación de bombeo desde el tanque de Cerro Partido hacia la actual área de demanda D2. Eso permitiría distribuir agua excedente de la usina de respaldo a plena capacidad de producción.
- D3 representa toda el área de influencia actual de la producción de pozos, aunque hay la posibilidad de ser sustituida total o parcialmente por agua de la planta Maggiolo que proviene del arco A9.
- Se ha añadido el nodo N15 para poder representar correctamente el funcionamiento del caudal ecológico ambiental, de forma que éste se transmita directamente aguas abajo de la presa Maggiolo, siempre y cuando el caudal sea igual o superior a requisito ambiental.

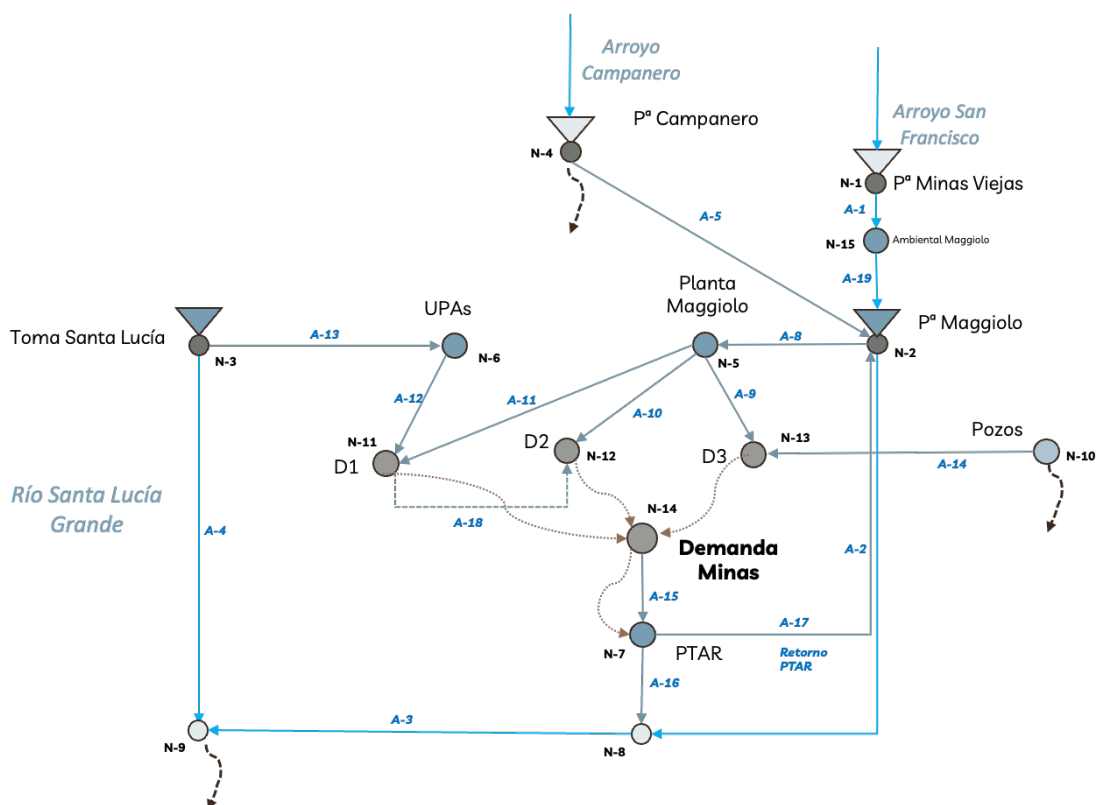


Figura 154 Esquema del modelo Minas modificado para poder representar os escenarios alternativos.



6.2 Definición de variantes para cada elemento clave del modelo

Siguiendo la estructura que anteriormente se ha propuesto para el Área Metropolitana como a continuación se plantea las variantes de cada una de las variables clave del modelo según la **Figura 14**. Para evitar repeticiones en alguno de los casos se remitirá a la descripción de la caracterización técnica del caso Metropolitano, **4.2 Definición de variantes para cada elemento clave del modelo**. En el caso de Minas, conviene recordar que los caudales de trabajo provienen del modelo *Wflow* y, no se ha aplicado la detracción por existencia de captaciones aguas arriba de los puntos de interés a través del modelo Ribasim porque las cuencas de simulación del Ribasim son mucho más amplias. Se considera que el peso de los usos aguas arriba de los mencionados puntos es mínimo por tratarse de microcuencas de cabecera y, posiblemente con la metodología seguida para la reducción de los caudales bajos, con la que se ha calibrado el modelo se GRH empleado, ya se consiguen compensar las posible detracciones aguas arriba.

6.2.1 Variantes de oferta

A) Variantes de la oferta en el Arroyo San Francisco y en el Santa Lucía

Como ya se ha expuesto en el apartado del resumen de diagnóstico de la UGS Minas, en este caso las aportaciones utilizadas son directamente las del modelo hidrológico *Wflow*® agregadas a nivel mensual, tanto para el A° San Francisco como para el Santa Lucía a la altura de la toma de las UPAs en el área del Cerro Arequita. También se ha comentado, que debido al (1) tamaño de las cuencas, que son muy pequeñas y alejadas de las estaciones de monitoreo donde se ha calibrado el modelo y (2) al propio proceso de calibrado volumétrico del moldeo, la serie parece sobrevalorar los caudales más pequeños y, en concreto, todas las aportaciones vinculadas a períodos de fuerte estiaje y sequía. Para compensarlo se ha procedido a nivel mensual a reducir en un 80% los caudales por debajo del percentil 30, es decir el 30% más pequeño de los caudales se afecta de un coeficiente de 0,2 (ver **Figura 7** y **Figura 8**).

Para ambos puntos se ha complementado la **serie original reducida** con series de aportes alteradas. Si bien se ha intentado seguir el mismo procedimiento que en el caso metropolitano, determinando la serie escasez a partir del método de generación del tiempo meteorológico del proyecto **Euroclima**⁺ tanto el escenario E3 como el escenario E4, los resultados no han sido exactamente iguales que el caso AM. Como en el caso metropolitano, el análisis se ha realizado construyendo una serie equivalente a datos mensuales de 33 años de la serie original de datos decenales en caudales a 100 años (diarios en precipitación y ETP) donde estuvieran las peores secuencias de la serie.

- El escenario E4, con Niña perpetua, es decir con patrones de generación de variables meteorológicas similares a los del ENSO Niña asociado a sequías en la región, ha resultado ser más positivo que el histórico y se descartó.

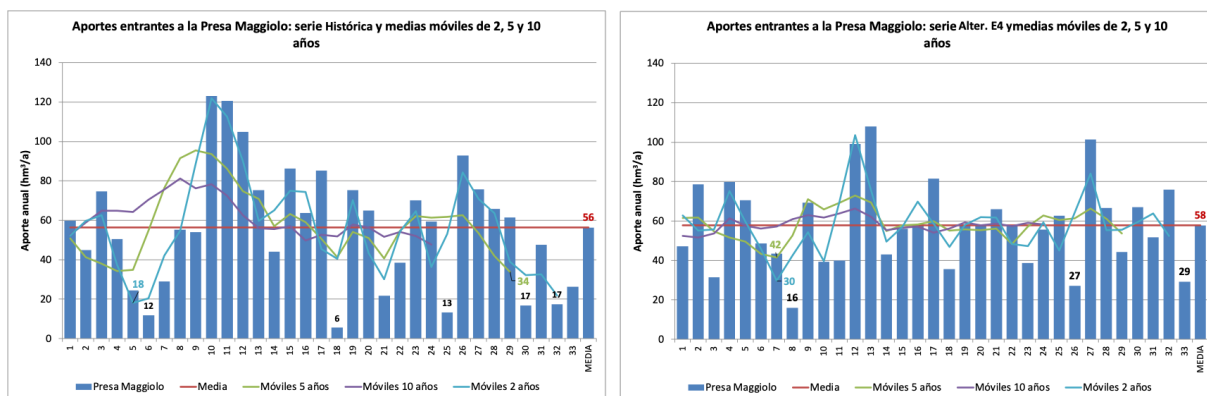


Figura 155 Aportes anuales históricos corregidos del A° San Francisco en la presa Maggiolo a la izquierda y, a la derecha, aportes de la serie alterada según la metodología del escenario E4 del proyecto Euroclima⁺.

Como se observa en la **Figura 155**, los valores promedios de una de las series de Euroclima+ es 58 hm³, mayor que le histórico de 56, pero además los años de aportes mínimos (16 hm³) distan mucho con los años mínimos de la histórica con valores anuales de 6, 12, 13, y otros similarmente bajos. La forma de la serie alterada de la parte derecha de la figura, demuestra lo que ya se comentó en el apartado del sistema Metropolitano y, es que estas series sintéticas producidas a través de un generador de clima tienen tendencia a suavizar valores y, por lo tanto, presentan extremos menores, tanto en caso de años secos como de años húmedos, algo que se puede apreciar muy bien en la figura.

- En el caso del **escenario E3**, donde se aplica un aumento de la evapotranspiración un 10% y se reduce la precipitación un 5%, los valores se han considerado de **escasez** por tratarse de una hipótesis de generación del clima sesgada a una reducción importante del balance hídrico, de hecho, lo son como se aprecia en la **Figura 156**. La reducción de las aportaciones es muy significativa, tanto en promedio, con 31 hm³, como en valores mínimos, con años con aportaciones inferiores a 1 hm³.

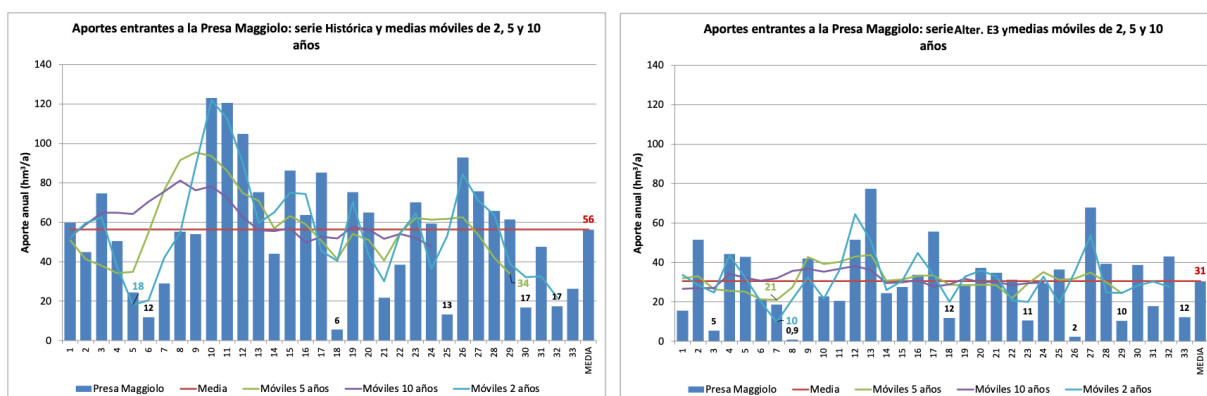


Figura 156 Aportes anuales y promedios del A° San Francisco en la presa de Maggiolo de la serie histórica corregida (izquierda) y de la serie de escasez (derecha) o alterada E3 de Euroclima⁺.

Por último, se ha procedido a generar una **serie pésima** con el mismo criterio que en el sistema Metropolitano, es decir, construida a través de la reducción directa de todas las aportaciones históricas en un 10%. Cabe recordar que en AM se habían estado probando distintas alternativas sobre la serie histórica, entre ellas la alteración del orden de los años hidrológicos para concatenar años secos y generar sequías más prolongadas que las vividas,



pero finalmente se constató que lo más efectivo era la reducción porcentual de todas las aportaciones, como se ha realizado aquí.

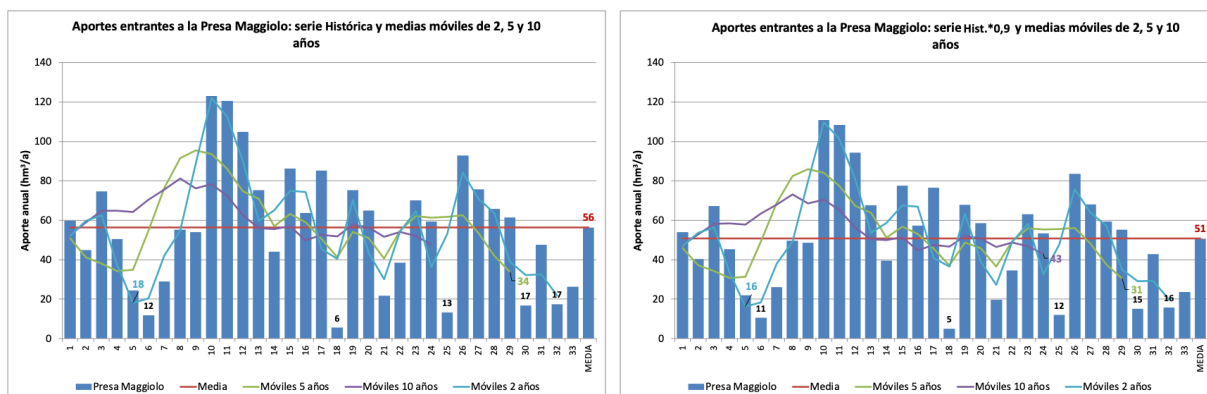


Figura 157 Aportes anuales y promedios del A° San Francisco en la presa de Maggiolo. Serie histórica corregida (izquierda) y misma serie reducida un 10%, serie de pésima (derecha).

No obstante, la situación es distinta respecto al caso metropolitano, porque en los aportes del A° San Francisco, casualmente, la serie escasez o alterada E3 es peor que la serie pésima por reducción constante de la serie histórica, no solamente en promedio, sino también en las simulaciones comparativas, hecho que antes no pasaba, aunque el promedio fuera mucho menor. Y es que ahora, en la serie escasez, se presentan mínimos anuales muy importantes.

Se comentará en las simulaciones, pero para ser coherentes con lo realizado hasta ahora y, ante la incertidumbre de los datos de las microcuencas que se están tratando en esta UGS de Ciudad de Minas, se procederá a mantener el mismo criterio y, por tanto, definir la serie pésima como la histórica reducida un 10%. Se hace notar que la **incertidumbre de los datos** que se destaca y es fruto de la falta de mediciones directas y continuas en el tiempo en cualquier zona de las cuencas de interés para la ciudad de Minas. Solamente se dispone de series simuladas a partir de un *downscaling* en puntos que distan mucho de las estaciones de calibración del modelo *Wflow* y, además están afectas del pequeño tamaño de las cuencas y los efectos locales que puede hacer no homogéneos los parámetros de la hidrología del A° San Francisco o del tramo de cabecera del río Santa Lucía respecto a los promedios del resto de la cuenca.

B) Variantes de la oferta extraordinaria

La decisión de aplicar la serie histórica reducida en un 10% como pésima, es precisamente necesaria para el análisis de las propuestas en el escenario consolidado ESC35. En este escenario de trabajo aparece:

- Una nueva fuente de recursos a incorporar en el modelo, la presa en el **Arroyo Campanero**, afluente en el tramo final del Arroyo San Francisco, aguas abajo de la ciudad de Minas, cerca de la unión con el Santa Lucía.
- La segregación de los aportes del **Arroyo Minas Viejas**, pequeña cuenca afluente del Arroyo San Francisco, aguas arriba del embalse de Maggiolo.

Ambos puntos carecen de simulación de series de aportes en el proyecto Euroclima+, con lo que no es posible incorporarlas con las modificaciones de los escenarios de generación de clima E3 y E4. En cambio, de todos los puntos de las alternativas 2035, escenario consolidado, de los que se requiere tener un criterio homogéneo en la determinación de cada una de las series de aportes, se dispone de caudales diarios a través del *Wflow* que posteriormente se



agrega a caudales mensuales para el modelo de GRH. Esos caudales son los denominados históricos y, por tanto, es posible construir la serie pésima de todos los puntos como una reducción del 10% de la serie histórica.

6.2.2 Variantes de la demanda

Las demandas aplicadas en el análisis de alternativas son mayoritariamente las determinadas la etapa de diagnóstico. En concreto, los valores consensuados para cada horizonte temporal han sido:

- **Actualmente**, horizonte **2025**, se aplican **2,5 hm³ anuales de agua producida para el sistema de Minas, en el conjunto de todas sus fuentes**. Se supone que el agua cruda necesaria en este caso es equivalente al agua elevada al sistema. En cualquier caso, la imprecisión en las series de aportes del caso de Minas, sin mediciones directas, es superior a afectar en un valor determinado el agua cruda respecto al agua elevada.
- En el horizonte **2035, consolidado**, que se toman **2,6 hm³ anuales** y en el **2045** se modelizan los escenarios con **2,77 hm³ anuales**, siguiendo un patrón de crecimiento del 0,5% anual.

De los datos mensuales históricos suministrados desde 2020, se presentan en la siguiente tabla el promedio de distribución mensual de la demanda. Complementariamente, en la **Figura 158** se aprecia la evolución anual de la demanda servida por OSE en la Ciudad de Minas entre 2020 y 2023 y con los promedios representativos. la decisión de que la demanda actual sea 2,5 hm³ es fruto de asumir la estabilización de la demanda de los últimos años con la sequía. En la misma figura se puede apreciar cómo se produjo el agua, por fuentes de suministro, ya fuera del A° San Francisco (fuente principal) desde usina Maggiolo, río Santa Lucía por la captación de la usina de respaldo (UPAs) o agua de pozo.

Tabla 28 Distribución de demandas medias mensuales servidas en el sistema Ciudad de Minas en la actualidad.

Mes	Promedio 2022-23	Q medio en m ³ /h	Patrón consumo
enero	244.110	328	9,79%
febrero	185.446	249	7,44%
marzo	239.989	323	9,63%
abril	175.856	236	7,06%
mayo	192.896	259	7,74%
junio	185.393	249	7,44%
julio	187.099	251	7,51%
agosto	196.638	264	7,89%
septiembre	197.964	266	7,94%
octubre	208.652	280	8,37%
noviembre	230.788	310	9,26%
diciembre	247.626	333	9,94%
Anual	2.492.456	285	100,00%

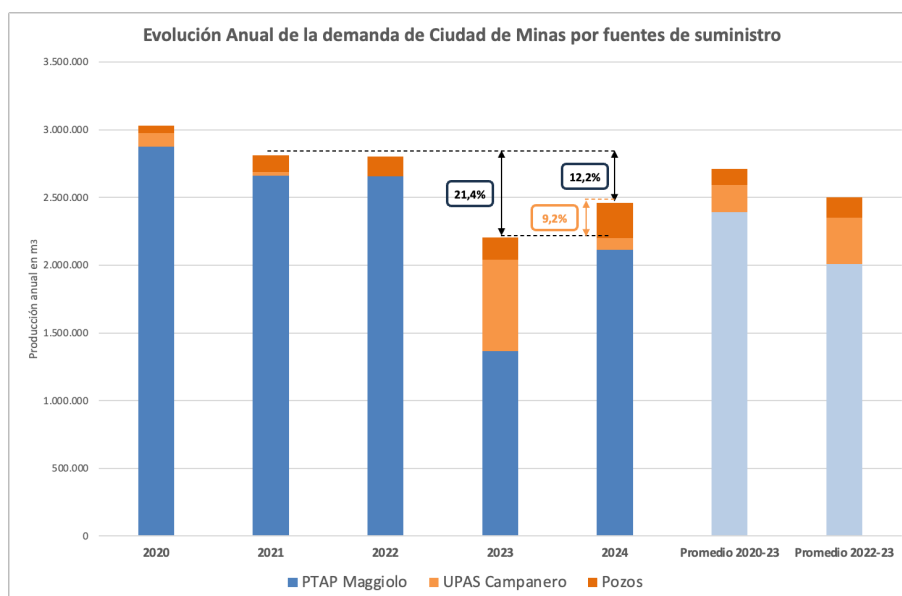


Figura 158 Evolución de la demanda anual de Ciudad de Minas junto a los promedios de los periodos 2020-23 y 2022-23.

En la figura se pueden apreciar otros aspectos relevantes si se compara la contracción de la demanda qué hubo en 2023 como de momento culmen de la sequía, con la evolución posterior a esta demanda durante el año 2024.

