



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRANSPORTES, MOVILIDAD
Y AGENDA URBANA

VICEPRESIDENCIA
CUARTA DEL GOBIERNO

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

NOTA TÉCNICA SOBRE LA PROPUESTA DE ACTUALIZACIÓN PARCIAL DE LA REGLA DE EXPLOTACIÓN DEL TRASVASE TAJO-SEGURA

Junio de 2020

CENTRO DE ESTUDIOS HIDROGRÁFICOS

PASEO BAJO DE LA VIRGEN DEL
PUERTO, 3
28005 MADRID
TEL: 91 335 79 00
FAX: 91 335 79 22



ES09/6695



ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
2	ANTECEDENTES	3
2.1	LOS ESTUDIOS TÉCNICOS Y LA EVOLUCIÓN DE LA REGLA	3
2.2	SERIE HISTÓRICA DE TRASVASES	6
3	FUNCIONAMIENTO DE LA REGLA DE EXPLOTACIÓN VIGENTE	8
3.1	INDICADORES DE EXPLOTACIÓN	8
3.2	FUNCIONAMIENTO INICIAL DE LA REGLA	9
3.3	APORTACIONES HIDROLÓGICAS DE LOS AÑOS RECIENTES	10
3.4	FUNCIONAMIENTO ACTUAL DE LA REGLA.....	12
4	POSIBLES MODIFICACIONES DE LA REGLA	15
4.1	VOLUMEN DE TRASVASE EN NIVEL 2.....	16
4.2	EXISTENCIAS Y APORTACIONES ACUMULADAS EN NIVEL 1.....	19
5	SELECCIÓN DE LOS VALORES DE ACTUALIZACIÓN DE LA REGLA	26
6	COMPARACIÓN CON LA SERIE HISTÓRICA DE TRASVASES	31
7	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	35
7.1	VOLUMEN DE TRASVASE EN NIVEL 3.....	35
7.2	CURVA DE DEFINICIÓN DE CONDICIONES EXCEPCIONALES	37
7.3	EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE LA REGLA DEL TERCIO	39
8	CONSIDERACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO	42
9	COMPARACIÓN DE LA ACTUALIZACIÓN PROPUESTA CON LA REGLA VIGENTE	48
10	CONCLUSIONES	52



CEDEX

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Trasvases anuales desde la entrada en servicio del ATS (1980/81-2018/19).....	7
Figura 2. Aportaciones anuales desde la entrada en servicio del trasvase (1980/81-2018/19).	11
Figura 3. Aportaciones anuales clasificadas (1980/81-2018/19). Los puntos destacados corresponden a los siete últimos años hidrológicos	12
Figura 4. Evolución de las reservas en Entrepeñas y Buendía desde la entrada en vigor de la regla actual	14
Figura 5. Indicadores de explotación en función del volumen de trasvase en nivel 2.....	17
Figura 6. Coeficientes de variación y de irregularidad en función del volumen de trasvase en nivel 2.....	18
Figura 7. Histogramas acumulados de existencias embalsadas y de aportaciones acumuladas en 12 meses	20
Figura 8. Indicadores de explotación en función de las aportaciones acumuladas y de las existencias embalsadas para volúmenes de trasvase en nivel 2 de 24 y 26 hm ³ /mes.....	22
Figura 9. Probabilidad de nivel 3 en función del volumen de trasvase en nivel 2 y del umbral de existencias entre nivel 1 y 2 (aportaciones acumuladas en 12 meses con valor vigente de 1200 hm ³).	24
Figura 10. Probabilidad de nivel 3 en función del volumen de trasvase en nivel 2 y del umbral de aportaciones acumuladas en 12 meses (umbral de existencias con valor vigente de 1300 hm ³).	25
Figura 11. Trasvase medio y coeficiente de irregularidad para el conjunto de soluciones factibles.....	27
Figura 12. Soluciones factibles, solución ideal y conjunto de soluciones no-inferiores.....	29
Figura 13. Trasvases anuales históricos y obtenidos con la regla propuesta.....	32
Figura 14. Trasvases anuales para abastecimiento. Valores históricos y valores obtenidos con la regla propuesta.....	34
Figura 15. Trasvases anuales para riego. Valores históricos y valores obtenidos con la regla propuesta.....	35
Figura 16. Indicadores de explotación en función del volumen de trasvase en nivel 3.....	36
Figura 17. Indicadores de explotación en función del desplazamiento de la curva de condiciones excepcionales.....	38
Figura 18. Regla del tercio. Trasvase mensual en situación excepcional en función de la disponibilidad trimestral.....	39
Figura 19. Trasvases mensuales con la actualización de regla con activación y sin activación de la regla del tercio.....	41
Figura 20. Cambios en la escorrentía anual (%) para el periodo 2010-2040 según los escenarios climáticos RCP 4.5 (izda.) y RCP 8.5 (dcha.) en la parte española de la demarcación hidrográfica del Tajo.....	43
Figura 21. Cambios en la escorrentía anual (%) para el periodo 2010-2040 según los escenarios climáticos RCP 4.5 (izda.) y RCP 8.5 (dcha.). Detalle de la cuenca vertiente a Bolarque.....	43
Figura 22. Aportaciones anuales desde la entrada en servicio del trasvase (1980/81-2018/19).	45
Figura 23. Existencias mensuales embalsadas obtenidas con la serie de referencia y con las series modificadas con los coeficientes de cambio climático.....	46
Figura 24. Trasvases mensuales obtenidos con la regla vigente y con los nuevos parámetros.	47
Figura 25. Trasvases mensuales obtenidos con la regla vigente y con la regla propuesta.	49
Figura 26. Trasvases anuales obtenidos con la regla vigente y con la regla propuesta.	50
Figura 27. Existencias mensuales embalsadas obtenidas con la regla vigente y con la regla propuesta.....	51
Figura 28. Porcentaje de presentación de niveles con la regla vigente y con la nueva regla.....	52