- El **ahorro máximo** que se produjo en el momento culmen de la sequía y con efecto posterior durante el año 2023 significó una reducción del **21,4%** de la demanda promedio de los dos años anteriores.
- Posteriormente comparando también con el promedio de los años 2021-22, el 2024 presenta una reducción de las demandas del 12,5%. Por tanto, es asumible que este valor represente la contracción permanente de la demanda fruto de las mejoras en los procesos de gestión de bombeo o mejoras puntuales de la red para reducir pérdidas (aumento de la eficiencia), así como de cambios de hábito en determinados usuarios. En cambio, la **diferencia entre las reducciones de ambos años es el 9,2%**, valor potencial de reducción de la demanda esperable ante un nuevo episodio de sequía, que se produciría con nuevas acciones en ese momento como un proceso de sensibilización al ahorro, mejora en la gestión de presiones, etc.
- Si se llevara a cabo un **programa de mejora de la eficiencia hídrica de la red a 10 años** vista, su implementación generaría un ahorro potencial de un 5% respecto al punto de partida, valor inferior al que se ha propuesto para Área Metropolitana. Esto es fruto de que el punto de partida del indicador I1, agua facturada respecto agua disponible, ha tenido una evolución muy favorable en el caso de la Ciudad de Minas, pasando del 67,9% en 2021 al 81,6%⁵ en 2023 y muy lejos del 45% que tiene la ciudad de Montevideo. Por eso se deduce que los beneficios de un programa de estas características no serían tan cuantiosos como en el caso del sistema de la capital.

⁵ Valores de los informes de ANC de la entidad. Al cierre de est documentos se desconocía la I1 de Minas del 2024, pero los responsables intuían que sería ligeramente peor que al año anterior, lo que denota la dificultad de mantener los indicadores altos. fruto un efecto de desconcientización de parte de la comunidad, pero también en la gestión del operador a nivel local que, al no trabajar en modo emergencia, pudo haber algún atraso o demora de respuesta en atención en tiempo y forma de algunas pérdidas.



Ante los datos expuestos se acuerda aplicar la siguiente tabla de ahorros probables en un nuevo episodio de sequía a través de la gestión de la demanda.

Tabla 29 Reducciones de demanda aplicables en la UGS Minas

Medidas aplicadas	Normalidad	Sequía Excepcional	Emergencia
Ahorro por medidas temporales de gestión de la demanda ante episodio de sequía	0%	9%	12%
Ahorro por medidas permanentes - Plan de mejora de la eficiencia a 10 años	5%	14%	17%

Conviene recordar que, **para garantizar estas contracciones de la demanda**, que se van a suponer efectivas en la modelización de escenarios alternativos, **hay que asumir acciones que requieren de su definición detallada**, que no se incluyen en esta consultoría, pero que podríamos listar en:

- Plan de sensibilización en el uso eficiencia del agua por parte de los usuarios, en especial el usuario residencial por el volumen sectorial que representa.
- Medidas de contención, prohibiciones de usos suntuosos y sectoriales de agua en la red llegados a un determinado nivel de sequía. Por ejemplo, prohibir lavar las calles, regar jardines, llenar piscinas, etc. En este apartado deberán incluirse los listados de usuarios vulnerables y usuarios con capacidad de aplicarse un cambio de origen del recurso o fuente de suministro, como los industriales que pueden tomar de pozos propios si le conviene a la red.
- Plan de mejora de la eficiencia de la red y reducción del agua no contabilizada (ANC).
- Valorar cambiar tarifas o límites de los tramos de facturación, penalidades por exceso de consumo o bonificaciones por ahorro.

6.2.3 Infraestructuras supuestas en los escenarios

Para el análisis de escenarios, además de las infraestructuras existentes se consideran algunos ajustes inminentes para incorporar en la actualidad y otras las infraestructuras de posibles proyectos a incorporar en el futuro para el escenario consolidado 2035.

A) Cambio inminente en la infraestructura existente en el sistema Minas

En el caso de la UGS ciudad de minas los aprendizajes de la sequía 2023 han permitido lanzar algunas actuaciones infraestructurales con carácter inmediato.

- Concretamente la producción teórica de la usina de respaldo, incluso teniendo caudal disponible en la captación del río Santa Lucía, no puede ser totalmente absorbida por la red, ya que existen limitaciones físicas que hacen que el área suministrada desde la UPAs, qué pasa por el tanque de Cerro Partido, tenga una demanda inferior a la producción máxima de las plantas. Se considera que de los 200 m³/h de producción máxima en la actualidad de forma instantánea solo pueden tomarse 175 m³/h. El aumento de la producción de las **UPAs** hasta su capacidad máxima (**25 m³/h más que actualmente**), se va a realizar mediante una aducción desde el tanque de Cerro Partido al Recalque de Las Delicias, una obra menor de unas 5 cuadras de conducción que se está por ejecutarse de forma inminente en 2025. Esta actuación **permitirá asumir más área de suministro** desde la UPAs, área que hoy es cautiva del agua



producida por la usina principal Maggiolo. Esta actuación se va a tomar como mejora ya aplicada a los escenarios ESC25 actuales.

- La construcción de **nuevos pozos** se encuentra en las previsiones de la gerencia de la zona, pero no existe un proyecto como tal. **El potencial** que se ha valorado es de sumar **hasta 40 m³/h** más de capacidad de extracción de aguas subterráneas. A nivel continuo se entiende que esa capacidad como media mensual seria de 30 m³/h.

B) Variantes de la infraestructura existente en A° San Francisco

En la cuenca del A° San Francisco se habla de dos actuaciones infraestructurales de mayor recorrido temporal que pudieran aliviar esta situación de escasez coyuntural en Minas.

- La posible **presa en A° Minas Viejas** dispone de un informe de DINAGUA con el esbozo de la idea a través de información secundaria existente. Se determina ubicación, superficie de cuenca, parcelas afectadas por la inundación y caracterización del vaso y entorno, así como una primera aproximación al caudal de avenida y diseño tentativo de la presa (5 m de altura) y su **volumen útil estimado (150.000 m³)**. Minas viejas es una subcuenca del A° San Francisco aguas arriba de la presa Maggiolo, por lo que hay que tener en cuenta que el agua que fluirá por esta presa ya va a Maggiolo hoy día, pero la nueva presa aumentaría la capacidad de regulación de la cuenca en un 20%.
- En el caso de la alternativa de la **presa en A° Campanero**, esta regularía una subcuenca mayor que la de Maggiolo que se une al A° San Francisco aguas abajo de la ciudad de Minas, cerca de la desembocadura al Santa Lucía. Por tanto, es un recurso nuevo, que hoy no se está utilizando. La propuesta se ha estudiado en las alternativas de la UGS Metropolitana, en particular en la ESC35-1, con una capacidad máxima de 15 hm³. En realidad, Minas necesitaría una parte de este volumen como elemento de seguridad ante sequías extremas o contingencias de sus fuentes. Se ha planteado una **reserva anual de 1 hm³**.

6.2.4 Restricciones aplicadas

A nivel de **caudal ambiental**, la política actual es rebalsar siempre que se puede. Llegado el momento de que el embalse desciende de la cota de su vertedero, se pasa a dar una fracción de caudal por desagüe de fondo y, llegada una situación que consideran ya preocupante, por ejemplo -50 cm respecto coronación de embalse, dejan de dar agua, esperando que otros arroyos y quebradas aporten el caudal ambiental necesario en el tramo final del A° San Francisco que ya entra inmediatamente en zona urbana.

Como se ha comentado en el sistema Metropolitano, la normativa Uruguay en materia de **caudales ambientales** incluye una metodología para el cálculo de dichos caudales en cualquier curso de agua del país, con estacionalidad marcada por cuatrimestres, es decir, tras valores distintos a lo largo del año, según lo que ya se presentó en el diagnóstico, y que no es totalmente conclusiva para determinadas infraestructuras. En la siguiente tabla se dan los valores de caudal ambiental según los diferentes percentiles que se comentaron en el **apartado 5.2.4.**, ya sean los que establece la norma para presas nuevas (q60) y captaciones (q80), los que parecerían más homogéneos tratándose de una presa existente desde hace muchas décadas para la toma Maggiolo (q80) y los más reducidos que podrían aplicarse en sequía si lo determinara un protocolo específico de sequía, y que estarían basados en el q90.



Tabla 30 Caudales ambientales en el Sistema de Ciudad de Minas en m^3/s según norma, basados en q_{60} para presas, q_{80} para tomas, y se añaden otros al q_{90} .

Punto	Curso fluvial	Base	AMJJ	ASON	DEFM
Presa Maggiolo	A° San Francisco	q_{60}	0,50	0,61	0,15
		q_{80}	0,21	0,36	0,07
		q_{90}	0,11	0,23	0,04
Captación UPAs en Cerro Arequita	Sta. Lucía	q_{80}	0,37	0,64	0,12
		q_{90}	0,20	0,40	0,07
Posible Presa de Minas Viejas	A° Minas Viejas	q_{60}	0,16	0,19	0,05
		q_{80}	0,07	0,11	0,02
		q_{90}	0,04	0,07	0,01

La realidad es que la mayoría de los meses del año de la serie histórica la presa de Maggiolo, rebalsa y, como se ha indicado al inicio es común dar por fondo también un caudal de continuidad cuando la presa inicia su vaciado, pero está con buen nivel de reservas. Con esta situación, se ha dotado al modelo de un nodo en cola de embalse que permite detraer el caudal ambiental al inicio del balance y, que éste no participe en la satisfacción de demandas ni en el incremento de reservas, permitiendo reproducir el procedimiento actual (**Figura 159**).

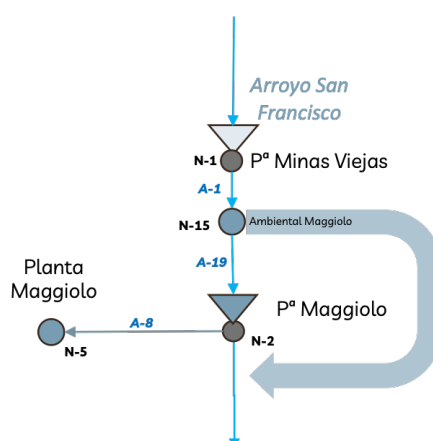


Figura 159 Detalle de la topología, embalse, nodos de demanda y arcos alrededor de la presa Maggiolo que permiten al modelo de GRH reproducir la captación de agua para la planta y el cumplimiento de restricciones ambientales.

La operación que reproduce el modelo es:

1. Al caudal de entrada en el embalse Maggiolo se le detrae el caudal ambiental y se le envía aguas abajo de la presa Maggiolo.
2. Si el caudal de entrada es inferior al caudal ambiental se envía todo el caudal aportante a aguas abajo de la presa, con lo que las demandas se sirven totalmente de reservas.
3. Este cálculo se aplica en los estados de sequía que se desee: normalidad, alerta, etc. o se puede anular y no dar caudal ambiental más que los rebalses naturales.
4. A su vez el caudal ambiental aplicado en cada estado puede ser basado en q_{80} o en q_{90} para relajar la presión en el sistema.



6.2.5 Normas o reglas de operación aplicadas

A) Situación actual

En estos momentos el abastecimiento de Ciudad de Minas cumple ya una regla de operación. A partir de una sequía previa en la que se instalaron las UPAs de la usina de respaldo, se requirió tener un mecanismo para decidir la incorporación del agua de estas plantas, que no iban a estar permanentemente prendidas. La regla se basa en descensos del nivel de agua en la presa Maggiolo que, teóricamente responde a unos días de servicio garantizado con el agua exclusivamente de la presa y sin aportes nuevos. Se presenta en la figura siguiente.

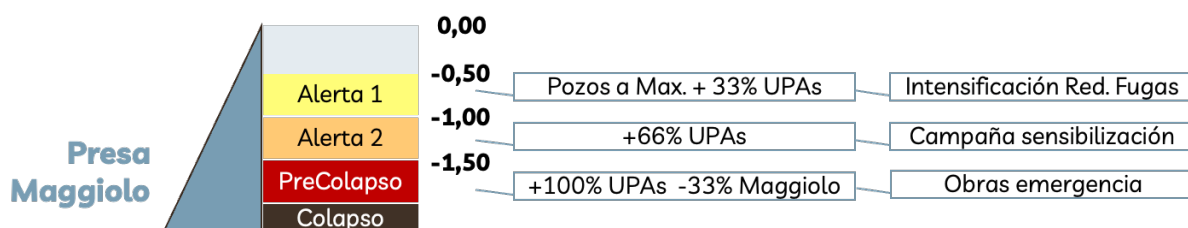


Figura 160 Esquema resumen de la regla de operación actual del sistema de abastecimiento de Ciudad de Minas.

La regla de operación no contempla la incorporación de agua de pozo, ni la limitación de incorporación de agua desde la usina de respaldo a la red de la ciudad de minas.

A partir de un nuevo relevamiento de la curva nivel – volumen del embalse Maggiolo (**Figura 161**), realizado en 1990 tras una fuerte sequía que permitió la topografía del vaso del embalse, se obtienen diferentes volúmenes asociados a las cuotas establecidas por el protocolo de sequía como se puede ver en la **Tabla 31**.

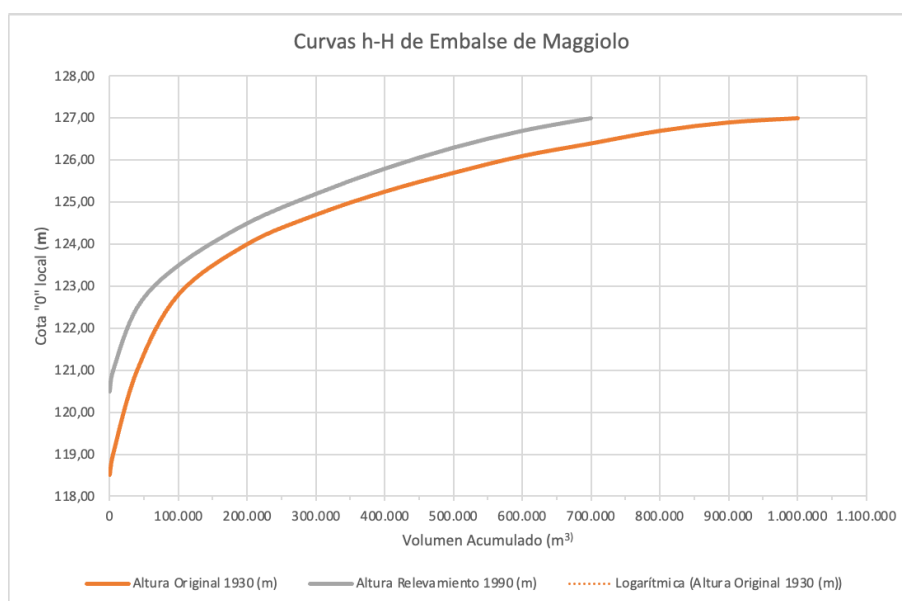


Figura 161 Curva del embalse de Maggiolo, proyecto original y relevamiento de 1990.

Aproximadamente los volúmenes relativos a esas cotas representan los días de suministro que define el protocolo ya sé que has actual. Según los responsables de OSE del sistema Ciudad de Minas, es posible que la capacidad máxima del reservorio de Maggiolo sea superior



a los 700000 m³ y más cercano 900.000 m³ cómo con lo que los valores establecidos estarían del lado de la seguridad.

Tabla 31 Niveles definidos para las situaciones de sequía por la regla de operación y volúmenes equivalentes de reservas estratégicas,

Nivel desde la coronación (m)	Cota de la lámina de agua (m)	Volumen equivalente (m ³)	Días de suministro exclusivamente de Maggiolo y sin aportes
0	127	700.000	~100
-0,50	126,50	617,183	~90
-1,00	126,00	411,456	~60
-1,50	125,50	205.728	~30
-3,50	123,50	102.864	~15
-6,50	120,50	0	0

En concreto, la propuesta de orden o **prelación actual** de fuentes para satisfacer la demanda sería, primero presa Maggiolo, posteriormente pozos y en últimas, introducir el agua de la usina de respaldo (UPAs).

B) Situación consolidada

En el caso del ESC35, escenario consolidado, donde se incorporarían presas nuevas, se procedería de la siguiente manera:

- Embalse de **Minas Viejas**, se incorpora en primera instancia junto con presa Maggiolo potenciando tener siempre una proporción equivalente de llenado en ambas presas.
- Embalse de **Campanero**, en realidad trabajaría con una reserva estratégica de 1 hm³ del conjunto de una capacidad de 15 hm³ en el proyecto previsto para el área metropolitana. Este volumen se supondrá renovado todos los años sí las aportaciones son iguales o superiores.

6.3 Análisis de alternativas del escenario actual 2025

Como resultado de todas las combinaciones inicialmente acordadas con la comisión de seguimiento y, posteriormente modificadas en las sesiones de trabajo, se han calculado y comparado **múltiples alternativas** de las cuales se han sintetizado 2 para el **escenario actual** además de la situación base. Para el **escenario consolidado** se han analizado 4 alternativas en el caso del sistema Ciudad de Minas.

En concreto los escenarios actuales modelizados son los que se presentan en la **Figura 162** con la caracterización de las variables en cada caso. En resumen:

- **ESC25-0**, denominado base. Este escenario muestra el cumplimiento de las garantías de servicio si, con la demanda esperada para el 2025 y las restricciones ambientales que establece la norma, el sistema enfrentará unas aportaciones equivalentes a las históricas y se aplicara el protocolo que actualmente está vigente.



- **ESC25-1**, incorpora las obras de mejora de la red que están en curso y que estarán operativas de forma inminente, permitiendo la ampliación del abastecimiento desde la usina de respaldo. También duplica la capacidad de aportación de agua subterránea, ya que se está asumiendo que se continuarán perforando nuevos pozos de extracción. Así mismo, en este caso se considera no aplicar controles ambientales a partir del escenario de alerta. Las aportaciones utilizadas en este escenario son la denominada serie escasez, que provienen del generador de tiempo meteorológico del proyecto Euroclima⁺, en su escenario E3.
- **ESC25-2**, caso anterior, pero substituye la serie escasez por la serie pésima de aportaciones, construida como una reducción sistemática del 10% de los aportes históricos.



PES para el sistema de agua potable del área Metropolitana (de Montevideo) y del
Arroyo San Francisco en Ciudad de Minas, Uruguay
Informe Análisis de Alternativas y Protocolo del Escenario Objetivo

	Oferta	Demanda	Infraestructura	Restricciones	Normas
Esc25-0 Base	Histórica	Demanda 2025	Infraestructura Actual (no ampliada)	Embalse q80	PM-P-U (Actual)
Esc25-1 Sistema Actual ante Escasez hídrica con Medidas de Sequía	Serie Escasez + Ampliación pozos	Demanda 2025 + Niveles 1 y 2 contrac. demanda	Infraestructura Actual + Incr. Pozos + Recalque e Incr. UPAs	Embalse q80 solo si rebalsa Maggiolo	PM-P-U
Esc25-2 Sistema actual ante hidrología Pésima con Medidas de Sequía	Serie Pésima + Ampliación pozos	Demanda 2025 + Niveles 1 y 2 contrac. demanda	Infraestructura Actual + Incr. Pozos + Recalque e Incr. UPAs	Embalse q80 solo si rebalsa Maggiolo	PM-P-U

Figura 162 Resumen de caracterización de la combinación de variables de cada alternativa modelizada en el escenario actual 2025 en Minas.



6.3.1 Escenario ESC25-0, base

La primera propuesta de escenario consiste en asumir la demanda 2025 ($2,5 \text{ hm}^3$), unos aportes como los históricos y aplicar el protocolo actual con las limitaciones que parecen existir en la distribución del agua proveniente de la usina de respaldo (UPAs) para caudales máximos y, sin modificar las condiciones de explotación de los pozos o la reducción de producción de la planta Maggiolo en el escenario más intenso de sequía (ver **Figura 160**). La nomenclatura utilizada por OSE se transforma aquí a la nomenclatura general que se viene usando en el documento y que es coincidente con la expuesta en el protocolo nacional de sequías. Por tanto, no se habla de prealerta, alerta y pre-colapso, sino de alerta, sequía y emergencia. Como también se hizo en área metropolitana, este escenario base incorpora ya la obligación ambiental de garantizar un caudal en las captaciones y presas. En el caso de la presa Maggiolo, se le aplicará un caudal ambiental basado en el q80 y no en el q60 de la norma. El motivo es que, de un lado, se trata una presa derivadora con un volumen de regulación pequeño que puede ser asimilada a una captación y, por otro lado, siendo una presa muy antigua se le debe determinar el caudal ambiental *ad hoc*. En la figura siguiente se resumen las hipótesis de trabajo de esta simulación.

	NORMALIDAD	ALERTA	SEQUÍA	EMERGENCIA
Maggiolo	Demanda objetivo $2,5 \text{ hm}^3$	Producción complementaria	Producción complementaria	$-1/3 * 250 \text{ m}^3/\text{h}$
Q ambiental	Basado en q80	Basado en q80 si hay caudal	Basado en q80 si hay caudal	Basado en q80 si hay caudal
Pozos	$30 \text{ m}^3/\text{h}$	$30 \text{ m}^3/\text{h}$	$30 \text{ m}^3/\text{h}$	$30 \text{ m}^3/\text{h}$
UPAs	No aplica	$1/3 * 175 \text{ m}^3/\text{h}$	$2/3 * 175 \text{ m}^3/\text{h}$	$175 \text{ m}^3/\text{h}$

Figura 163 Resumen de las hipótesis de trabajo de la simulación ESC25-0 de UGS Minas.

En la **Figura 164** se observa la posible evolución de las reservas a nivel mensual a lo largo de todo el período de simulación, con numerosos vaciados y largos períodos sin agua en el embalse. Eso tiene como consecuencia el incumplimiento de la garantía de demanda con fuertes déficits que se dan en diversos años.

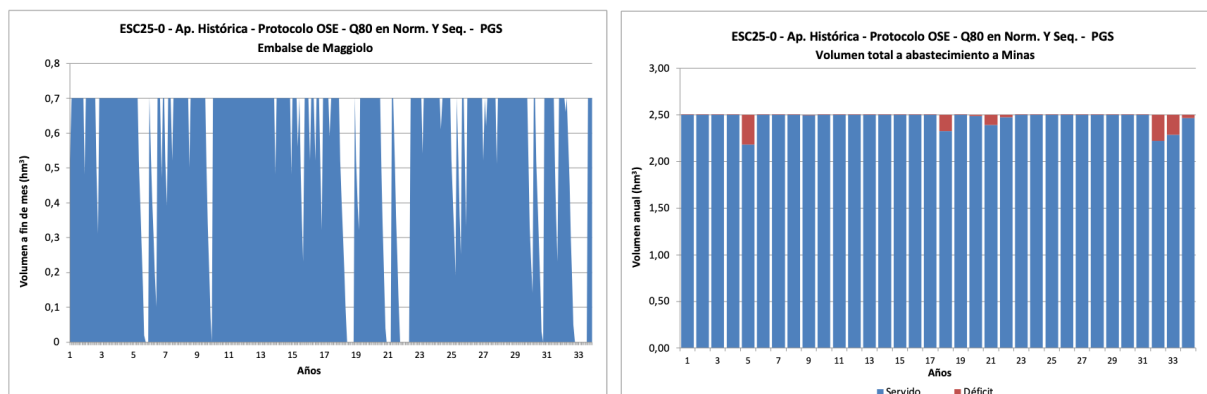


Figura 164 Simulación ESC25-0 de la UGS Minas. A la izquierda, la evolución de las reservas embalsadas en presa Maggiolo. A la derecha, demanda servida y déficit anual.



Analizando cómo se ha dado el mix de recursos de las diferentes fuentes de suministro para alcanzar la totalidad de la demanda, vemos que incluso en un período de fuerte contribución de las UPAs, éstas pueden no llegar a la capacidad máxima de producción por falta de recursos en la cuenca del río Santa Lucía. Es lo que ocurre durante la primera parte del año 33 de la simulación donde habiendo necesidad de más agua las UPAs no van a pleno rendimiento (ver figura al pie).

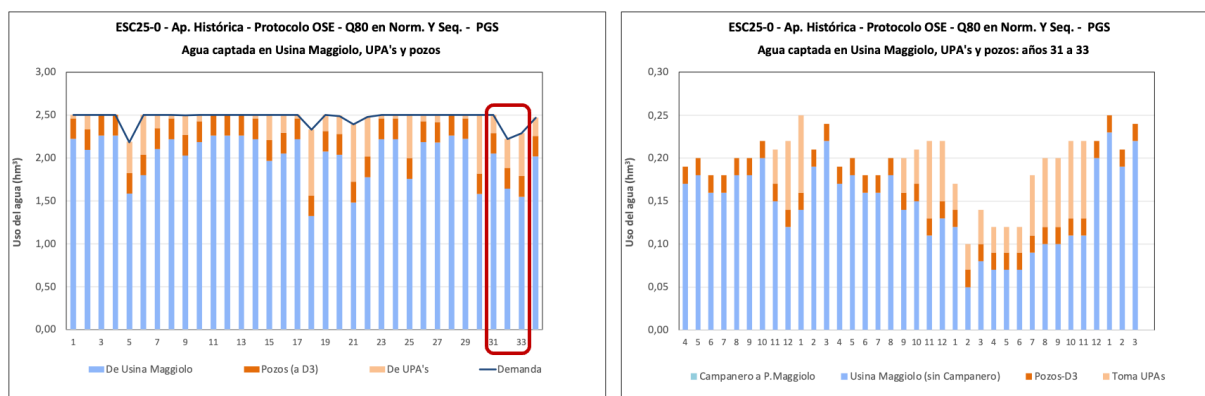


Figura 165 Simulación ESC25-0 de la UGS Minas. A la izquierda demanda servida anual como suma de volúmenes de distintas fuentes de suministro. A la derecha, detalle mensual de los años 31 al 33.

Si se analiza la evolución de los recursos y el destino de éstos diferenciando por usos, como se presenta en el balance de la **Figura 166**, se puede apreciar que la mayor parte de los volúmenes rebalsan sin uso, pero que hay una parte importante del agua desembalsada que tiene los objetivos ambientales y, se trata de un volumen anual mayor que la propia demanda de la planta Maggiolo. Además, en años muy secos donde se ha presentado déficit del abastecimiento, no ha habido rebalses o éstos han sido solamente algunos meses del año, se puede observar cómo se han distribuido caudales ambientales procedentes de reservas. En la gráfica de la derecha de la misma figura se puede ver que, aunque haya episodios de falta de recurso, en general los aportes del A° San Francisco son muy superiores a la demanda de Minas, habiendo grandes excedentes y pudiéndose cumplir el caudal ambiental q80 la mayoría de los meses de simulación. La excepción ha sido cuando tampoco había caudal para garantizar todo el suministro de agua potable. Pero si comparamos con la evolución de las reservas de la parte superior veremos bajadas de reservas que no llegan al vaciado donde sí se han dado caudales ambientales, o como mínimo todo el caudal entrante al embalse se ha desembalsado como caudal ambiental. Según lo expuesto en la **Figura 159**, si hay agua igual o inferior al caudal ambiental, primero se detrae y luego se satisface la demanda de usuarios.

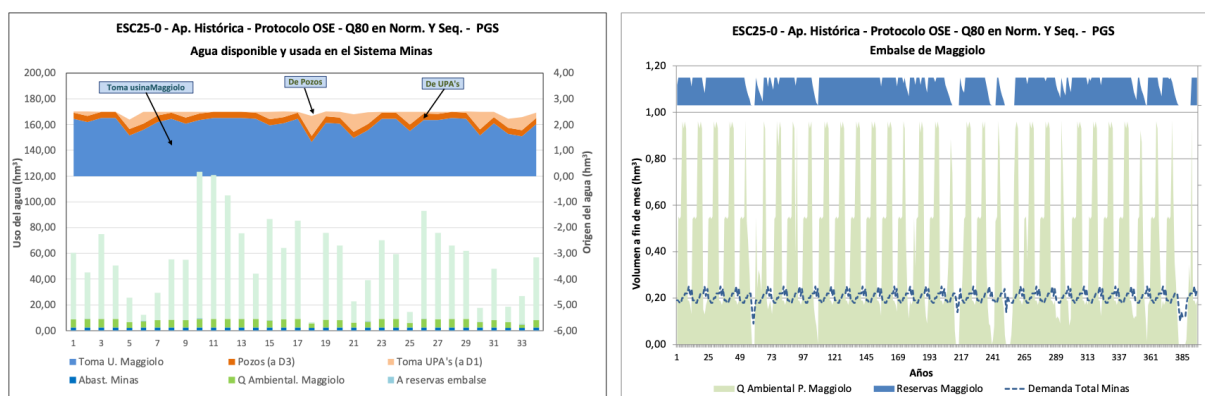


Figura 166 Simulación ESC25-0 de la UGS Minas. A la izquierda, balance anual del sistema, orígenes y destinos del agua. A la derecha, grado de cumplimiento mensual del caudal ambiental en presa Maggiolo con superposición de la evolución de las reservas.



Aplicando los umbrales equivalentes en términos volumétricos a los que se usan hoy día en forma de niveles de descenso respecto a la coronación de la presa Maggiolo, se pueden contabilizar la cantidad de meses de la simulación que se ha estado en alguno de los estados de sequía o escasez. En concreto el 14,3% del tiempo se está en una situación de excepcionalidad ya sea alerta, sequía o emergencia, pero el valor más grande es la persistencia del estado de emergencia en el sistema con un 6,2% del tiempo, de los cuales realmente una parte importante del tiempo está en colapso (embalse por debajo de 100.000 m³).

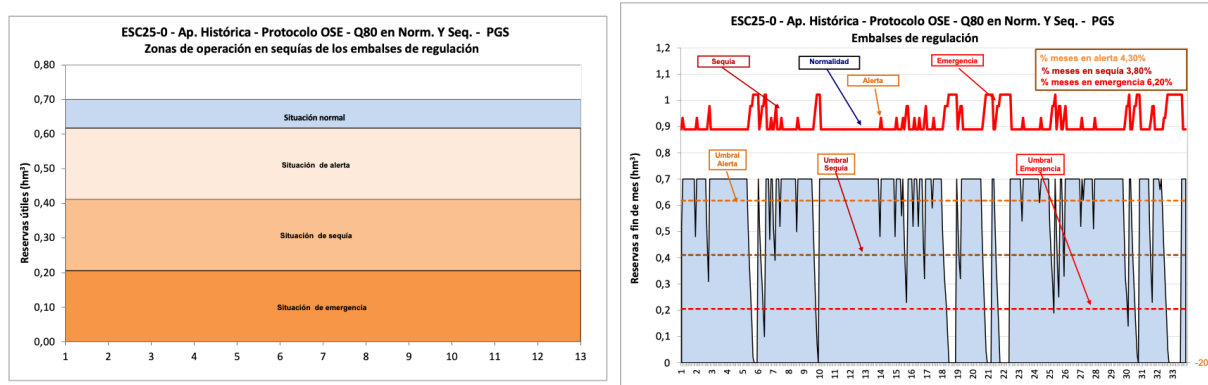


Figura 167 Simulación ESC25-0 de la UGS Minas. A la izquierda, posibles umbrales de definición de estado hidrológico. A la derecha, evolución en los niveles de reservas en presa Maggiolo, umbrales y línea superior como contador de meses en cada estado de sequía.

Esta **situación es inaceptable**, representa que el sistema de Minas no es capaz de servir todos los años el abastecimiento ni los caudales ambientales. Y son estos caudales ambientales que se vienen cumpliendo siempre que haya un caudal entrante en la presa, los que lastran la gestión de las sequías prolongadas o persistentes, ya que consumen los pocos recursos que llegarían para la usina principal de Maggiolo. A eso hay que sumar que en esos momentos de sequía intensa las UPAs pueden no tener el recurso necesario para compensar la bajada de producción desde el Arroyo San Francisco.

6.3.2 Escenario ESC25-1

Ante el fracaso de este escenario base se plantean diversas modificaciones en las hipótesis de partida. La primera de ellas sería complementar el protocolo con acciones de contención de la demanda, es decir, no prever una reducción de la producción de la usina principal, sino trasladar el cambio de comportamiento a una demanda reducida por efecto de los procesos de concientización ciudadana y optimización de la gestión de las presiones de la red y detección temprana de fugas y fraudes.

	NORMALIDAD	ALERTA	SEQUÍA	EMERGENCIA
Demanda	Demanda objetivo 2,5 hm ³	Demanda objetivo 2,5 hm ³	-9%	-12%
Q ambiental	Basado en q80 si hay caudal	No aplica	No aplica	No aplica
Pozos	60 m ³ /h	60 m ³ /h	60 m ³ /h	60 m ³ /h
UPAs	No aplica	$\frac{1}{3}$ *200 m ³ /h	$\frac{2}{3}$ *200 m ³ /h	200 m ³ /h

Figura 168 Resumen de las hipótesis de trabajo de la simulación ESC25-1 de UGS Minas.



En esta oportunidad se somete al sistema a una serie de escasez, generada por la persistencia de una precipitación un 5% menor y una evapotranspiración un 10% mayor a la de la serie histórica. En segundo lugar, se incorporarán las actuaciones o mejoras infraestructurales que ya están en marcha y de las cuales se prevé su puesta en funcionamiento de forma inminente. Eso se traslada en un aumento de la capacidad de extracción de agua subterránea, mediante nuevos pozos y el incremento del área servida desde la usina de respaldo, a través de la conexión del tanque de Cerro Partido con el recalque Las Delicias. No hay que olvidar que en esta simulación no se aplicarán caudales ambientales a partir del estado de alerta y, en ningún caso se aplican en el punto de la toma de las UPAs en Santa Lucía.

En las siguientes gráficas podemos observar la evolución de las reservas en la presa Maggiolo y de la demanda servida en color azul, demanda deficitaria en barra de color rojo para esta hipótesis. Se está superponiendo los valores de la simulación del escenario base en línea de color rojo. La situación mejora substancialmente respecto al escenario anterior, incluso con la serie de aportaciones tan negativa, pero no se evita que la demanda presente algún fallo y un vaciado puntual de 1 mes.

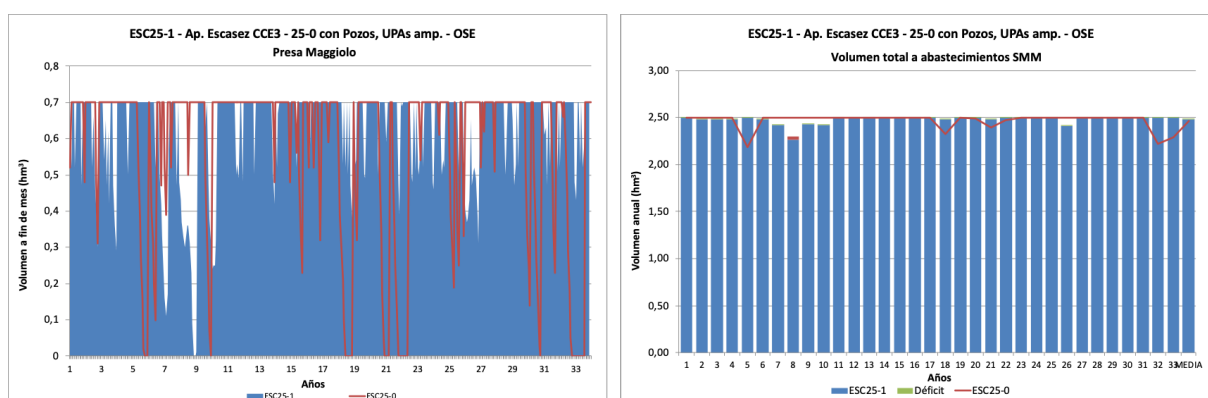


Figura 169 Simulación ESC25-1 de la UGS Minas, comparativa con superposición de los valores del escenario base ESC25-0. A la izquierda, la evolución de las reservas embalsadas en presa Maggiolo. A la derecha, demanda servida y déficit anual.

En la **Figura 170** se aprecia que, si bien muchos descensos parciales de las reservas del embalse no llegan a los escenarios más intensos de gestión de sequías, todos los años hay uno o varios meses en los que se está incorporando agua de las UPAs. Se hace frente a las aportaciones escasez con una fuerte participación del agua del Santa Lucía (usina de respaldo) y la mayor aportación permanente de agua subterránea. El período más seco en esta hipótesis es entre los años 6 y 8 de simulación.

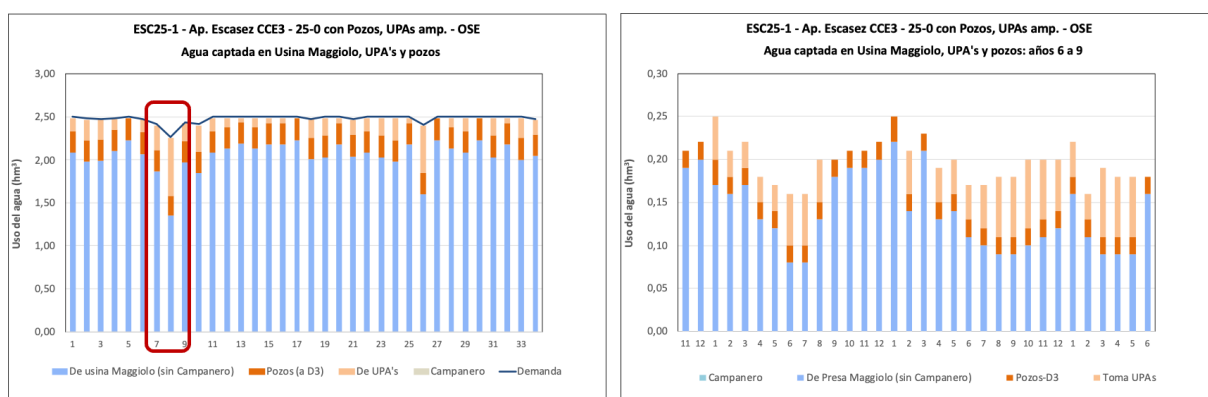


Figura 170 Simulación ESC25-1 de la UGS Minas. A la izquierda demanda servida anual como suma de volúmenes de distintas fuentes de suministro. A la derecha, detalle mensual de los años 6 a 9.



Lógicamente ahora se destinará menos agua al caudal ambiental, como se aprecia perfectamente en las imágenes siguientes donde se compara la evolución del caudal ambiental en la presa Maggiolo entre el escenario base y el escenario actual. En las sequías intensas se dan períodos muy largos, que superan incluso un año, donde no se dan los caudales ambientales, es decir, aguas abajo de la presa solamente habría los aportes de los tributarios y arroyos menores que se van incorporando al A° San Francisco. En contraposición, en la parte superior de las figuras, se observa como la evolución de las reservas en Maggiolo es mucho más estable que en el escenario base.

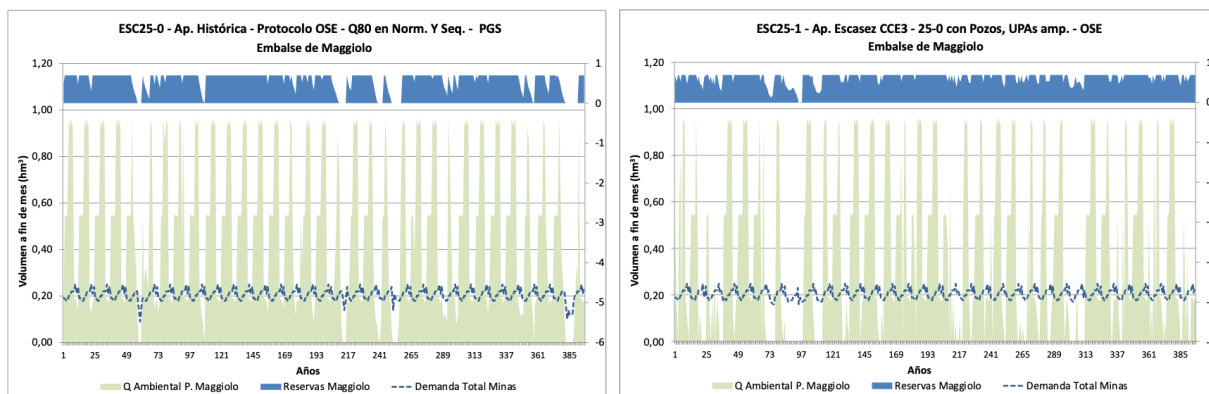


Figura 171 Simulación ESC25-1 de la UGS Minas, grado de cumplimiento mensual del caudal ambiental en presa Maggiolo con superposición de la evolución de las reservas. A la izquierda, los valores del escenario base ESC25-0 y a la derecha, el escenario actual ESC25-1.

La mayoría de los episodios de sequía se compensan o superan con medidas de los estados de alerta y sequía que suman un total del 13% de los meses de simulación. Las entradas en emergencia son minoritarias y, con poco menos del 1% del tiempo en ese estado, pero no son suficientes para evitar un mes con el embalse vacío en el episodio más intenso (año 9).