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Definición de la regla de explotación original (1997).....	4
Tabla 2. Existencias conjuntas (hm ³) en Entrepeñas y Buendía que definían las situaciones hidrológicas excepcionales en la regla original de 1997.	4
Tabla 3. Definición de la regla de explotación vigente (2014).....	5
Tabla 4. Existencias conjuntas (hm ³) en Entrepeñas y Buendía que definen las situaciones hidrológicas excepcionales en la regla vigente (2014).....	5
Tabla 5. Parámetros de las reglas de explotación original y vigente	5
Tabla 6. Distribución de los volúmenes trasvasados.	8
Tabla 7. Indicadores de explotación con la parametrización propuesta en el informe de 2013 (periodo de cálculo 1980/81-2011/12).	9
Tabla 8. Indicadores de explotación con la propuesta inicial de 2013 y la finalmente aprobada en 2014 (periodo de cálculo 1980/81-2011/12).....	10
Tabla 9. Aportaciones medias recientes.....	11
Tabla 10. Indicadores de explotación con la regla vigente y con la propuesta de 2013 en el periodo 1980/81-2018/19	13
Tabla 11. Indicadores de explotación de la regla vigente en los periodos 1980/81-2011/12 y 1980/81-2018/19.....	13
Tabla 12. Indicadores de explotación con la regla vigente y con trasvases en nivel 2 de 24 y 26 hm ³ /mes.....	19
Tabla 13. Parámetros de la regla e Indicadores de explotación de las soluciones no-inferiores.....	29
Tabla 14. Definición de la regla de explotación propuesta	31
Tabla 15. Indicadores de explotación con la nueva combinación de parámetros.	31
Tabla 16. Distribución por usos de las aguas trasvasadas con los nuevos parámetros.	33
Tabla 17. Indicadores de explotación con los nuevos parámetros y aplicación de la regla del tercio. 40	
Tabla 18. Indicadores de explotación con reducciones de las aportaciones por efecto del cambio climático.....	47

1 INTRODUCCIÓN

La explotación del trasvase Tajo-Segura está sujeta a una regla cuyos criterios de aplicación y parámetros de control se establecen y definen en la disposición adicional quinta de la Ley 21/2015, por la que se modifica la Ley 43/2003, de Montes, y en el real decreto 773/2014 por el que se aprueban diversas normas reguladoras del trasvase Tajo-Segura.

Los valores de los parámetros de la regla dependen, fundamentalmente, de las condiciones hidrológicas y de los usos del agua y requerimientos ambientales en la cabecera del Tajo. Como es lógico, estos pueden cambiar a lo largo del tiempo, por lo que la Ley prevé la posibilidad de modificar dichos valores para adaptarse a las nuevas circunstancias y condiciones, minimizando la presentación de situaciones hidrológicas excepcionales y dotando de mayor estabilidad a los suministros¹.

Los fundamentos técnicos de la regla vigente se encuentran en el documento *El sistema de cabecera del Tajo y el trasvase Tajo-Segura*, elaborado por Francisco Cabezas en diciembre de 2013², aunque no todas sus conclusiones fueron tenidas en cuenta. Durante la tramitación del real decreto se decidió mantener alguna de las cifras de la regla original, lo que supuso que la nueva regla comenzara su funcionamiento con una mayor probabilidad de partida de incurrir en situaciones hidrológicas excepcionales, desviándose desde el inicio de los valores considerados admisibles.

En el momento de la elaboración de ese estudio se disponía de la información contenida en el borrador del plan hidrológico del Tajo, que se encontraba entonces en revisión y que fue aprobado en enero de 2016³, y de los datos de aportaciones a los embalses de Entrepeñas y Buendía hasta el año hidrológico 2011/12.

Desde ese año hasta ahora se ha presentado un periodo seco en estas aportaciones, que incluso han llegado a registrar en 2016/17 el peor año hidrológico desde la entrada en servicio del trasvase.

La combinación de la inadecuada cifra de partida y la adversa hidrología de estos últimos años ha tenido como consecuencia que la probabilidad de presentación de condiciones hidrológicas excepcionales (nivel 3) o de ausencia de recursos trasvasables (nivel 4) sea

¹ “Con el único objetivo de dotar de mayor estabilidad interanual a los suministros, minimizando la presentación de situaciones hidrológicas excepcionales a las que se refiere el nivel 3, sin modificar en ningún caso el máximo anual de agua trasvasable, a propuesta justificada del Ministerio competente en materia de aguas, y previo informe favorable de la Comisión Central de Explotación del Acueducto Tajo-Segura, podrán modificarse, mediante real decreto, tanto el volumen de existencias y el de aportaciones acumuladas contemplados en el nivel 1, como los volúmenes de trasvase mensual correspondientes a los niveles 1, 2, 3 y los volúmenes de existencias para cada mes correspondientes al nivel 3.” (Ley 21/2015, de 20 de julio, por la que se modifica la Ley 43/2003, de 21 de noviembre, de Montes. Disposición adicional quinta).

² Disponible en https://www.miteco.gob.es/images/es/Anexo%20tecnico%20ATS_tcm30-136922.pdfhttps://www.miteco.gob.es/images/es/Anexo%20tecnico%20ATS_tcm30-136922.pdf

³ Real Decreto 1/2016, de 8 de enero, por el que se aprueba la revisión de los Planes Hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Occidental, Guadalquivir, Ceuta, Melilla, Segura y Júcar, y de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Oriental, Miño-Sil, Duero, Tajo, Guadiana y Ebro.

excesivamente elevada, pudiendo llegar a alcanzar la mitad del tiempo de operación, lo que no es admisible desde el punto de vista de una explotación regular y estable.

Esta situación ha sido mucho más acusada en el periodo que ha transcurrido desde que entró en vigor la regla actual, en octubre de 2014. Durante estos años, la situación hidrológica excepcional ha sido la más habitual y el sistema se ha mantenido en nivel 4 (trasvase nulo) varios meses. En total el sistema se ha encontrado en condiciones de excepcionalidad (nivel 3 o 4) las tres cuartas partes del tiempo. Aunque se trata de un periodo poco representativo, por su escasa duración, una cifra tan elevada sin duda ha contribuido a agudizar la percepción de un mal funcionamiento del trasvase, desde el punto de vista de la regularidad de los suministros.

Todo ello pone de manifiesto la conveniencia de actualizar los parámetros de la regla de explotación, de forma que la situación excepcional se presente con una frecuencia aceptable.

Esta idea de actualizar la regla de explotación ya era manifestada de forma reiterada en el informe de 2013, en el que se aludía a la conveniencia de que los parámetros de la regla se revisaran periódicamente.

De acuerdo con este planteamiento, la Comisión Central de Explotación del Acueducto Tajo-Segura, en su reunión del pasado 26 de mayo, acordó encargar al Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) la realización de un informe que analice las razones de la elevada ocurrencia de situaciones hidrológicas excepcionales (nivel 3) en la aplicación de las normas de explotación del acueducto, teniendo como referencia la última información hidrológica disponible. El informe, según el encargo, debe revisar la norma para minimizar este tipo de situaciones, dotando así de una mayor estabilidad al sistema.