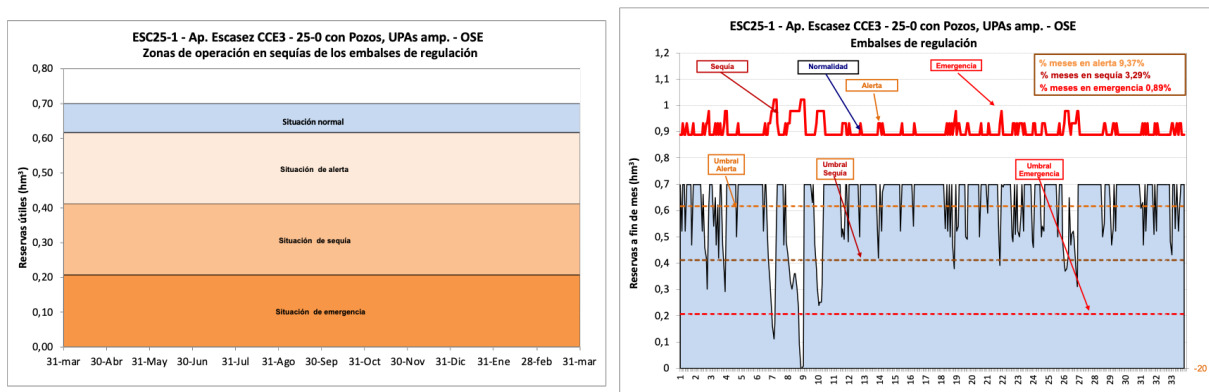


Figura 172 Simulación ESC25-1 de la UGS Minas. A la izquierda, posibles umbrales de definición de estado hidrológico. A la derecha, evolución en los niveles de reservas en presa Maggiolo, umbrales y línea superior como contador de meses en cada estado de sequía.

En conclusión, este escenario ESC25-1 demuestra que, incorporando las nuevas mejoras infraestructurales y ajustando el protocolo de sequías actual, el sistema de abastecimiento de la ciudad de Minas podría hacer frente a una sequía peor que las vividas, como representa el escenario escasez, incluso asumiendo el caudal ambiental en normalidad basado en el q80. No obstante, hay un fallo puntual en un mes que, aunque sea testimonial de nota la fragilidad del sistema.



6.3.3 Escenario ESC25-2

Conviene analizar las mismas hipótesis de trabajo que en el escenario anterior, pero sometidas a las aportaciones pésimas, es decir, homogéneamente con lo realizado en el sistema del área metropolitana, una serie de aportaciones equivalente a reducir en un 10% la serie histórica. Esta hipótesis de trabajo no cambia ni la demanda, ni la regla de operación, ni los umbrales, ni la aplicación de los caudales ambientales respecto al escenario anterior ESC25-1. Conviene recordar como se ha expuesto en el **apartado 6.2.1** de variantes de la oferta, que casualmente en la construcción de los escenarios escasez y pesimista siguiendo la misma metodología que en la UGS Metropolitana, han resultado inversos, es decir, tiene peores consecuencias en la explotación del sistema el escenario aportaciones escasez que el que hemos llamado pesimista. Como también ya se ha expuesto en ese apartado, por razones de homogeneidad y dada la incertidumbre que estamos manejando en los datos de aportaciones, se mantendrá nomenclatura y, por tanto, la serie de referencia pésima será la generada a través de una reducción de la histórica.

	NORMALIDAD	ALERTA	SEQUÍA	EMERGENCIA
Demanda	Demanda objetivo 2,5 hm ³	Demanda objetivo 2,5 hm ³	-9%	-12%
Q ambiental	Basado en q80 si hay caudal	No aplica	No aplica	No aplica
Pozos	60 m ³ /h	60 m ³ /h	60 m ³ /h	60 m ³ /h
UPAs	No aplica	$\frac{1}{3} * 200 \text{ m}^3/\text{h}$	$\frac{2}{3} * 200 \text{ m}^3/\text{h}$	200 m ³ /h

Figura 173 Resumen de las hipótesis de trabajo de la simulación ESC25-2 de UGS Minas.

En la figura siguiente se superpone las salidas de esta simulación con las del escenario base ESC25-0. Puede observarse que se mejoran tanto la evolución de los embalses como el nivel de servicio del abastecimiento de la ciudad de Minas no presentándose ningún déficit. Las reservas solamente se aproximan una vez al agotamiento del agua en la presa Maggiolo, pero no llega a vaciarse.

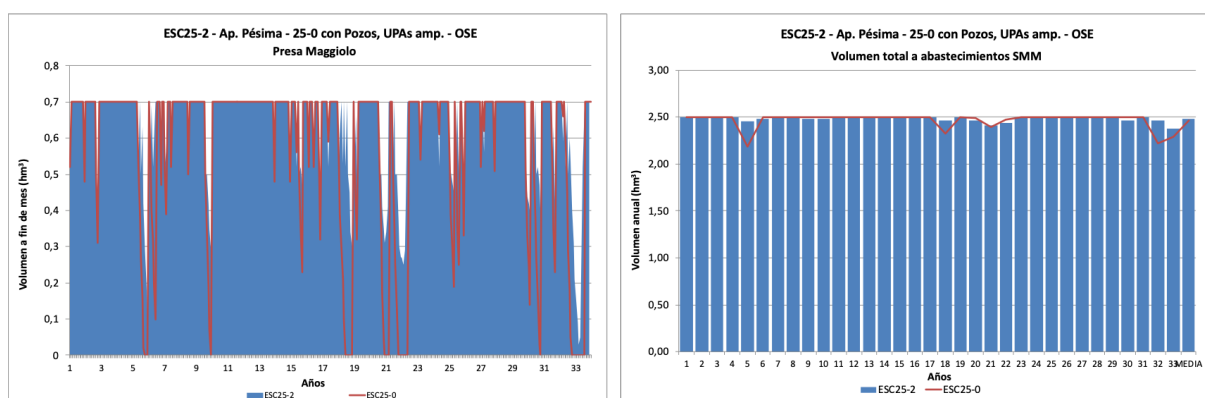


Figura 174 Simulación ESC25-2 de la UGS Minas, comparativa con superposición de los valores del escenario base ESC25-0. A la izquierda, la evolución de las reservas embalsadas en presa Maggiolo. A la derecha, demanda servida y déficit anual.

Complementariamente, en el gráfico de fuentes de suministro (**Figura 175**) se observa la aportación de agua desde la usina de respaldo la mayoría de los años, no todos, y en cualquier caso en una proporción menor a la del escenario anterior de la serie escasez (ESC25-1). En el periodo más intenso de sequía puntualmente algunos meses la usina no puede dar toda la



producción hídrica esperada por falta de recurso en la captación (meses 1 a 6 del año 33 de simulación), pero el efecto de las aportaciones preventivas, tanto desde la usina de respaldo como los pozos permiten tener suficiente agua en la presa Maggiolo para ajustar la demanda desde la usina principal y no se genera ningún déficit.

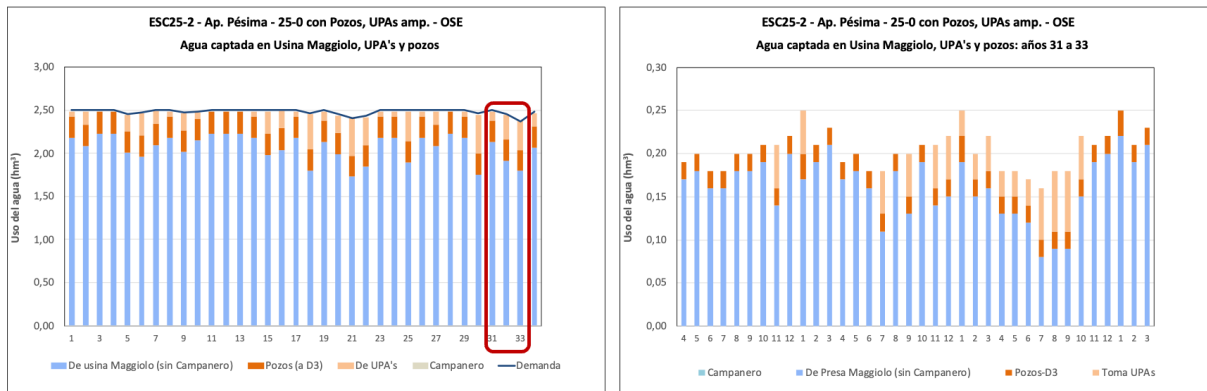


Figura 175 Simulación ESC25-2 de la UGS Minas. A la izquierda demanda servida anual como suma de volúmenes de distintas fuentes de suministro. A la derecha, detalle mensual de los años 31 a 33.

Como en el caso anterior el cumplimiento de los caudales ambientales es inferior al del escenario base, pero salvando las intensas sequías, la mayoría de los meses logra cumplirse.

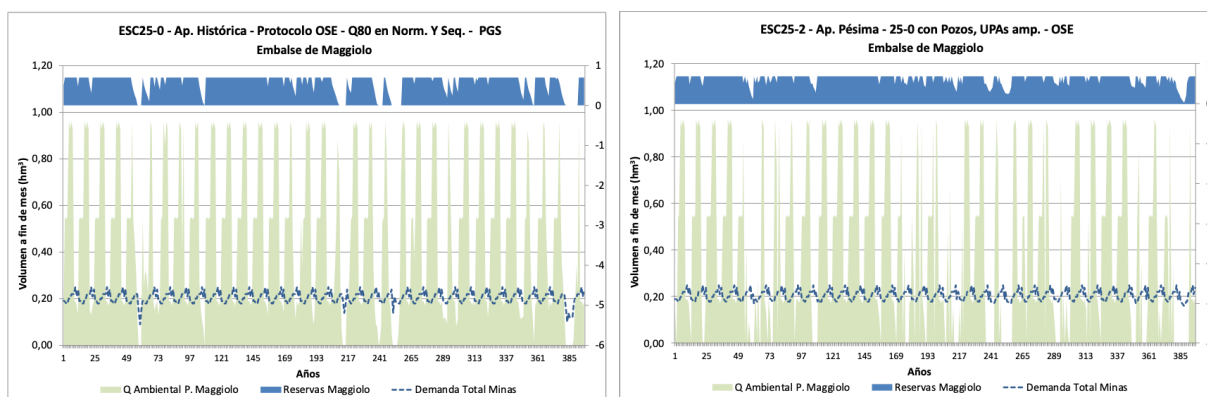


Figura 176 Simulación ESC25-2 de la UGS Minas, grado de cumplimiento mensual del caudal ambiental en presa Maggiolo con superposición de la evolución de las reservas. A la izquierda, los valores del escenario base ESC25-0 y a la derecha, el escenario actual ESC25-2.

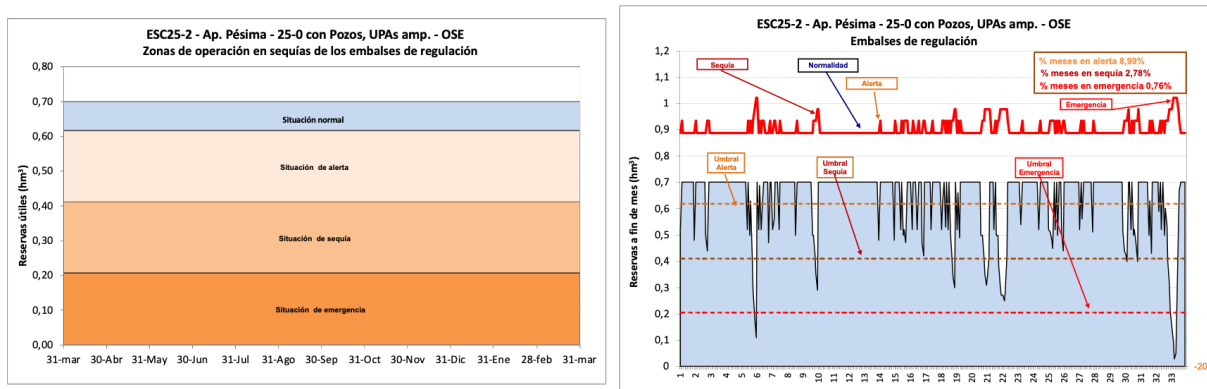


Figura 177 Simulación ESC25-2 de la UGS Minas. A la izquierda, posibles umbrales de definición de estado hidrológico. A la derecha, evolución en los niveles de reservas en presa Maggiolo, umbrales y línea superior como contador de meses en cada estado de sequía.



Se consigue superar la mayoría de los episodios de sequía con medidas de alerta y sequía (un 12% de los meses) y se entra en emergencia menos del 1% sin que esto genere un déficit del servicio. Es algo mejor que el de escasez, pero se adopta por coherencia con el resto.

Consecuentemente este es un escenario que cumple los requisitos clave que son poder superar un episodio peor al vivido con garantías de servicio pleno para el abastecimiento de la ciudad de minas y cumpliendo el caudal ambiental en los meses en normalidad.

6.3.4 Resumen de las alternativas ESC25 y selección del escenario actual objetivo

En el trabajo de definición de alternativas y la simulación de la posible evolución del servicio de abastecimiento de minas se ha elegido el **volumen de las reservas de agua en presa Maggiolo como indicador que desencadena la gestión adaptativa a la sequía**. Es una variante de la que ya se viene actualmente utilizando de los niveles de descenso de la lámina de agua en el embalse respecto a la coronación de la presa. Trabajar con uno u otro indicador es equivalente si está clara la curva de transformación nivel-volumen; en este estudio se ha utilizado la que se presenta en la **Figura 161**.

El proceso de gestión adaptativa a través del protocolo de sequía se ha escalonado la incorporación de la oferta complementaria ya sea de agua de pozo o de la usina de respaldo con agua del río Santa Lucía (UPAs). A la vez también se ha escalonado una reducción de la demanda que partiendo de la demanda objetivo 2025, va adaptándose a valores inferiores, fruto de campañas en sensibilización y una operación intensiva para incrementar la eficiencia de la red y la reducción de las pérdidas durante los eventos de sequía. El escenario de alerta es fundamental para preparar estas campañas y programas y garantizar así sus efectos en los escenarios subsiguientes. Este proceso adaptativo conlleva renunciar a los caudales ambientales cuando el sistema traspasa el umbral de alerta.

La diferencia del caso de metropolitana, donde el objetivo era determinar los valores de los umbrales para evitar las emergencias y minimizar las estadías en sequía o con medidas excepcionales, en este caso se a partir de unos umbrales ya definidos por OSE y el proceso ha sido ajustar la incorporación de las medidas para garantizar que el sistema es seguro desde el punto de vista hídrico, incluso para aportaciones peores a la serie histórica.

En la **Tabla 32** se presentan las variables clave de las alternativas el escenario actual del sistema de la ciudad de minas para poder comparar los resultados y determinar cuál es el escenario objetivo que se debe proponer. Como en casa anteriores se destacan en negrita los valores más positivos y en color naranja los valores más negativos.

Tabla 32 Comparativa de las variables clave para cada alternativa del escenario 25 en UGS Minas.

VARIABLE	ESCENARIO	ESC25-0	ESC25-1	ESC25-2
Demanda Minas aplicada (hm ³)		2,500	2,500	2,500
Demanda servida (hm ³)		2,465	2,479	2,483
Déficit máximo (hm ³)		0,317	0 (0,037)	0 (0,002)
Q Ambiental Maggiolo anual (hm ³)		5,701	4,531	4,793
% meses en alerta		4,30%	9,37%	8,99%



% meses en sequía	3,80%	3,29%	2,78%
% meses en emergencia	6,20%	0,89%	0,76%
Reservas mínimas en Maggiolo (hm ³)	0,000	0,000	0,111
Aporte medio anual usina respaldo (UPAs) (hm ³)	0,211	0,166	0,152
Aporte máximo anual usina respaldo (UPAs) (hm ³)	0,767	0,679	0,445

De todas las alternativas analizadas se pueden concretar las siguientes conclusiones:

- El sistema actual no puede dar el servicio de **caudal ambiental basado en q80** más allá de la situación de **normalidad** y, en cualquier caso, incluso en normalidad, si el caudal de entrada es menor no se superará este valor entrante y **no se podrán destinar reservas para dar el caudal ambiental**.
- La incorporación de las **ampliaciones de los pozos** y de la capacidad de envío de agua de la usina de respaldo hasta **maximizar la producción de las UPAs**, son obras fundamentales que no deben demorarse porque son clave para poder superar episodios de sequía peores al vivido en 2023.
- Con esas hipótesis, los **umbrales actuales** aplicados a este protocolo de sequía ajustado **permiten afrontar una sequía peor a la vivida**, ya sea la de derivada del CC en E3 estudiada por DINAGUA o la histórica alterada con una reducción constante del 10% de las aportaciones (ESC25-2).
- En congruencia a lo realizado en AM, se decide que la serie **pésima** sea la histórica alterada con una reducción del 10%.
- Aunque es conveniente promocionar **programas de mejora de la eficiencia de la red y reducción del agua no contabilizada**, el punto de partida del sistema Minas es mucho mejor que el del área metropolitana y, por tanto, en esta primera etapa inmediata se asumen este tipo de medidas como una mayor carga de control y gestión durante el evento, pero no fue un programa a 5 o 10 años. En cualquier caso, hay que recomendar que no se abandone la dedicación técnica destinada al manejo de la red para que el índice de ANC como mínimo se mantenga y no empeore.

Por tanto, el escenario objetivo recomendado es el correspondiente al ESC25-2.

Se destaca que el punto más débil y que genera más **incertidumbre** en este análisis es la baja confiabilidad de la información hidrológica utilizada, toda ella soportada en modelización hidrológica, pero sin medidas constantes de una red de monitoreo en la zona de estudio.



6.4 Análisis de alternativas del escenario consolidado 2035

Al finalizar el apartado anterior y con las conclusiones establecidas, se puede decir que el sistema, aunque manifiesta cierta robustez para hacer frente a sequías extremas, se encuentra muy al límite en determinados casos, todo eso amenizado por una información hidrológica con baja confiabilidad. Por tanto, es muy necesario poder valorar actuaciones a medio plazo que aumenten los niveles de garantía, permitan asumir nuevas demandas y los cumplimientos ambientales completos. Dado que se trata de escenarios a medio y largo plazo, las series de aportaciones utilizadas en todos los casos será la serie pésima, que como ya se ha comentado es la generada a través de reducir la serie histórica un 10%.

En concreto, los escenarios consolidados modelizados responden a este ejercicio de valorar el impacto de nuevas infraestructuras y son los que se presentan en la **Figura 178** con la caracterización de las variables en cada caso. En resumen:

- **ESC35-1**, es un escenario en el que se plantea la construcción de una pequeña presa en el Arroyo Minas Viejas, un pequeño afluente del Arroyo San Francisco, aguas arriba del embalse de Maggiolo.
- **ESC35-2**. En esta alternativa se valora incorporar un volumen del arroyo Campanero que estaría regulado por una presa del mismo nombre. La presa Campanero tendría una función que sobrepasa el área local y que permitiría la regulación para metropolitana. En este caso se supone que no sería necesaria la usina de respaldo (UPAs).
- **ESC35-3**, Es una variante del caso anterior donde sí se incorpora la usina de respaldo actual y se aplican medidas de sequía. En esta oportunidad, habiendo mayor disponibilidad de recursos, se incorpora la obligación de dar caudales ambientales reducidos en sequía.
- **ESC35-4**, última alternativa estudiada equivalente al caso anterior, pero con una demanda del abastecimiento algo mayor, la esperada en 2045. También se incorpora una reducción de caudales equivalente a la que teníamos a las alternativas iniciales anulándose cuando se pierde la situación de normalidad.



PES para el sistema de agua potable del área Metropolitana (de Montevideo) y del Arroyo San Francisco en Ciudad de Minas, Uruguay
Informe Análisis de Alternativas y Protocolo del Escenario Objetivo

	Oferta	Demanda	Infraestructura	Restricciones	Normas
Esc35-1 Consolidado c/ hidrología pésima y presa A° Minas Viejas con PGS	Serie Pésima	Demanda 2035 + Niveles 1 y 2 contrac. demanda	Infraestructura Actual + Incr. Pozos + Recalque e Incr. UPAs + Presa A° Minas Viejas	Embalse y captación q80 en Normalidad. Pasan a "0" en Sequía.	PMV-PM-P-U y PGS
Esc35-2 Consolidado c/ hidrología pésima y presa A° Campanero sin UPAs	Serie Pésima + Aportes presa A° Campanero	Demanda 2035	Infraestructura Actual + Nuevos Pozos + Presa A° Campanero (reserva 1 hm ³)	Embalse y captación q80 en Normalidad. Pasan a "0" en Sequía.	PM-P-PAC
Esc35-3 Consolidado c/ hidrología pésima y presa A° Campanero con PGS	Serie Pésima + Aportes presa A° Campanero	Demanda 2035 + Niveles 1 y 2 contrac. demanda	Infraestructura Actual + Incr. Pozos + Incr. UPAs + Presa A° Campanero (reserva 1 hm ³)	Embalses y captación q80 y q90 en sequía	PM-P-U-PAC y PGS
Esc35-4 Futuro 2045 c/ hidrología pésima y presa A° Campanero con PGS	Serie Pésima	Demanda 2045 + Niveles 1 y 2 de contrac. demanda	Infraestructura Actual + Incr. Pozos + Incr. UPAs + Presa A° Campanero (reserva 1 hm ³)	Embalse y captación q80 en Normalidad. Pasan a "0" en Sequía.	PM-P*-U*y PGS

Figura 178 Resumen de caracterización de la combinación de variables de cada alternativa modelizada en el escenario consolidado 2035 en Minas.



6.4.1 Escenario ESC35-1

Ante la pregunta de si se pueden mejorar las garantías, afrontar nuevas demandas y cumplimientos ambientales a medio plazo, la primera propuesta es incorporar una nueva infraestructura que permita al sistema ciudad de minas mayor robustez para enfrentar situaciones de sequías futuras proviene de un estudio inicial donde se valora aumentar la capacidad de regulación de la cuenca del A° San Francisco aguas arriba de la presa Maggiolo. En concreto, se trata de un nuevo represamiento en un afluente denominado A° Minas Viejas con una capacidad próxima a 150.000 m³. En realidad, esta solución no aporta nuevo recurso externo al actual, sino que aumenta la capacidad de regulación existente en la fuente principal del abastecimiento de la UGS Minas, reforzando la figura de la usina principal en Maggiolo.

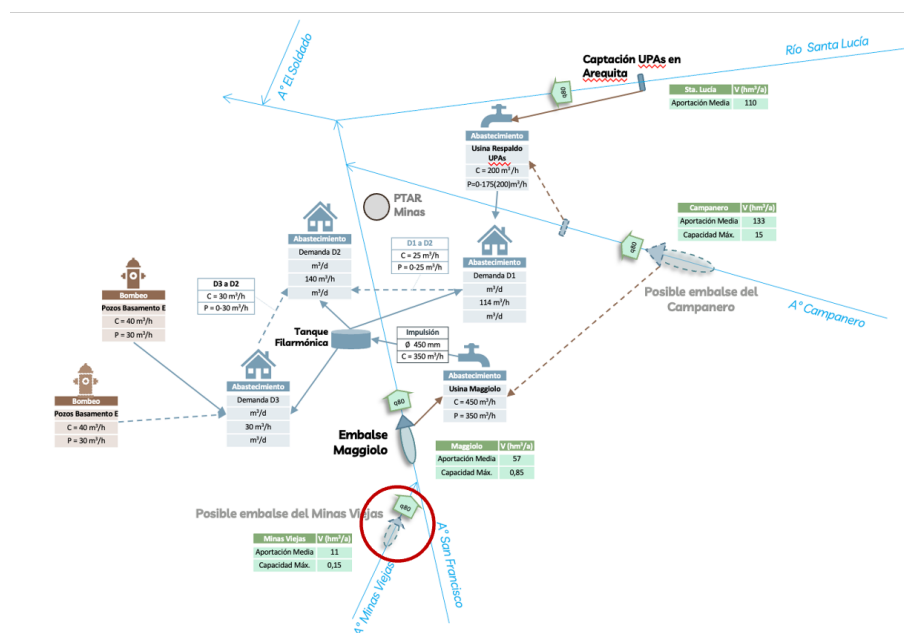


Figura 179 Ubicación topológica de la presa de Minas Viejas en el arroyo del mismo nombre, afluente del A° San Francisco aguas arriba de presa Maggiolo.

Las hipótesis de trabajo de esta alternativa son equivalentes a la del escenario objetivo actual, tanto en demanda como en capacidad de producción de las plantas potabilizadoras se está incorporando las mejoras ya planteadas en los escenarios 2025, es decir, mayor capacidad de extracción de agua subterránea y mayor capacidad de producción desde la usina de respaldo. En esta oportunidad se incorpora la condición de dar caudal ambiental basada en el q80 también el escenario de alerta siempre y cuando este caudal se dé en la entrada del embalse Maggiolo. Dado que la capacidad de regulación no aumenta significativamente, no se aplican caudales ambientales en la captación de la usina de respaldo, a sabiendas que sus aportes no se producen hasta entrado el episodio de sequía. Como ya se ha comentado con carácter general para los escenarios consolidados, se aplican aportaciones pésimas entendiendo que un escenario de futuro a medio plazo el sistema tiene que ser seguro ante sequías peores a las confrontadas hasta el momento.



	NORMALIDAD	ALERTA	SEQUÍA	EMERGENCIA
Demanda	Demanda obj. 2,58 hm ³	Demanda obj. 2,58 hm ³	-9%	-12%
Q ambiental	Basado en q80	Basado en q80 si hay caudal	0	0
Pozos	60 m ³ /h	60 m ³ /h	60 m ³ /h	60 m ³ /h
UPAs	No aplica	1/3*200 m ³ /h	2/3*200 m ³ /h	200 m ³ /h

Figura 180 Resumen de las hipótesis de trabajo de la simulación ESC35-1 de UGS Minas.

En la siguiente figura podemos ver la evolución de las reservas conjuntas de las dos represas que ahora suman 850.000 m³ de capacidad de regulación. Como puede observarse, la mayoría de las sequías son superadas sin mayor dificultad, aunque haya episodios con una disminución significativa de las reservas y, solamente en el peor de los episodios, el conjunto de los dos embalses llega a vaciarse. Si se compara la evolución exclusivamente del embalse Maggiolo de esta alternativa contra la que hemos denominado escenario base actual (ESC25-2), se observa que se profundiza la pérdida de reservas en episodios críticos, llegando a tener este fallo puntual.

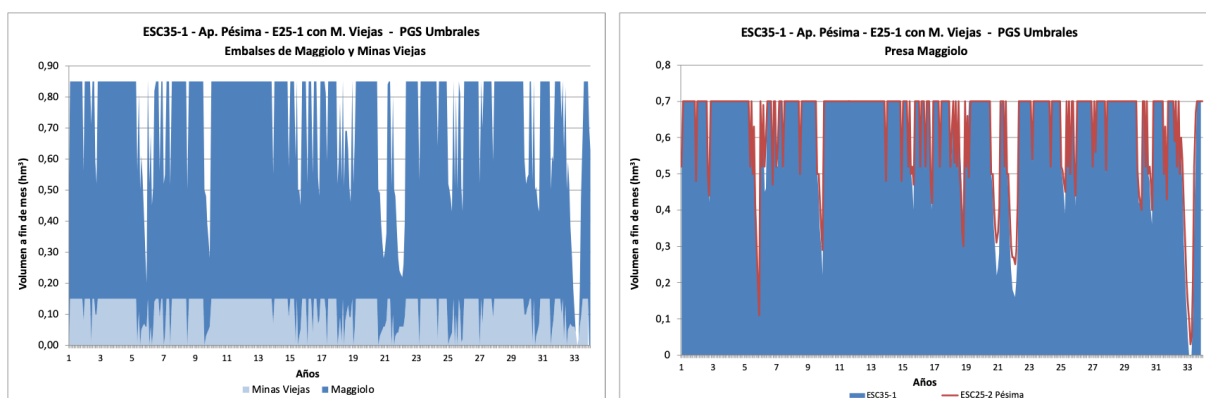


Figura 181 Simulación ESC35-1 de la UGS Minas. A la izquierda, la evolución de las reservas embalsadas en el conjunto de presas Maggiolo y Minas Viejas. A la derecha, comparativa del embalse Maggiolo con superposición de los valores del escenario base ESC25-2.

Pese a ese vaciado puntual no se presentan déficits puesto que los recursos de ese mes y las medidas de gestión de demanda en sequía son suficientes para alcanzar la demanda objetivo.

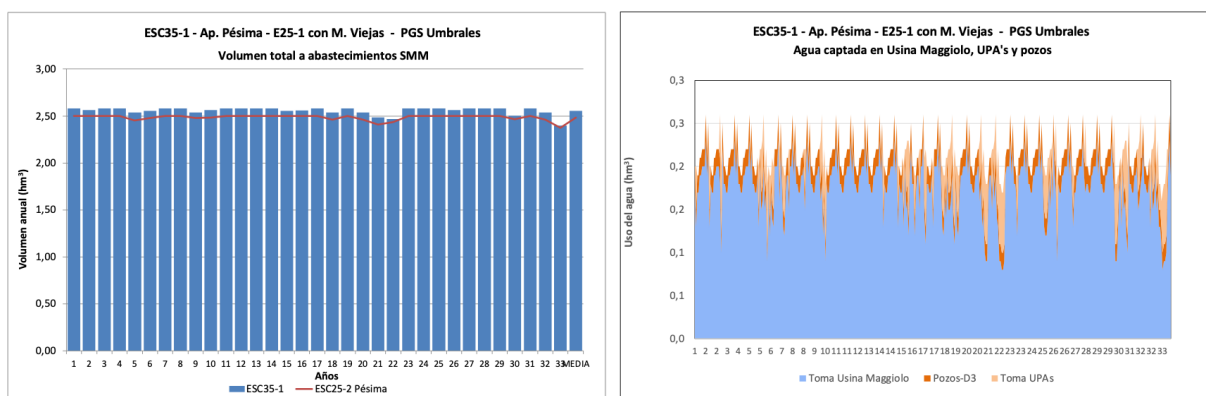


Figura 182 Simulación ESC35-1 de la UGS Minas. A la izquierda demanda servida anual comparada con la servida en el ESC25-2 (actual con serie pésima). A la derecha, evolución mensual de fuentes de suministro.



No obstante, es evidente la situación crítica del sistema y que, en caso de producirse una prolongación de la sequía durante algún mes más, el déficit podría generarse.

En general casi todos los años se obliga a poner la usina de respaldo en marcha algún mes, pero por el contrario la mayor parte de los años hay un fuerte excedente de agua en Maggiolo. En los periodos secos las UPAs son claves en la superación del evento, si bien hay meses que tampoco disponen de todo el caudal para ir a pleno rendimiento, como se puede observar en la **Figura 183**.

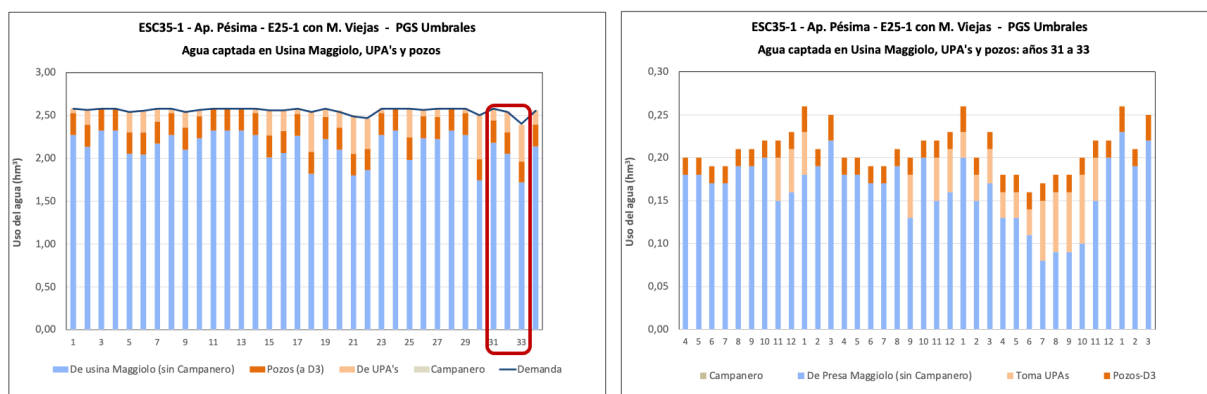


Figura 183 Simulación ESC35-1 de la UGS Minas. A la izquierda demanda servida anual como suma de volúmenes de distintas fuentes de suministro. A la derecha, detalle mensual de los años 31 al 33.

En la siguiente figura se compara el cumplimiento del caudal ambiental en la presa Maggiolo en el caso que nos ocupa (derecha) contra el escenario base de trabajo (izquierda). Es muy significativa la cantidad de meses donde ahora se está dando el caudal ambiental y no se daba en el escenario de base.

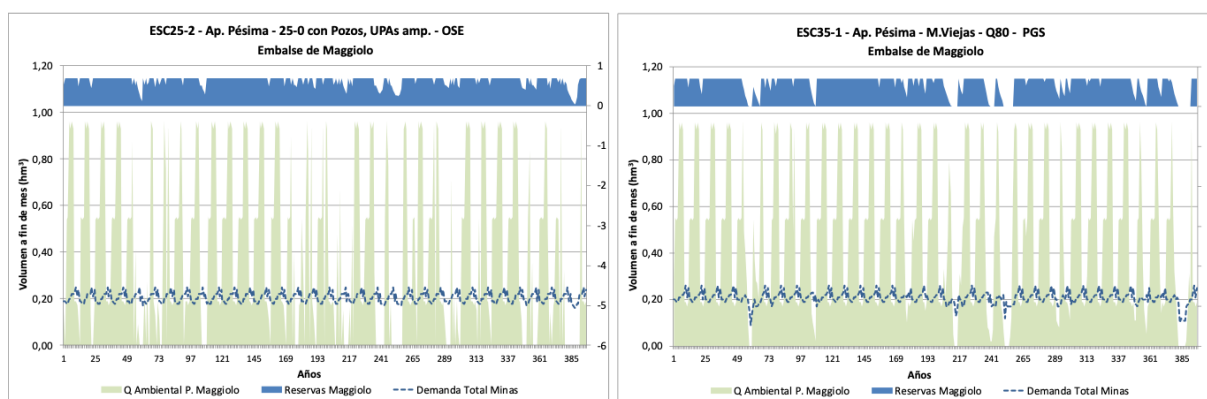


Figura 184 Comparativa del nivel de cumplimiento de los caudales ambientales en presa Maggiolo. A la izquierda, simulación ESC25-2 y a la derecha simulación ESC35-1.

Con un indicador basado en las reservas de Maggiolo y Minas Viejas, el sistema sufre un **11% del tiempo las medidas de alerta** (cercano a 9%) o **sequía** (2,4%) y un testimonial 0,9% de los meses de simulación se estaría en emergencia, pero las medidas de este estado no bastarían para evitar la pérdida total de las reservas de forma puntual, como ya se ha comentado.

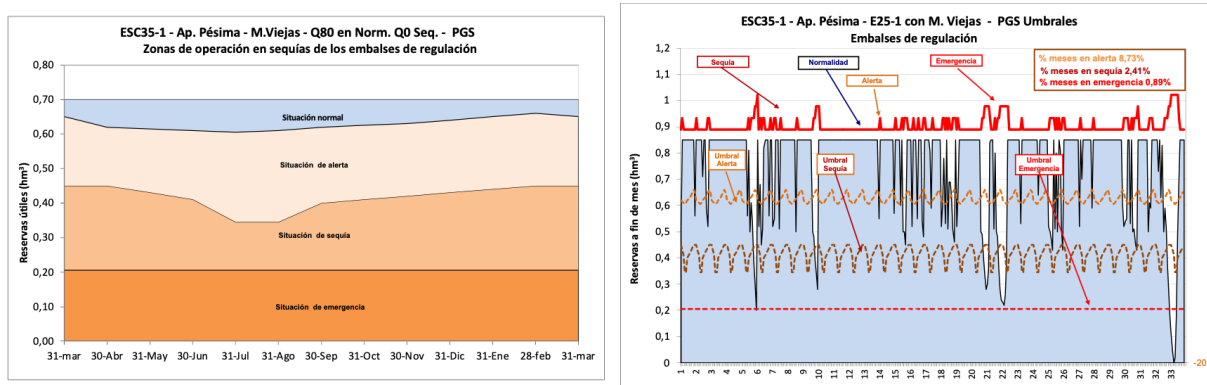


Figura 185 Simulación ESC35-1 de la UGS Minas. A la izquierda, posibles umbrales de definición de estado hidrológico. A la derecha, evolución en los niveles de reservas en presa Maggiolo, umbrales y línea superior como contador de meses en cada estado de sequía.

En conclusión, la presencia de la **posible presa de Minas Viejas compensa el incremento de demanda de la ciudad y servir el caudal ambiental** en Maggiolo en normalidad y alerta, que representa el 96,5% del tiempo de simulación, sin variar mucho las condiciones de partida de ESC25-2. Por el contrario, ante un episodio muy intenso de sequía no se mejora la robustez del sistema. Exponiéndolo de otra manera, Minas Viejas aporta holgura a la gestión del sistema y permitiría una mejora de la gestión ambiental de la represa Maggiolo, asumiendo incluso un pequeño incremento de demandas, pero podría hacer corto ante un evento puntual de extrema sequía. Para compensar este extremo de escasez coyuntural bastaría con volver a no dar los caudales ambientales en situación de alerta, o darlos de forma reducida.

6.4.2 Escenario ESC35-2

A la vista de los resultados del escenario anterior, se plantea estudiar alguna alternativa infraestructural que dote de mayor robustez a la UGS Minas.

Dentro de los escenarios estudiados en el área metropolitana, en aquel ESC35-1 se planteaba la mejora de la regulación de las cuencas de cabecera a través de 2 presas. En particular una de ellas era una infraestructura establecida en la cuenca del arroyo Campanero, que se incorpora al A° San Francisco aguas abajo de la ciudad de Minas (ver **Figura 186**). La superficie de esta cuenca es significativa y parece tener un potencial de regulación interesante incluso para Montevideo. En el de que llegara a construirse este embalse, su capacidad máxima prevista es de 15 hm³, de los cuales puede reservarse uno (1 hm³) para el suministro de agua de emergencia a la ciudad de Minas que se encuentra en la cuenca. Esta es la hipótesis de trabajo común de éste y los siguientes escenarios consolidados de este apartado. La evolución de ese hm³ anual de reserva se supone que es renovada año tras año, siempre y cuando los aportes del A° Campanero sean iguales o superiores a ese volumen.

Dado que una reserva de este volumen es muy importante proporcionalmente con la demanda del sistema - recordemos que es superior en un 30% a la capacidad máxima de la presa Maggiolo -, se plantea la duda de si es necesario incorporar el agua de la usina de respaldo. Por tanto, en este primer escenario con presa Campanero se analiza la evolución del sistema sin la utilización de las UPAs.

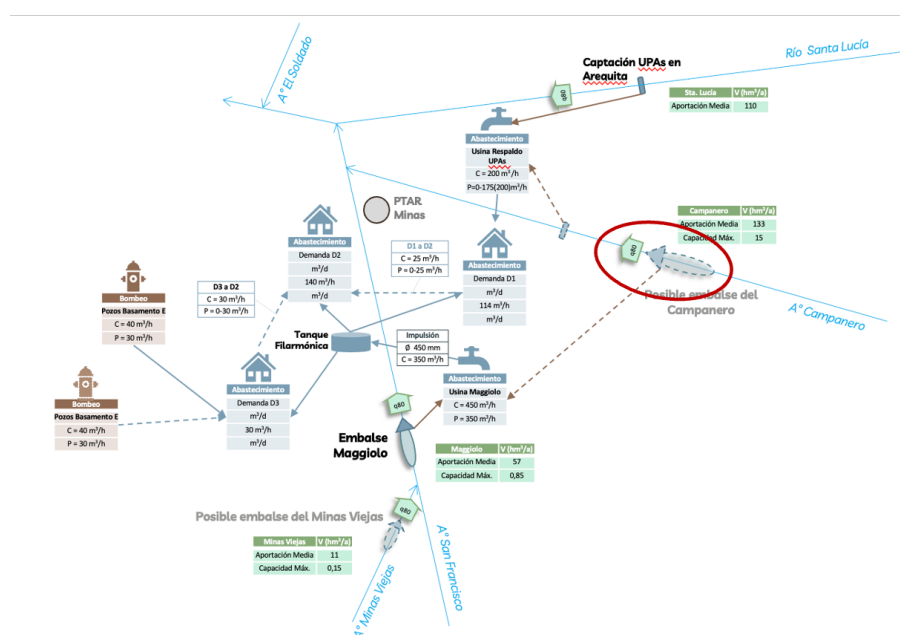


Figura 186 Ubicación topológica de la presa de Campanero en el arroyo del mismo nombre, afluente del A° San Francisco aguas abajo de la Ciudad de Minas.

Además de eliminar la usina de respaldo, se incorpora como hipótesis que la demanda no sea reducida en situaciones de sequía, es decir, una demanda constante equivalente a la determinada como escenario consolidado 2035. En cuanto a los caudales ambientales, se repetiría la hipótesis del escenario base actual (ESC25-2) de incorporar un caudal ambiental basado en el q80 en la presa Maggiolo en normalidad y no aplicar valor alguno una vez iniciada la sequía. El volumen de reserva de Campanero se utilizaría a partir del estado de sequía.