Desde que se realizó el informe en el que se basa la regla actual, se dispone de la nueva información hidrológica obtenida hasta el año 2018/19 (último año hidrológico completo), es decir, siete años más de datos. Sin embargo, no se dispone de un nuevo plan que recoja y actualice las modificaciones que sobre los requerimientos ambientales y las demandas de agua en la cabecera del Tajo hayan podido producirse desde entonces. Actualmente el plan se encuentra en proceso de revisión y su aprobación se espera para diciembre de 2021⁴.

Al no disponerse todavía siquiera de un borrador del nuevo plan que actualice la información con la que se elaboró la regla vigente, cualquier modificación de la regla será necesariamente parcial, pues solo podrá basarse en la actualización de la información hidrológica, sin poder disponer de la información actualizada sobre los usos del agua y requerimientos ambientales en la cabecera del Tajo, que deben establecerse en el plan. Desde ese punto de vista, el momento indicado para la actualización completa de la regla sería el de la entrada en vigor del nuevo plan hidrológico del Tajo.

⁴ El plan se encuentra en fase de consulta pública del Esquema Provisional de Temas importantes. El plazo de consulta pública previsto (seis meses) quedó suspendido durante el periodo de vigencia de la declaración de estado de alarma, de conformidad con la disposición adicional tercera del Real Decreto 463/2020, de 14 de marzo, por el que se declara el estado de alarma para la gestión de la situación de crisis sanitaria ocasionada por el COVID-19, y se ha reanudado a partir del 1 de junio de 2020 (artículo 9 del Real Decreto 537/2020, de 22 de mayo, por el que se prorroga el estado de alarma), por lo que se ha resuelto ampliar el plazo de la consulta hasta el 30 de octubre de 2020.

El objeto de este informe es presentar el estudio realizado en cumplimiento del encargo recibido de la Comisión Central de Explotación.

Comienza con una revisión de los antecedentes, en particular los estudios técnicos en los que se ha basado la regla de explotación, y su evolución desde 1997, año en que se aprobó la primera versión. Se incluye en este capítulo la serie histórica de los trasvases realizados, un referente básico para la interpretación de los resultados de la aplicación de la regla

A continuación se analiza el funcionamiento de la regla de explotación vigente, para lo que se define un conjunto de indicadores de explotación que permiten evaluar el rendimiento del trasvase. Se comprueba el funcionamiento inicial de la regla en el momento de su entrada en vigor y se compara con su funcionamiento actual, tras la incorporación de la información hidrológica de los años recientes.

Una vez analizado su funcionamiento y constatada la conveniencia de la actualización de la regla, se identifican sus posibles modificaciones, limitadas tanto por la habilitación legal para realizar cambios como por la disponibilidad de la información necesaria para proceder a la actualización. En estas condiciones, las modificaciones tienen un carácter parcial, al no disponerse aún de la nueva revisión del plan del Tajo, y se limitan al volumen de trasvase en nivel 2 y a las existencias y aportaciones acumuladas que definen el nivel 1.

Identificados los posibles cambios, se procede a seleccionar la solución que se considera más conveniente mediante técnicas de programación multiobjetivo. La solución seleccionada se somete a continuación a un análisis de sensibilidad para comprobar su validez, suponiendo que se producen cambios en el volumen máximo de trasvase en nivel 3 y en la curva de definición de situaciones excepcionales. También se analiza el efecto que tiene la aplicación de la denominada regla del tercio, que utiliza la Comisión cuando el sistema se encuentra en nivel 3.

Aunque la regla de explotación tiene un carácter adaptativo que permite que se afronten situaciones hidrológicas más adversas que las históricas, se ha considerado oportuno incluir en el informe un capítulo sobre el cambio climático, con objeto de identificar su posible impacto en las aportaciones a Entrepeñas y Buendía y su efecto en la aplicación de la nueva regla propuesta.

Se realiza a continuación una comparación entre los resultados obtenidos con la regla propuesta y con la regla vigente, para finalizar con la exposición de las principales conclusiones del estudio.

2 ANTECEDENTES

2.1 LOS ESTUDIOS TÉCNICOS Y LA EVOLUCIÓN DE LA REGLA

La regla de explotación original fue aprobada por la Comisión Central de Explotación del Acueducto Tajo-Segura en su reunión de 28 de noviembre de 1997. Se describe detalladamente en la publicación del año 2000 del Ministerio de Medio Ambiente, *Tres casos de planificación hidrológica*⁵, en la que se incluye su justificación técnica, su comparación con otras reglas y los pasos a seguir en su aplicación práctica.