	NORMALIDAD	ALERTA	SEQUÍA	EMERGENCIA
Demanda	Demanda obj. 2,58 hm³	Demanda obj. 2,58 hm³	Demanda obj. 2,58 hm³	Demanda obj. 2,58 hm³
Q ambiental	Basado en q80 si hay caudal	No aplica	No aplica	No aplica
Pozos	60 m ³ /h	60 m ³ /h	60 m ³ /h	60 m ³ /h
UPAs	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
Oferta Extraord. Campanero	No aplica	No aplica	Hasta 1 hm³ (máx. anual)	Hasta 1 hm³ (máx. anual)

Figura 187 Resumen de las hipótesis de trabajo de la simulación ESC35-2 de UGS Minas.

En la **Figura 188** se compara la evolución de reservas de la presa Maggiolo de esta alternativa contra la de la alternativa precedente (ESC35-1), así como los volúmenes satisfechos para el abastecimiento. Puede observarse una mejora en ambas variables, evitándose el vaciado de la presa y no incurriendo en ningún déficit. En el caso del gráfico de demandas, éstas son constantes e igual al valor máximo, a diferencia de la alternativa anterior donde los valores se modulaban con la aplicación de restricciones a través de la gestión de la demanda propuesta por el protocolo de sequías.

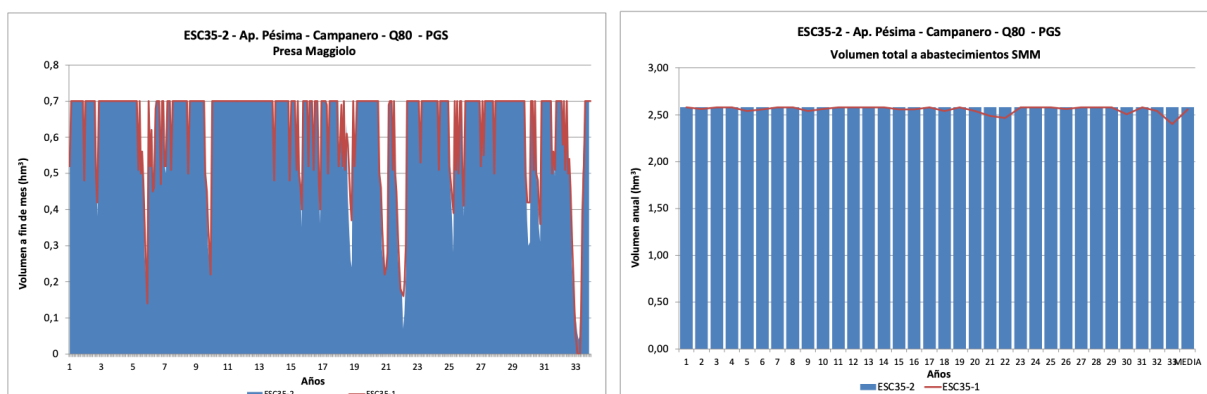


Figura 188 Simulación ESC35-2 de la UGS Minas, comparativa con superposición de los valores del escenario anterior ESC35-1. A la izquierda, la evolución de las reservas embalsadas en presa Maggiolo. A la derecha, demanda servida y déficit anual.

En este caso la satisfacción de la demanda se hace de las fuentes operativas, donde no se encuentra la usina de respaldo, pero sí el agua procedente de la presa Campanero. Al no aplicar el agua de esta reserva en alerta a diferencia del escenario anterior, solo en algunos años es requerida Campanero. En la sequía más intensa del año 33 de simulación su aporte es cercano a 0,5 hm³ y es necesario prolongado durante 8 meses consecutivos. En el mes más crítico representa el 50% de la aportación, una proporción que las UPAs no igualan a su máxima capacidad.

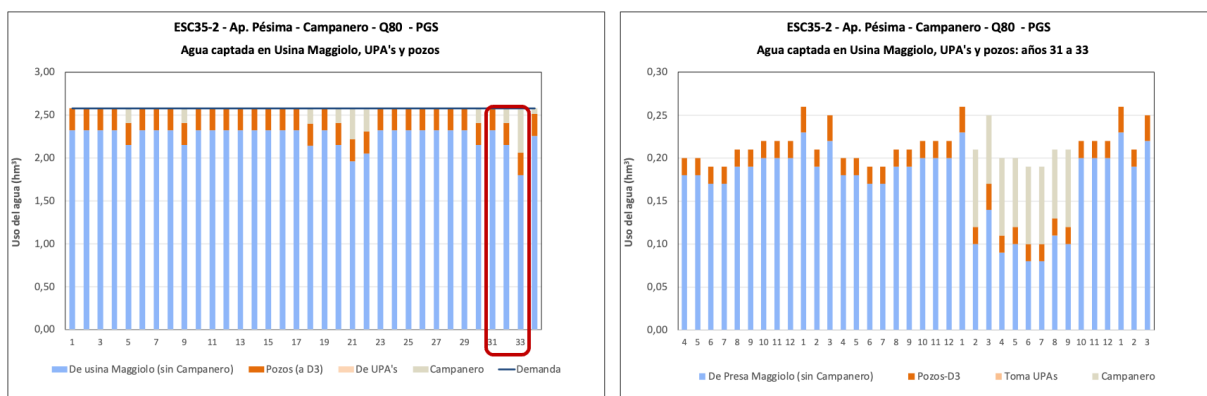


Figura 189 Simulación ESC35-2 de la UGS Minas. A la izquierda demanda servida anual como suma de volúmenes de distintas fuentes de suministro donde aparece distinguido el volumen proveniente de Campanero. A la derecha, detalle mensual de los años 31 al 33.

El cumplimiento el cuadrar ambiental es muy parecido al escenario base actual y menor al del escenario anterior ESC35-1. La metodología numérica para representarlo evita la utilización de volúmenes de la reserva de Campanero para satisfacer esta obligación.

En este escenario no se está aplicando un protocolo de gestión de sequías homogéneo a los casos anteriores, ya que no hay modulación de la demanda y solo un umbral a partir del cual entra en la parte de la reserva en Campanero, pero igualmente se contabilizan los tiempos en cada franja de los umbrales equivalentes a los definidos en el escenario anterior. Así, se determina que el 11,5% de los meses se encontraría en la denominada anteriormente alerta o sequía y el **1,5% en la zona equivalente a la emergencia**, ver **Figura 191**.

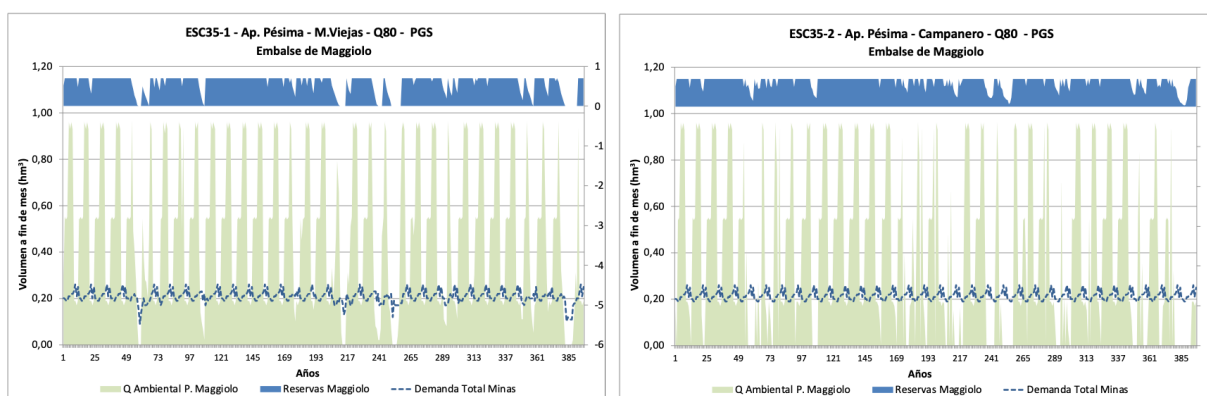


Figura 190 Comparativa del nivel de cumplimiento de los caudales ambientales en presa Maggiolo. A la izquierda, simulación anterior ESC35-1 y a la derecha simulación ESC35-2.

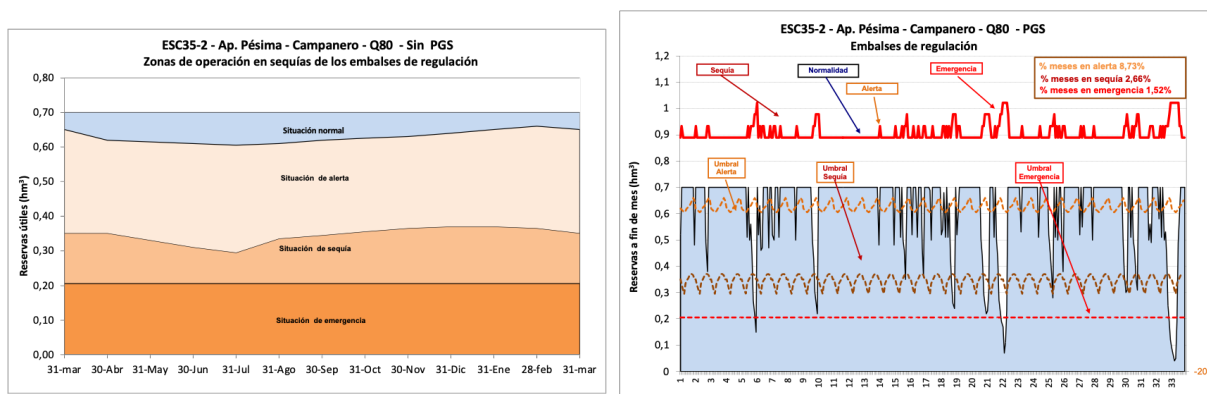


Figura 191 Simulación ESC35-2 de la UGS Minas. A la izquierda, posibles umbrales de definición de estado hidrológico. A la derecha, evolución en los niveles de reservas en presa Maggiolo, umbrales y línea superior como contador de meses en cada estado de sequía.

En definitiva, esta alternativa nos permite concluir que Minas puede enfrentarse a sequías peores con incremento de la demanda solamente con el embalse Maggiolo, pero sumado una reserva de alguna gran presa de la que disponga del orden de 1 hm³. En esta opción infrautilizamos las infraestructuras existentes como la usina de respaldo, las propias capacidades de un PGS que tiene también una función cultural y unas caudales ambientales mejorables.

6.4.3 Escenario ESC35-3

Ante la última reflexión de la alternativa anterior, se suscita la propuesta de repetir una alternativa con la reserva estratégica de la presa Campanero, pero manteniendo el protocolo de gestión de sequías con actuación en la demanda y con incorporación de las otras fuentes ya consolidadas del sistema Minas. Además, se suma mayor intensificación del cumplimiento de los caudales ambientales, pudiéndose dar en alerta el caudal ambiental de presa Maggiolo basado en el q80 y, en sequía, una reducción basada en el q90. En ambos casos se darían solamente si existen esos valores en los aportes entrantes a la presa Maggiolo. Cuando se entrara en situación de emergencia, los caudales ambientales se anularían. La



oferta desde presa Campanero también se adelanta a la alerta. El resumen se encuentra en la **Figura 192**.

	NORMALIDAD	ALERTA	SEQUÍA	EMERGENCIA
Demanda	Demanda obj. 2,58 hm³	Demanda obj. 2,58 hm ³	-9%	-12%
Q ambiental	Basado en q80	Basado en q80 si hay caudal	Basado en q90 si hay caudal	0
Pozos	60 m ³ /h	60 m ³ /h	60 m ³ /h	60 m ³ /h
UPAs	No aplica	$\frac{1}{3}$*200 m³/h	$\frac{2}{3}$*200 m³/h	200 m³/h
Oferta Extraord. Campanero	No aplica	Hasta 1 hm³ (máx. anual)	Hasta 1 hm ³ (máx. anual)	Hasta 1 hm ³ (máx. anual)

Figura 192 Resumen de las hipótesis de trabajo de la simulación ESC35-3 de UGS Minas.

El análisis de la evolución de las reservas permite constatar unos niveles embalsados en la presa Maggiolo más favorables que en el escenario anterior y la satisfacción de la demanda, aunque es flexible y se adapta a la aplicación de medidas restrictivas cuando se reducen las reservas en el embalse, en ningún momento es deficitaria.

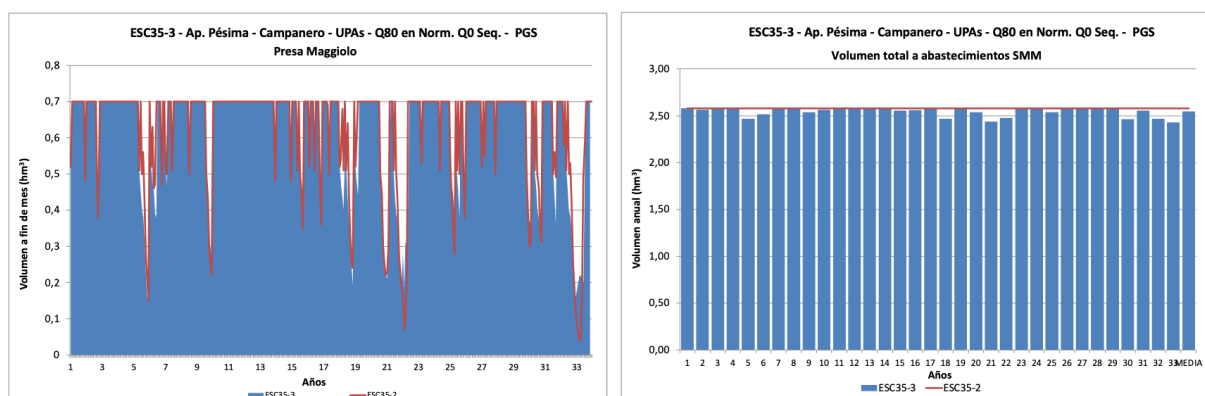


Figura 193 Simulación ESC35-3 de la UGS Minas, comparativa con superposición de los valores del escenario anterior ESC35-2. A la izquierda, la evolución de las reservas embalsadas en presa Maggiolo. A la derecha, demanda servida y déficit anual.

La distribución de las fuentes de suministro en función de la evolución hidrológica de cada año es la que se puede observar en la **Figura 194**, con una sumatoria de orígenes bien diversa en función de cada evento. Hay meses donde las aportaciones de las UPAs son suficientes para hacer frente a la reducción de reservas en el Arroyo San Francisco y meses donde no hay suficientes recursos en el río Santa Lucía y, es necesario incorporar volúmenes desde la reserva de Campanero.

El cumplimiento de los caudales de mantenimiento es mucho mayor que en el escenario anterior (ESC35-2) como se puede observar en la **Figura 195**, y esto tiene consecuencias en la composición de fuentes en el agua suministrada. Al requerir mayor caudal de mantenimiento que solamente puede dotarse desde la presa Maggiolo, ésta tiene menos reservas y deben acudir las otras fuentes a complementar la demanda. En el peor de los casos, año de simulación 18, se consume casi la totalidad de la reserva de Campanero y el valor aportado por Maggiolo es inferior a un tercio de la demanda objetivo. En la secuencia mensual de los



años de simulación 32-33, puede observarse que hay meses donde prácticamente la totalidad de la aportación proviene de las fuentes alternativas.

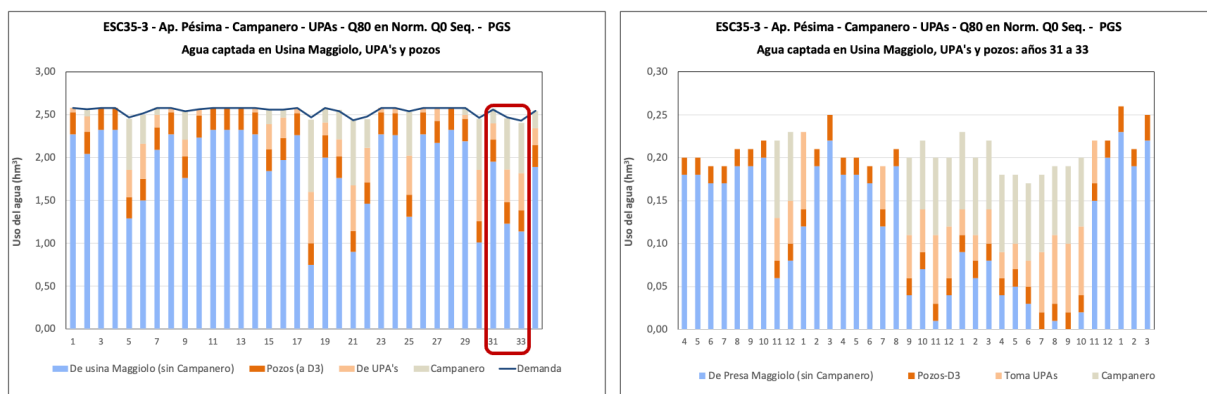


Figura 194 Simulación ESC35-3 de la UGS Minas. A la izquierda demanda servida anual como suma de volúmenes de distintas fuentes de suministro donde aparece distinguido el volumen proveniente de Campanero. A la derecha, detalle mensual de los años 31 a 33.

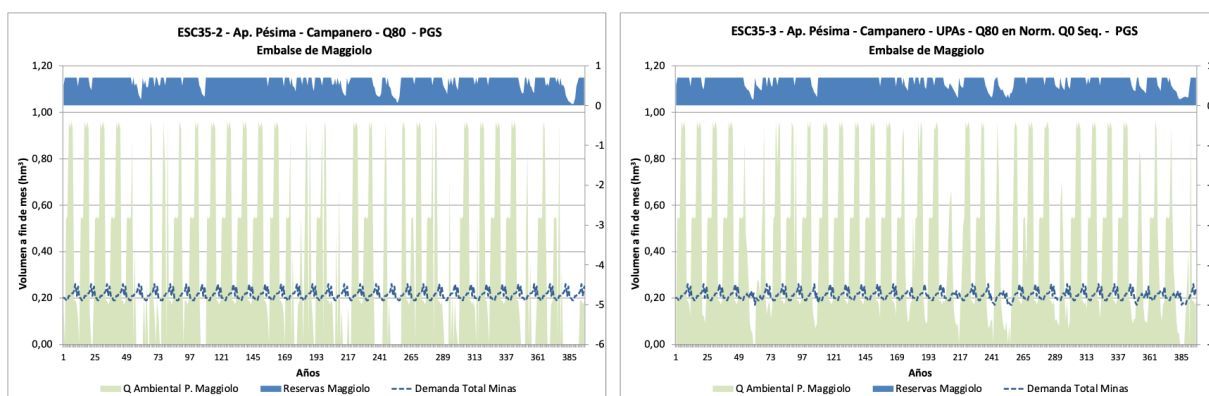


Figura 195 Comparativa del nivel de cumplimiento de los caudales ambientales en pesa Maggiolo. A la izquierda, simulación anterior ESC35-2 y a la derecha simulación ESC35-3.

Con unos umbrales equivalentes a los actuales de OSE, los valores de permanencia en cada estado de escasez coyuntural son decrecientes y algo distintos a la alternativa anterior entre un **7,3%** del tiempo en **alerta** y **5,8% de sequía**. La **emergencia** se da un **1,3% de los meses**, que es un valor inferior, pero similar al de escenario ESC35-2. Las medidas de sequía son suficientes para alejar claramente el colapso.

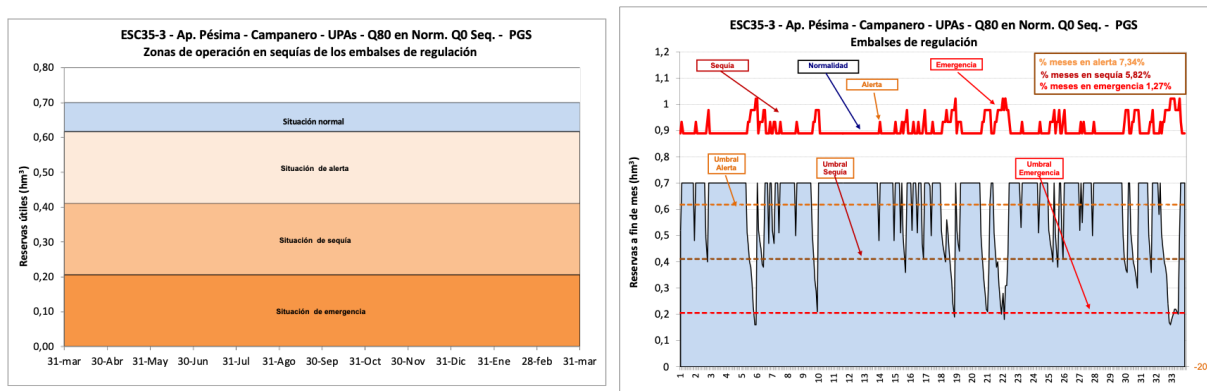


Figura 196 Simulación ESC35-3 de la UGS Minas. A la izquierda, posibles umbrales de definición de estado hidrológico. A la derecha, evolución en los niveles de reservas en presa Maggiolo, umbrales y línea superior como contador de meses en cada estado de sequía.