⁵ *Tres casos de planificación hidrológica*, Ministerio de Medio Ambiente (2000), ISBN 84-8320-106-2, pág. 69-122.

Esta regla quedaba definida por los parámetros indicados en la tabla siguiente.

Nivel	Condiciones	Volumen trasvasable (hm ³ /mes)
1	Existencias conjuntas en Entrepeñas y Buendía iguales o mayores que 1.500 hm ³ o aportaciones conjuntas entrantes a estos embalses en los últimos doce meses iguales o mayores que 1.000 hm ³ .	68
2	Existencias conjuntas en Entrepeñas y Buendía inferiores a 1.500 hm ³ , sin llegar a los volúmenes previstos en Nivel 3, y aportaciones conjuntas registradas en los últimos doce meses inferiores a 1.000 hm ³ .	38
3	Existencias conjuntas en Entrepeñas y Buendía inferiores, a comienzos de mes, a los valores mostrados en la tabla siguiente.	Máximo 23
4	Existencias conjuntas en Entrepeñas y Buendía inferiores a 240 hm ³ .	0

Tabla 1. Definición de la regla de explotación original (1997).

La curva que marcaba el límite de las situaciones hidrológicas excepcionales, que en ese momento suponían la remisión a Consejo de Ministros para la autorización del correspondiente trasvase, es la mostrada en la tabla siguiente.

Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
456	467	476	493	495	496	504	541	564	554	514	472

Tabla 2. Existencias conjuntas (hm³) en Entrepeñas y Buendía que definían las situaciones hidrológicas excepcionales en la regla original de 1997.

Esta regla de explotación fue modificada mediante la Ley de Montes de 2015, que elevaba el umbral de reservas no trasvasables de 240 a 400 hm³, y mediante el real decreto de normas reguladoras del trasvase de 2014, que modificaba casi todos los demás parámetros.

La nueva regla, vigente desde entonces, queda definida por los parámetros indicados en la tabla siguiente.

Nivel	Condiciones	Volumen trasvasable (hm ³ /mes)
1	Existencias conjuntas en Entrepeñas y Buendía iguales o mayores que 1.300 hm ³ o aportaciones conjuntas entrantes a estos embalses en los últimos doce meses iguales o mayores que 1.200 hm ³ .	60
2	Existencias conjuntas en Entrepeñas y Buendía inferiores a 1.300 hm ³ , sin llegar a los volúmenes previstos en Nivel 3, y aportaciones conjuntas registradas en los últimos doce meses inferiores a 1.200 hm ³ .	38
3	Existencias conjuntas en Entrepeñas y Buendía no superan, a comienzos de mes, los valores mostrados en la tabla 1.	Máximo 20
4	Existencias conjuntas en Entrepeñas y Buendía inferiores a 400 hm ³ .	0

Tabla 3. Definición de la regla de explotación vigente (2014)

La nueva curva que define las situaciones hidrológicas excepcionales es la mostrada en la tabla siguiente.

Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
613	609	605	602	597	591	586	645	673	688	661	631

Tabla 4. Existencias conjuntas (hm³) en Entrepeñas y Buendía que definen las situaciones hidrológicas excepcionales en la regla vigente (2014).

En la tabla que se muestra a continuación se pueden comparar los valores de los parámetros de la regla en sus dos versiones, original y vigente.

Nivel	Regla original (1997)		Regla vigente (2014)	
	Condiciones	Volumen trasvasable (hm ³ /mes)	Condiciones	Volumen trasvasable (hm ³ /mes)
1	$V \geq 1500$ o $AP12 \geq 1000$	68	$V \geq 1300$ o $AP12 \geq 1200$	60
2	$V < 1500$ y $AP12 < 1000$	38	$V < 1300$ y $AP12 < 1200$	38
3	$V < \text{Curva mensual nivel 3}$	Máximo 23	$V \leq \text{Curva nivel mensual 3}$	Máximo 20
4	$V < 240$	0	$V < 400$	0

Tabla 5. Parámetros de las reglas de explotación original y vigente

Como se puede ver en la tabla, todos los parámetros de la regla de explotación original han sido modificados, excepto el volumen de trasvase mensual en nivel 2, que mantiene su valor inicial de 38 hm³/mes.

Los fundamentos técnicos de la modificación de la regla original se encuentran en el informe *El sistema de cabecera del Tajo y el trasvase Tajo-Segura*, realizado por Francisco Cabezas en diciembre de 2013. En este documento se analiza el sistema de cabecera del Tajo, se obtienen los desembalses de referencia, se calculan las reservas de cabecera

para fijar el umbral de trasvases, se identifican una serie de mejoras ambientales en la cabecera del Tajo, se definen las circunstancias hidrológicas excepcionales, se exploran los efectos de todo ello sobre el trasvase Tajo-Segura-Guadiana, se determinan los nuevos parámetros de la regla, incluyendo un nuevo procedimiento para su aplicación plurimensual, y se propone una nueva distribución por usos. Se trata de un documento de gran calidad técnica, en el que, a lo largo de sus cerca de 200 páginas, se tratan de forma exhaustiva todos los aspectos relacionados con la regla de explotación del trasvase.

En este informe se proponía modificar también el volumen de trasvase en nivel 2 y reducirlo a 30 hm³/mes. Como se demuestra en el informe, este valor de 30 hm³/mes era claramente preferible al valor original de 38. Sin embargo, durante la tramitación del real decreto se decidió mantener la cifra original de 38 hm³/mes⁶. Esta decisión, no justificada técnicamente, supuso que la nueva regla comenzara su funcionamiento con una mayor probabilidad de partida de incurrir en situaciones hidrológicas excepcionales -como se mostrará más adelante-, desviándose desde el inicio de los valores de diseño considerados admisibles.

Los antecedentes técnicos se completan con el estudio realizado por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX, por encargo de la Comisión Central de Explotación del Acueducto Tajo-Segura, para identificar un procedimiento objetivo de aplicación de la regla de explotación en situación hidrológica excepcional. Los resultados del estudio fueron presentados en la reunión de la Comisión celebrada el 6 de marzo de 2019 y se recogen en el informe titulado *Nota técnica sobre la aplicación de la regla de explotación del trasvase Tajo-Segura en situación hidrológica excepcional (nivel 3)*.⁷

El procedimiento consiste en determinar el trasvase de cada mes, si el sistema se encuentra en nivel 3, en función de la disponibilidad de los tres próximos meses. Así, el trasvase de un mes es la tercera parte de la disponibilidad trimestral si esta disponibilidad es superior a 22,5 hm³. En caso contrario, el trasvase se limita a 7,5 hm³, siempre que este volumen se encuentre disponible.

Además de estos estudios, desde enero de 2017 el CEDEX prepara los informes de situación que se presentan en las reuniones de la Comisión. Estos informes sintetizan los datos aportados por las confederaciones hidrográficas del Tajo, Guadiana, Júcar y Segura, la Mancomunidad de los Canales del Taibilla y la Junta de Andalucía, e incluyen un apartado específico de aplicación de la regla de explotación.⁸

2.2 SERIE HISTÓRICA DE TRASVASES

De acuerdo con la información facilitada por la Confederación Hidrográfica del Tajo, los trasvases realizados desde la entrada en operación del Acueducto son los que se muestran a continuación.

⁶ Se puede encontrar una descripción pormenorizada de esta tramitación y de las discusiones sobre este valor en el libro de Manuel Buitrago, *Agua que nos une. Crónica del Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo-Segura*, SCRATS, 2015, p. 427-429.

⁷ Disponible en https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/concesiones-y-autorizaciones/atssituacionseptiembre2019_tcm30-500915.pdf

⁸ Los informes realizados desde septiembre de 2018 están disponibles en: <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/concesiones-y-autorizaciones/Trasvase-Tajo-Segura/>