En definitiva, esta solución se muestra como la más global e integral, con mejores indicadores de cumplimiento acabado ambiental y de permanencia en situación de emergencia, y con capacidad para hacer frente a más demanda y menos aportaciones en el futuro a medio plazo. La duda fundada que aparece es si es factible creer en la construcción de una infraestructura como presa Campanero u otra que le garantice un hectómetro cúbico de reserva extraordinaria al sistema Minas.

6.4.4 Escenario ESC35-4

Con una duda como la expuesta en la conclusión de la alternativa anterior, cabría la posibilidad de pensar en alguna variante de la alternativa definida como escenario objetivo actual o ESC25-2 que pudiera hacer frente a la demanda objetivo 2045 y a un cumplimiento menos ambicioso del caudal ambiental, pero incorporando de forma anticipada o casi permanentemente, la usina de respaldo. Con este cambio de la regla de operación es factible que exista mayor disponibilidad de recurso en la captación del río Santa Lucía. Se aplican los cambios de hipótesis de la siguiente figura. En definitiva, se trata de ver la posibilidad de dar respuesta al escenario consolidado sin ningún cambio infraestructural, solamente alterando la regla de operación.

	NORMALIDAD	ALERTA	SEQUÍA	EMERGENCIA
Demanda	Demanda obj. 2,66 hm³	Demanda obj. 2,66 hm ³	-9%	-12%
Q ambiental	Basado en q80	Basado en q80 si hay caudal	0	0
Pozos	30 m³/h	60 m ³ /h	60 m ³ /h	60 m ³ /h
UPAs	No aplica	1/2*200 m³/h	200 m³/h	200 m ³ /h

Figura 197 Resumen de las hipótesis de trabajo de la simulación ESC35-4 de UGS Minas.

Comparando ahora la evolución de las reservas con el primer escenario consolidado ESC35-1 donde se sumaba la presa de Minas Viejas, se observa que puede asumirse mayor demanda con una oscilación más intensa del agua en el embalse Maggiolo, produciéndose un único fallo en el peor de los años de simulación cuando se presentaría un déficit substancial del abastecimiento.

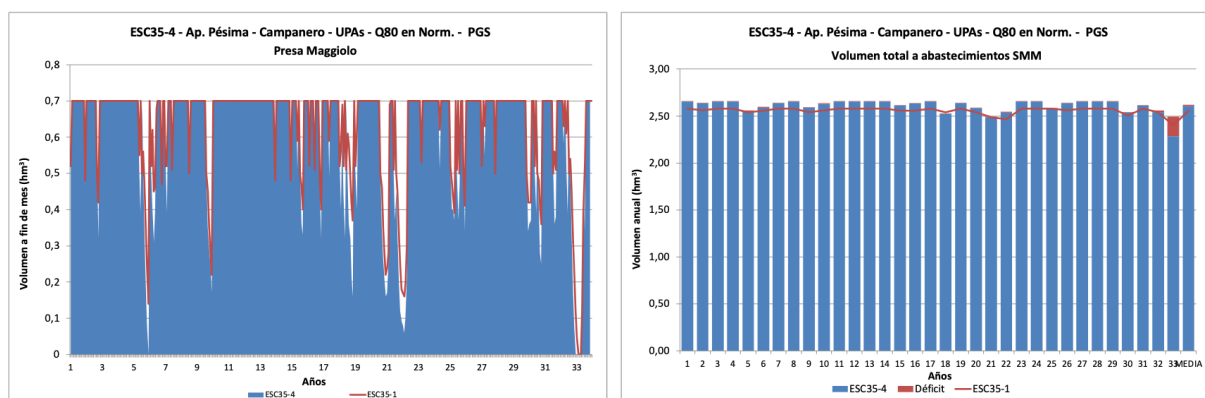


Figura 198 Simulación ESC35-4 de la UGS Minas, comparativa con superposición de los valores del escenario inicial ESC35-1. A la izquierda, la evolución de las reservas embalsadas en presa Maggiolo. A la derecha, demanda servida y déficit anual.



Como se aprecia en la **Figura 199**, excepto en los años de muchos aportes, se logra suministrar la demanda aportando agua **de las UPAs algunos o todos los meses**. La disponibilidad de caudal ecológico empeora respecto a las otras alternativas del escenario consolidado, pero es muy similar al base actual.

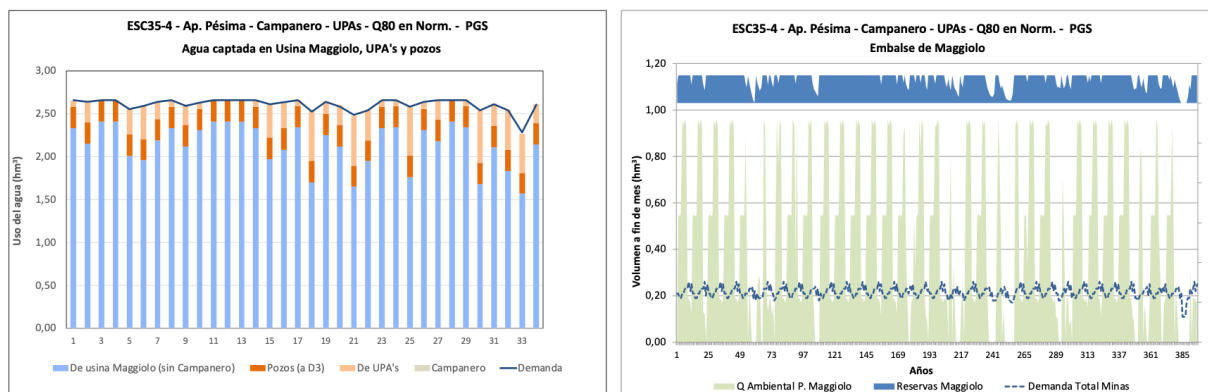


Figura 199 Simulación ESC35-4 de la UGS Minas. A la izquierda demanda servida anual como suma de volúmenes de distintas fuentes de suministro. A la derecha, los caudales ambientales en presa Maggiolo.

Utilizando los mismos umbrales que en el escenario base, si bien las declaraciones de excepcionalidad son razonables incluso equivalentes o menores al resto de alternativas exploradas en este apartado, **10,7% entre alerta y sequía**, la emergencia es alta, casi el 3% del tiempo, y no sirve para resolver el **vaciado de Maggiolo** en dos ocasiones de la serie pésima.

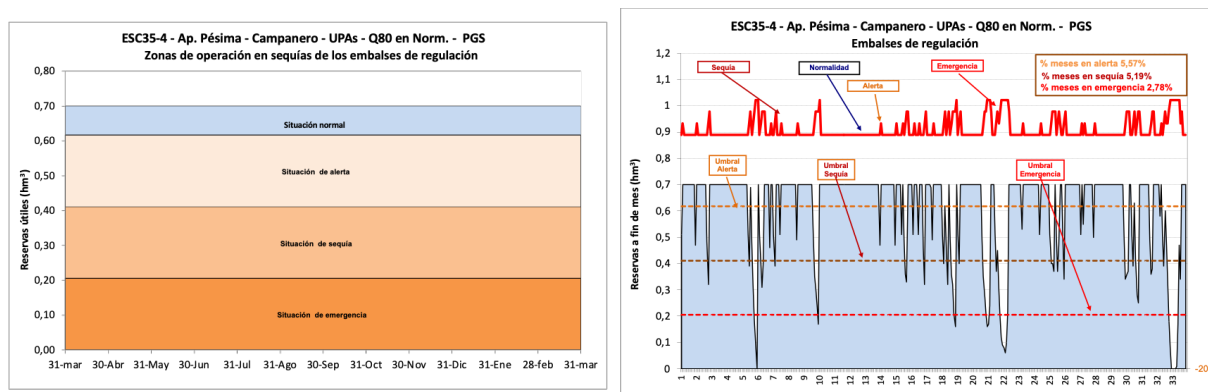


Figura 200 Simulación ESC35-4 de la UGS Minas. A la izquierda, posibles umbrales de definición de estado hidrológico. A la derecha, evolución en los niveles de reservas en presa Maggiolo, umbrales y línea superior como contador de meses en cada estado de sequía.

Esta alternativa permite concluir que, sin incorporar ninguna infraestructura nueva, no sería posible mejorar substancialmente los lineamientos de caudales ambientales respecto a la situación actual, pero podría llegarse a asumir más demanda de agua potable, incluso con aportaciones pésimas. Para minimizar los fallos, aunque existiría el riesgo de producirse, deberían aumentarse el aporte de las UPAs en situaciones o estados de sequía previos, como la alerta, donde la usina de respaldo podría estar ya funcionando al 50% y a plena producción en sequía. Por otro lado, no se ha analizado, pero podría compensarse el incremento de demanda con una mejora de la eficiencia de la red fruto de un plan de reducción de la ANC a 10 años y de esa manera quedar empatados a una alternativa muy parecida a la base actual.



6.4.5 Resumen de las alternativas ESC35

La tabla siguiente resume las variables clave que permiten la comparación de las alternativas del escenario consolidado, pero incorporando también el caso ESC25-2 o escenario base propuesto para la situación actual.

Tabla 33 Comparativa de las variables clave para cada alternativa del escenario 35 en UGS Minas en comparación con el escenario base actual propuesto.

VARIABLE	ESCENARIO	ESC35-1	ES35-2	ES35-3	ES35-4	ESC25-2
Demanda Minas aplicada (hm ³)		2,580	2,580	2,580	2,660	2,500
Demanda servida (hm ³)		2,555	2,579	2,545	2,607	2,483
Déficit máximo (hm ³)		0 (0,018)	0,000	0 (0,002)	0,208	0 (0,002)
Q Ambiental Maggiolo anual (hm ³)		4,954	4,759	5,570	5,257	4,793
% meses en alerta		8,73%	8,73%	7,34%	5,57%	8,99%
% meses en sequía		2,42%	2,66%	5,82%	5,19%	2,78%
% meses en emergencia		0,89%	1,52%	1,27%	2,78%	0,76%
Reservas mínimas en Maggiolo (hm ³)		0,000	0,040	0,160	0,000	0,111
Aporte medio anual usina respaldo (hm ³)		0,162	0,000	0,193	0,218	0,152
Aporte máximo anual usina respaldo (hm ³)		0,511	0,000	0,602	0,611	0,445

A futuro, **descartando grandes obras de aporte de agua**, como un embalse para AM en A° Campanero que pudiera reservar un volumen estratégico para Ciudad de Minas, caben dos posibilidades:

- Profundizar en **la mejora de la capacidad de regulación del propio A° San Francisco**, como puede ser a través de la **presa e A° Minas Viejas**, lo que conlleva una **situación muy similar** a la de partida en cuanto a riesgos y tiempo aplicando medidas de restricción (**% en alerta y sequía**), pero que permite asumir un poco más de demanda, enfrentarse a unas aportaciones pesimistas y cumplir mejor los Q ambientales en presa Maggiolo si no se está en sequía.
- O bien, seguir con la **infraestructura existente**, pero mejorada como se está procediendo en corto plazo, y **cambiar la regla de operación** para que las UPAs puedan incorporar preventivamente más agua. No obstante, en este caso la garantía disminuye en el peor episodio de sequías y demandas de 2045.
- Por último, se hace notar que mejorar el **conocimiento del acuífero basal** donde se están construyendo los pozos actualmente, permitiría analizar seriamente la posibilidad de seguir incrementando las perforaciones, incluso tener **pozos alternos** de operación que no funcionaran todo el tiempo, sino **en sequía**, para hacer pulso de explotación que luego relajaran las extracciones al normalizarse el régimen fluvial del A° San Francisco. Posiblemente eso conllevaría a algunas obras en la red que permitieran **aumentar la permeabilidad del agua subterránea hacia la zona cautiva de la usina Maggiolo** (transferir demanda de D2 a D3 hasta alcanzar una tercera parte de la demanda total). Las explotaciones subterráneas no se pueden improvisar al llegar la sequía, con lo que conviene explorar estudiar estos potenciales desde la actualidad.



7 Protocolo de gestión de sequías para la UGS Ciudad de Minas

7.1 Propuesta de Protocolo de Gestión

7.1.1 Proceso de ajuste del umbral de sequía

El tamaño del sistema Ciudad de Minas, las pequeñas diferencias de volumen en los umbrales escalonados del indicador de escasez coyuntural propuesto y las incertidumbres que rodean los datos de partida de las aportaciones, que se incrementan en cualquier ejercicio de pronóstico de la evolución posible de caudales en el futuro inmediato o a medio plazo, no permite realizar un refinamiento de los valores de estos umbrales que puedan desembocar en unos cambios del nivel de servicio más confiables o “creíbles”. Es decir, la situación de partida en el ESC25-2 escenario base con la hipótesis (H1) de umbrales equivalentes a los que actualmente usa OSE, parece difícilmente mejorable por el simple hecho de hacer ajustes en éstos con pequeñas variaciones de volúmenes (por ejemplo, $\pm 25.000 \text{ m}^3$), a nivel mensual, intentando replicar cierta tendencia hidrológica intranual.

No obstante, para salir de dudas, se ha realizado una variante del escenario base como una nueva hipótesis de umbrales variables (H2) a lo largo del año. Las variables de control para la comparación son:

- Tiempo medido en número de meses y porcentaje de meses (del total de 396 simulados) en que el sistema se encuentra en situación de emergencia, sequía o alerta.
- Cantidad de declaraciones de sequía en las que precedentemente se ha declarado alerta de uno a tres meses antes, o en el extremo de forma directa, sin pasar por el estado de alerta.
- Demanda media anual de la simulación.
- Déficit máximo anual de la simulación.
- Reservas mínimas del sistema o valor mínimo del indicador de sequía, reservas entendidas como el volumen de la presa Maggiolo en todo el periodo de simulación.
- Aportes medios y máximos anuales de cada fuente: usina principal, usina de respaldo y pozos.
- Datos de detalle del episodio de máxima sequía entre los años de simulación número 32 y 33 (equivalentes a la sequía del 2022 a 2023). De esos datos se valora:
 - Inicio y fin del episodio y número de meses en cada estado de sequía (A, S y E).
 - Meses en cada estado de sequía (A-S-E).
 - Meses en sequía tras la salida de emergencia (S-A).

Resumiendo, las hipótesis de trabajo o variantes según lo que se expone en la **Tabla 34**:

- Hipótesis H1, **solución original**, umbrales constantes y equivalentes a los que está usando actualmente OSE.
- Hipótesis H2, fórmula donde los **umbrales de la situación de sequía** se han propuesto **variables**, aumentándose en los meses más secos de diciembre a mayo.



Tabla 34 Diversas hipótesis de umbrales del indicador de escasez para el sistema Minas. En negrita los cambios secuenciales entre hipótesis. Sombreada en azul la hipótesis original.

	30- Abr	31- May	30- Jun	31- Jul	31- Ago	30- Sep	31- Oct	30- Nov	31- Dic	31- Ene	28- feb	31- mar
Hip 1: Solución original, umbrales constantes												
Alerta	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62
Sequía	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
Emergencia	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21

Hip 2: Umbrales variables

Alerta	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62
Sequía	0,45	0,43	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,43	0,44	0,45	0,45
Emergencia	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21

En la tabla siguiente se comparan las variables claves de ambas hipótesis y se aprecia que los cambios no son significativos. Se destaca en negrita el valor más favorable y en rojo el valor más desfavorable.

Tabla 35 Variables clave para la comparación de las hipótesis de umbrales del ESC25-2.

	H1	H2
	Pésima	Pésima
Demanda servida media	2,483	2,479
Déficit máximo	0,002	0,002
Reservas mínimas embalses	0,030	0,030
% meses en alerta	8,99%	8,48%
% meses en sequía	2,78%	3,42%
% meses en emergencia	0,76%	0,63%
De Usina Maggiolo (medio)	0,172	0,172
De Usina Maggiolo (máximo)	0,220	0,220
UPAs a D1 (medio)	0,013	0,013
UPAs a D1 (máximo)	0,090	0,090
Pozos (medio)	0,021	0,021
Pozos (máximo)	0,013	0,013
Alerta sin sequía	26	28
Sequía en 1 mes con alerta	0	3
Sequía en 2 meses con alerta	1	2
Sequía en 3 o más meses con alerta	7	5
Sequía sin Alerta	0	0
Emergencia con 1 mes con sequía	1	0
Emergencia con 2 meses con sequía	0	0
Emergencia con 3 o más meses con sequía	1	2
Emergencia sin sequía	0	0
% Alertas sin sequía	225%	180%
% Sequías en 3 o más meses con alerta	88%	50%
% Sequías sin alerta previa	0%	0%
% Sequías sin emergencia	75%	80%
% Emergencias en 3 meses o más con sequía	50%	100%
% Emergencias sin sequía previa	0%	0%
Sequía 32-33 - mes inicio (A)	jul.-32	jul.-32
Sequía 32-33 - meses en alerta	7	7
Sequía 32-33 - meses en sequía	3	3
Sequía 32-33 - meses en emergencia	4	4
Sequía 32-33 - meses en sequía tras emergen.	1	1
Sequía 32-33 - mes Fin (A)	oct.-32	oct.-32



Comentarios a la **Tabla 35**:

- La hipótesis H2 mejora la estadía en sequía en un inapreciable 0,13% del conjunto de la simulación a costa de declarar un 0,66% más de sequías.
- No cambian ni las reservas mínimas ni varía el déficit nulo, pero en H2 disminuye ínfimamente la demanda media servida por la mayor entrada en sequías.
- La H2 es más robusta en la declaración de emergencias, es decir, siempre se llega aplicando medidas de sequía en los 3 o más meses precedentes.
- En cambio, H2 es menos robusta en la declaración de sequías que H1, ya que el 50% de los casos solo se había estado en alerta en 1 o 2 meses precedentes.
- La secuencia de meses y activación de medidas restrictivas o aportes extraordinarios en el peor episodio simulado, años 32 y 33, es idéntica.

Con todo lo comentado, aunque se genera una mínima ganancia al modular el indicador del estado de sequía, **se propone utilizar la regla de umbrales constante actual de OSE, hipótesis H1** por sencillez, no obliga a hacer cambios al operador y no hay ganancias substanciales demostrables con esos posibles ajustes.

En el apartado siguiente se establece el **Protocolo operativo para el sistema Metropolitano** basado en el **indicador de escasez coyuntural Reservas de presa Maggiolo** que se mide en hm^3 y del que se establecerá su cálculo cada mes (pudiendo ser cada quincena o semana).

7.1.2 Propuesta de protocolo de gestión del escenario base

En las siguientes páginas se transcribe el protocolo operativo del sistema de abastecimiento de la Ciudad de Minas. La nomenclatura cambia en la medida que se adapta al protocolo nacional, donde el nivel 2 de sequía se denomina excepcionalidad.

Otra particularidad destacable es que, por razones de minimizar cambios, se propone alternativamente a los umbrales en volumen de reservas, una tabla de umbrales en niveles de descenso de lámina de agua, tal como se está haciendo ahora. Pero hay que tener en cuenta que si alguna batimetría posterior demostrara cambios en la curva h-V, los umbrales en volumen de reservas no cambian, pero los umbrales en niveles de agua deberían ser reemplazados por los nuevos niveles equivalentes con la nueva curva.

En cuanto a los caudales ambientales, la propuesta los incorpora, pero hoy por hoy no son de obligado cumplimiento todavía. En la tabla aparecen como volumen mensual, pero responden a los caudales instantáneos en m^3/s de la **Tabla 30** basados en el módulo q80, y que son 0,21 para AMJJ, 0,36 para ASON y 0,07 para DEFM.



PES para el sistema de agua potable del área Metropolitana (de Montevideo) y del Arroyo San Francisco en Ciudad de Minas, Uruguay
Informe Análisis de Alternativas y Protocolo del Escenario Objetivo

Tabla 36 Umbrales mensuales de entrada del ESTADO de sequía en el sistema en hm^3

ESTADO	MESES (valor del umbral a final de mes como reservas útiles del embalse Maggiolo en hm^3)											
	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT. ^{BRE}	OCT. ^{BRE}	NOV. ^{BRE}	DIC. ^{BRE}	ENERO	FEBRERO	MARZO
ALERTA(UA)	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62
EXCEPCION^{DAD} (US)	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
EMERGENCIA (UE)	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21

(se presenta la variante en niveles de agua medidos desde la coronación del vertedero de la presa Maggiolo)

ESTADO	MESES (valor del umbral a final de mes como niveles de agua desde la coronación del embalse Maggiolo en m)											
	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT. ^{BRE}	OCT. ^{BRE}	NOV. ^{BRE}	DIC. ^{BRE}	ENERO	FEBRERO	MARZO
ALERTA(UA)	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
EXCEPCION^{DAD} (US)	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0	-1,0
EMERGENCIA (UE)	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5	-1,5

Para iniciar la operación mensual, **la declaración de estado se hará con el último dato del mes anterior**. Ese último día del mes se comparará el volumen suma de las reservas del embalse de Maggiolo V_i^{mes} con los umbrales de cierre de ese mes, ya establecidos en la tabla superior (UA_i^{mes} o US_i^{mes} o UE_i^{mes}) que corresponden al valor del último día del mes. Se declarará el ESTADO vigente de operación del sistema según el siguiente algoritmo, diferenciando si las reservas están en situación de descenso (pérdida de volumen respecto al mes anterior) o de recuperación (aumento de volumen respecto al mes anterior):

Tabla 37 Criterio de determinación mensual del ESTADO del sistema

ESTADO DE LA CUENCA	Si $(V_i^{mes} - V_{i-1}^{mes}) < 0$	Si $(V_i^{mes} - V_{i-1}^{mes}) > 0$
NORMALIDAD	$V_i^{mes} > UA_i^{mes}$	-
ALERTA	$US_i^{mes} < V_i^{mes} \leq UA_i^{mes}$	$V_i^{mes} \geq 0,70$ (embalse lleno)
EXCEPCIONALIDAD	$UE_i^{mes} < V_i^{mes} \leq US_i^{mes}$	$UA_i^{mes} \leq V_i^{mes} < 0,70$
EMERGENCIA	$V_i^{mes} \leq UE_i^{mes}$	$V_i^{mes} \leq US_i^{mes}$



En situación de descenso de las reservas se podrá producir la ENTRADA en un ESTADO excepcional, mientras que en ascenso se puede producir la SALIDA de un ESTADO de medidas excepcionales. Por razones de congruencia en la operación, a fin de evitar rebotes o declaraciones intermitentes de entrada y salida de un estado, la salida será siempre cuando ésta sea “franca”, es decir, con una tendencia continua de ascenso de reservas, por lo que se considera adecuado aplicar un valor superior al umbral de cambio de estado. En concreto, el valor del umbral variará según el estado del que se esté saliendo, iniciando la salida de emergencia cuando se tenga unas reservas superiores a la excepcionalidad. De forma análoga, la salida de sequía se producirá cuando el indicador supere el umbral de alerta y, la finalización de la alerta cuando el indicador esté a embalse lleno o rebalsando.

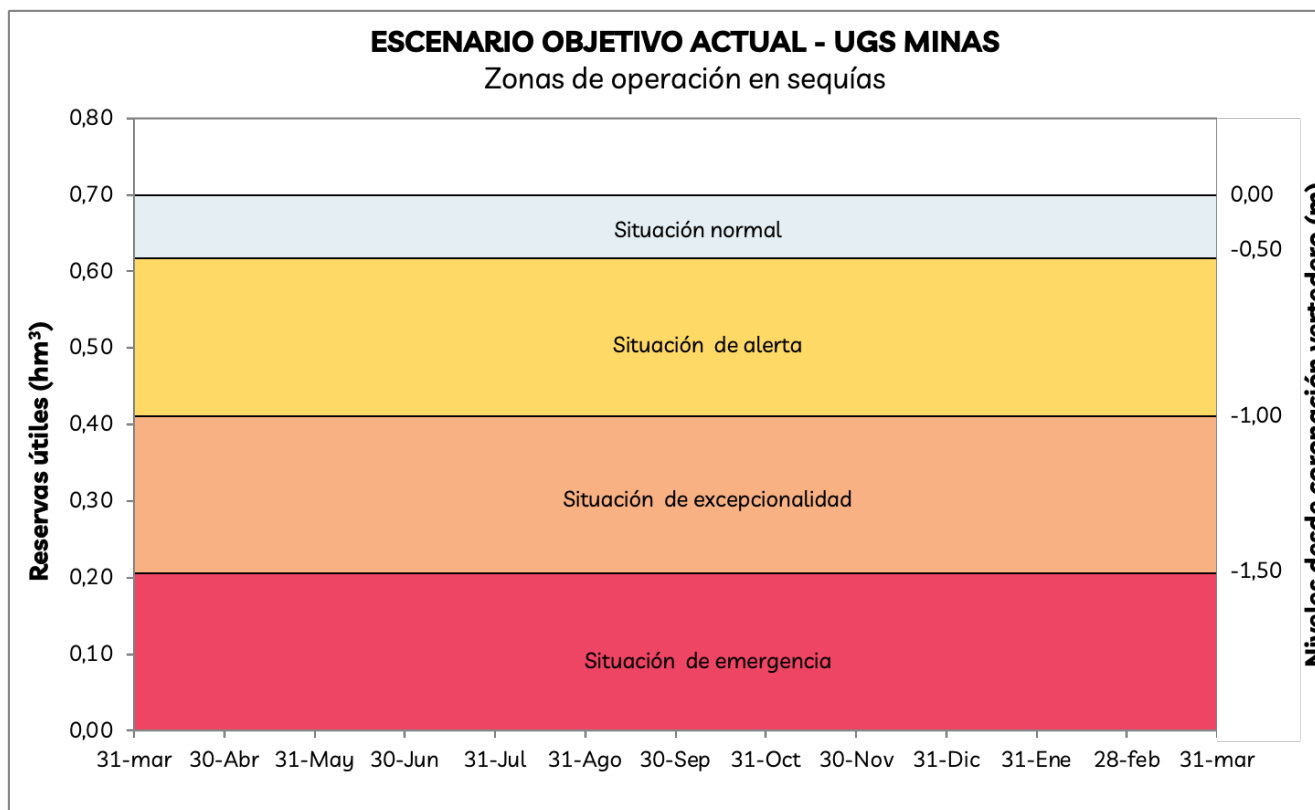


Figura 201 Valores mensuales de los umbrales de entrada y salida en el sistema Minas.



PES para el sistema de agua potable del área Metropolitana (de Montevideo) y del
Arroyo San Francisco en Ciudad de Minas, Uruguay
Informe Análisis de Alternativas y Protocolo del Escenario Objetivo

Tabla 38 Regla de operación del Sistema Minas.

	Demanda Abastecimiento y restricciones ambientales												Oferta Extraordinaria y Regla de operación	
NORMALIDAD	Volumen Objetivo por centro de producción complementario (hm³)													Orden de prelación general: - Se dota el área de la zona de pozos con agua subterránea. El volumen mensual objetivo responde a la actual producción de 30 m³/h. - El resto de la demanda se satisface con agua desde la usina principal de Maggiolo. - El caudal ambiental en presa Maggiolo se da por rebalse o por válvula de fondo, pero si el caudal entrante es menor al ambiental, se desembalsará ese valor entrante.
		ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT. ^{BRE}	OCT. ^{BRE}	NOV. ^{BRE}	DIC. ^{BRE}	ENERO	FEB ^{RO}	MARZO	
	U. Respaldo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Pozos	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,020	0,022	
	Volumen Máximo Demanda Mensual (hm³)													
	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOS ^{TO}	SEPT. ^{BRE}	OCT. ^{BRE}	NOV. ^{BRE}	DIC. ^{BRE}	ENERO	FEB ^{RO}	MARZO		
V Total	0,193	0,195	0,182	0,183	0,2	0,199	0,217	0,217	0,221	0,248	0,208	0,239		
	(Los valores mensuales podrán variar en un +5% siempre y cuando el anual acumulado no supere los 2,5 hm³)													
	Volumen Máximo Mensual Liberado en concepto de caudal ambiental (hm³)													
	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOS ^{TO}	SEPT. ^{BRE}	OCT. ^{BRE}	NOV. ^{BRE}	DIC. ^{BRE}	ENERO	FEB ^{RO}	MARZO		
Maggiolo	0,544	0,562	0,544	0,562	0,964	0,933	0,964	0,933	0,187	0,187	0,169	0,187		
ALERTA	Volumen Objetivo por centro de producción complementario (m³/h)													Orden de prelación general: - Se amplía el área abastecida con agua subterránea. El volumen mensual objetivo responde a la producción de 60 m³/h. - Se inicia la producción de la usina de respaldo a un tercio de su capacidad máxima (67 m³/h). - El resto de la demanda se satisface con agua desde la usina principal de Maggiolo. - No se aplican caudales ambientales. - Se activa la preparación de las campañas de sensibilización ciudadana. - Se activa la preparación de un plan de manejo de presiones y planificación de bombeos optimizado.
		ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT. ^{BRE}	OCT. ^{BRE}	NOV. ^{BRE}	DIC. ^{BRE}	ENERO	FEB ^{RO}	MARZO	
	U. Respaldo	0,048	0,050	0,048	0,050	0,050	0,048	0,050	0,048	0,050	0,050	0,045	0,050	
	Pozos	0,043	0,045	0,043	0,045	0,045	0,043	0,045	0,043	0,045	0,045	0,040	0,045	
	Volumen Máximo Demanda Mensual (hm³)													
		ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOS ^{TO}	SEPT. ^{BRE}	OCT. ^{BRE}	NOV. ^{BRE}	DIC. ^{BRE}	ENERO	FEB ^{RO}	MARZO	
	V Total	0,193	0,195	0,182	0,183	0,2	0,199	0,217	0,217	0,221	0,248	0,208	0,239	
		(Los valores mensuales podrán variar en un +5% siempre y cuando el anual acumulado no supere los 2,5 hm³)												



PES para el sistema de agua potable del área Metropolitana (de Montevideo) y del
Arroyo San Francisco en Ciudad de Minas, Uruguay
Informe Análisis de Alternativas y Protocolo del Escenario Objetivo

EXCEPCIONALIDAD

Volumen Objetivo por centro de producción complementario (m³/h)

	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT. ^{BRE}	OCT. ^{BRE}	NOV. ^{BRE}	DIC. ^{BRE}	ENERO	FEB ^{RO}	MARZO
U. Respaldo	0,096	0,099	0,096	0,099	0,099	0,096	0,099	0,096	0,099	0,099	0,090	0,099
Pozos	0,043	0,045	0,043	0,045	0,045	0,043	0,045	0,043	0,045	0,045	0,040	0,045

Volumen Máximo Demanda Mensual (hm³)

	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOS ^{TO}	SEPT. ^{BRE}	OCT. ^{BRE}	NOV. ^{BRE}	DIC. ^{BRE}	ENERO	FEB ^{RO}	MARZO
V Total	0,176	0,177	0,166	0,167	0,182	0,181	0,197	0,197	0,201	0,226	0,189	0,217

(Los valores mensuales podrán variar en un +5% siempre y cuando el anual acumulado no supere los **2,275 hm³**)

Orden de prelación general:

- Se mantiene el área abastecida con agua subterránea a la producción de 60 m³/h.
- Se amplía la producción de la usina de respaldo a dos tercios de su capacidad máxima (133 m³/h).
- El resto de la demanda se satisface con agua desde la usina principal de Maggiolo.
- No se aplican caudales ambientales.
- Se inician de las campañas de sensibilización ciudadana.
- Se inicia la aplicación de un plan de manejo de presiones y detección temprana de pérdidas y fraude.
- Se identifican posibles áreas que puedan quedar desabastecidas en la fase de emergencia y se preparan acciones para mitigarlas.

EMERGENCIA

Volumen Objetivo por centro de producción complementario (m³/h)

	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT. ^{BRE}	OCT. ^{BRE}	NOV. ^{BRE}	DIC. ^{BRE}	ENERO	FEB ^{RO}	MARZO
U. Respaldo	0,144	0,149	0,144	0,149	0,149	0,144	0,149	0,144	0,149	0,149	0,134	0,149
Pozos	0,043	0,045	0,043	0,045	0,045	0,043	0,045	0,043	0,045	0,045	0,040	0,045

Volumen Máximo Demanda Mensual (hm³)

	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOS ^{TO}	SEPT. ^{BRE}	OCT. ^{BRE}	NOV. ^{BRE}	DIC. ^{BRE}	ENERO	FEB ^{RO}	MARZO
V Total	0,170	0,172	0,160	0,161	0,176	0,175	0,191	0,191	0,194	0,218	0,183	0,210

(Los valores mensuales podrán variar en un +5% siempre y cuando el anual acumulado no supere los **2,2 hm³**)

Orden de prelación general:

- Se mantiene el área abastecida con agua subterránea a la producción de 60 m³/h.
- Se amplía la producción de la usina de respaldo a su capacidad máxima (200 m³/h) siempre que haya caudal fluyente en la toma del Sta. Lucía.
- El resto de la demanda se satisface con agua desde la usina principal de Maggiolo.
- No se aplican caudales ambientales.
- Se intensifican las campañas de sensibilización y el control de presiones y pérdidas.
- Abastecimientos con camiones cisterna donde haya fallas del servicio.



7.2 Propuesta de implementación de actuaciones y hoja de ruta recomendada

7.2.1 Recomendaciones respecto al monitoreo

Los elementos limitantes de este análisis son todos relativos a la confiabilidad de los datos de caudal en situaciones de estiaje. Esta falta de confiabilidad no solamente existe en los datos fluviales, sino también a las descargas de fondo y rebalses de la presa Maggiolo. En situación de normalidad y abundancia los niveles de agua existentes exceden en mucho las necesidades de la usina principal Maggiolo, lo que desvanece la influencia de cualquier efecto de error en la medida. En situación de sequía y ante la necesidad de una estricta eficiencia en el manejo del agua en esos casos, ese error o falta de precisión puede ser del orden de magnitud del propio valor medido o supuesto y, por eso se transforma en un factor clave y muy limitante que generaliza la inseguridad en los datos simulados o la incertidumbre a la que estuvieron sometidos los responsables de la operación real en 2022-23. Se hace **imprescindible incluir puntos de monitoreo y mejora de la precisión de los existentes**, que permitan el balance continuo del recurso. En este sentido se recomienda:

Tabla 39 Recomendaciones de puntos y variables de medida.

Variable	Descripción	Tipo/Frec.
Balance Diario en Embalse Maggiolo		
Caudal saliente	Punto de control de descargas reales: estación de aforos de caudales salientes aguas abajo de la presa, centrada en caudales bajos, especialmente pensada para descargas de fondo o rebalses pequeños donde las fórmulas teóricas pueden estar afectadas de alto error por las irregularidades de labio del vertedero, la gran longitud del mismo, los cambios en las condiciones geométricas, etc. Se recomienda un algoritmo que cambie de forma automática en función del rango de medida a usar el caudal de cálculo de las curvas teóricas de los vertederos y compuertas a un caudal medido <i>in situ</i> a través de aforador o estación de medida con nivel único y curva de gasto, sistemas tipo <i>Parshall</i> o <i>Venturi</i> con medición de doble nivel o sistemas con medición de nivel y velocidad del flujo.	Medición directa en continuo
Caudales detraídos en vaso o cuerpo de presa	Colocación de un caudalímetro en el sistema de bombeo a la planta de tratamiento Maggiolo. Puede colocarse en el punto de recepción del agua.	Medición directa en continuo
Variación del volumen	Registro continuo del nivel del embalse y la deducción de la superficie de la lámina de agua y volúmenes retenidos para dicho nivel. Se utilizarán las curvas h-S-V más actualizadas y se aprovechará cualquier vaciado del embalse para hacer nuevos levantamientos de precisión, a poder ser con tecnología LIDAR.	Medición directa diaria o en continuo
Evaporación	Tanque evaporimétrico en las proximidades de la presa. De no poderse mantener, se podría utilizar el más cercano a la zona de la red meteorológica nacional. Para tener una correcta determinación de los valores de evaporación real, debe acompañarse al tanque evaporimétrico con un pluviómetro y, conviene una estación	Medición directa diaria



	meteorológica de soporte para el contraste con la determinación teórica de la evaporación.	
Caudal entrante	En la medida de lo posible debe medirse de forma directa con estación de aforos en el/los curso/s principal/es aportantes al vaso del embalse. En el caso de que las aportaciones sean muy difusas por todo el contorno de la presa, esta variable podrá ser deducida como balance de todas las anteriores suponiendo que no hay pérdidas o usando unas pérdidas teóricas.	Medición directa en continuo / Deducción por cálculo diario
Pérdidas y filtraciones	Última variable que deberá ser deducida y permitirá el cierre del balance.	Deducción por cálculo diario/ semanal

Control de aportes fluviales clave

EA en A° Minas Viejas	En la medida que este A° es susceptible de poder incorporar un volumen de regulación complementario al actual, se puede dotar el punto donde está prevista la presa de un sistema de aforos simple. El punto puede dotarse de escala limnimétrica y adecuación del cauce para concentrar los flujos a medir como apoyo a campañas de aforo <i>in situ</i> o por vadeo, con el objeto de establecer una curva de gasto y que se puedan registrar niveles con frecuencia durante los años siguientes.	Medición directa por campañas
EA en Santa Lucía	Repetir unas medidas de apoyo a la medición equivalentes a la anterior para el punto de la toma de la usina de respaldo en el río Santa Lucía (área del camping de Cerro Arequita).	Medición directa por campañas

Control del acuífero

Piezómetro	Debido al creciente peso de este recurso en la combinación de fuentes del abastecimiento de la Ciudad de Minas, se recomienda construir un piezómetro de control que permita ver los efectos de la explotación del acuífero. Podrá usarse un pozo en desuso alternativamente, pero en cualquier caso deberá estar en un área no influenciada por los conos de depresión de las extracciones. Se trata de medir la evolución y tendencias del nivel estático.	Medición directa por campañas
------------	--	-------------------------------

Lo comentado para A° Minas Viejas y Santa Lucía puede extrapolarse a otros lugares donde los responsables de OSE estimen un potencial hídrico movilizable en sequías, por ejemplo, en A° Campanero. El objetivo final de esta recomendación es aumentar el conocimiento hídrico local, en especial en momentos de estiaje.

7.2.2 Posible hoja de ruta

Se asume que de forma inminente las mejoras en la red permitirán usar toda la capacidad productiva de la usina de respaldo. También se cuenta con una mayor capacidad de extracción de aguas subterráneas fruto de un proceso de **perforación de nuevos pozos** en la zona. Con esto y los ajustes al actual protocolo de sequías de ciudad de Minas, especialmente en los valores objetivo de demanda reducida que se han de conseguir en excepcionalidad y emergencia, **el sistema está preparado** para superar otro evento como el de 2022-23 o incluso algo peor (-10% de las aportaciones). La propuesta de protocolo también permite cumplir con el **caudal ambiental** de presa Maggiolo consensuado en las reuniones, cuando éste sea de obligado cumplimiento. **Es imprescindible mejorar la medición** que ayudará a tener un conocimiento detallado del comportamiento hidrológico



de las distintas fuentes, desvanecer dudas de los aportes de estiaje y validar las hipótesis de trabajo de este estudio.

A futuro, como se ha visto en los escenarios consolidados, solo soluciones muy poco probables de producirse ofrecen al sistema la robustez suficiente para asumir más demanda y más caudales ambientales, ante un entorno de posible intensificación de los episodios de sequía. Las alternativas ESC35-1 y ESC35-4 nos demuestran que pueden darse medidas que refuercen el sistema para asumir un poco más de demanda o algún escalón más del cumplimiento de caudales ambientales, con riesgos (resultados muy al límite). Un posible proceso de complementos a medio plazo para aumentar la robustez del sistema sería:

- **Inmediatamente**, implementar el **protocolo de gestión de sequías** propuesto en este apartado, **consolidando las nuevas infraestructuras** ya en marcha.
- **A muy corto plazo**, impulsar acciones de mejora de la confiabilidad de la información, a través de la mejora en la red de monitoreo y los elementos de gestión *on-line* de los datos y utilización de herramientas de ayuda a la decisión.
- **A corto plazo**, impulsar acciones de mejora de la eficiencia de la red de distribución del agua potable en el sistema Minas. En concreto, recuperar y si es posible mejorar ligeramente los niveles de reducción del agua no contabilizada previos a 2024. Estudiar con mayor detalle el acuífero basal que se está explotando para detectar potencialidades y valorar construir más pozos de sequía, es decir, con carácter de uso puntual para pulsos de sobreexplotación sólo en situaciones límite. Este estudio debería ir acompañado de la valoración de los ajustes o adecuaciones en la red de distribución para poder asumir mayor demanda D3 (área satisfecha desde pozos).
- **A medio plazo (10 años)**, llegar a construir la presa del A° Minas Viejas o nuevos pozos de sequía.

Sin más, se presenta este tercer entregable desde Barcelona, en 30 de marzo de 2025.

Jordi J. Pastor Justo

CEO

(nueva versión corregida fines de mayo 2025)



Contact us

info@ingwater.com

+34 682 278 179