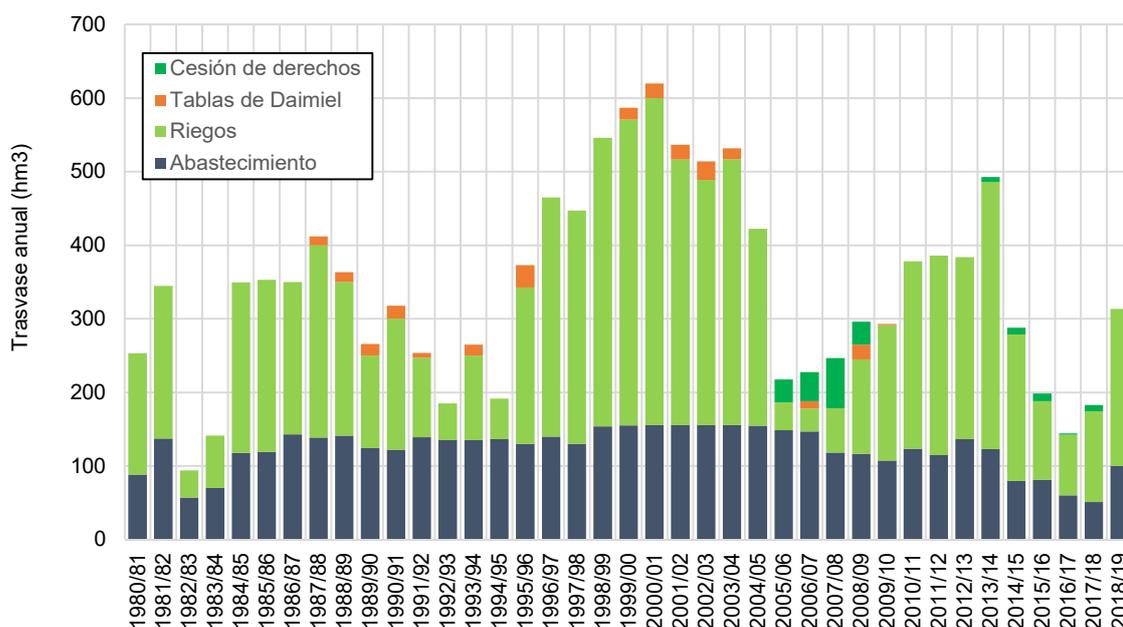


Figura 1. Traslases anuales desde la entrada en servicio del ATS (1980/81-2018/19).

En los 39 años completos de operación del trasvase se han enviado 339 hm³/año en valor promedio.⁹ El trasvase mínimo de la serie ha sido de 94 hm³ en 1982/83 y el máximo de 620 hm³ en el año 2000/01.

Los volúmenes destinados a abastecimiento han sido de 123 hm³/año de media, de los cuales 119 hm³/año han ido a la Mancomunidad de los Canales del Taibilla y 4 a la provincia de Almería. Por su parte, los volúmenes destinados a regadío han sido 205 hm³/año.

Se han trasvasado, además, 6 hm³ anuales de media a las Tablas de Daimiel.¹⁰ Y en concepto de cesión de derechos de uso del agua se han enviado otros 5 hm³ anuales de media.

⁹ No se consideran los traslases de los dos años iniciales en pruebas (1978/79 y 1979/80), en los que se enviaron 63 y 36 hm³, respectivamente.

¹⁰ En 2012/13 se trasvasó además 1 hm³ para abastecimiento del Guadiana.

	Volumen trasvasado (hm ³ /año)
Mancomunidad de los Canales del Taibilla	118,6
Abastecimiento Almería	4,4
Riegos	204,9
Tablas de Daimiel	6,1
Total	334,0

Tabla 6. Distribución de los volúmenes trasvasados.

Los volúmenes totales trasvasados para abastecimientos y riegos han sido 328 hm³ anuales de media en el periodo completo de funcionamiento del trasvase.

3 FUNCIONAMIENTO DE LA REGLA DE EXPLOTACIÓN VIGENTE

Con objeto de analizar el funcionamiento de la regla se definen, en primer lugar, los indicadores de explotación y sus valores admisibles, lo que permite valorar de una forma objetiva la operación del trasvase. A continuación se analiza el funcionamiento previsto para la regla en el momento en que fue definida y las aportaciones hidrológicas que han recibido desde entonces los embalses de Entrepeñas y Buendía. A la luz de esta información, se analiza el funcionamiento actual de la regla.

3.1 INDICADORES DE EXPLOTACIÓN

Se utilizan en este informe los mismos indicadores y los mismos objetivos que se emplearon en el informe de 2013, ya que se consideran adecuados para los fines perseguidos de valoración del funcionamiento y rendimiento del trasvase.

Los indicadores para los que se establecen valores admisibles de funcionamiento son los siguientes:

- Porcentaje de presentaciones de la situación de nivel 3: 20% como máximo.
- Porcentaje de presentaciones de la situación de nivel 4: 10% como máximo.
- Traslase mínimo anual: 90-100 hm³/año como mínimo.

Además, se utiliza otro conjunto de indicadores para los que no se establecen valores límite:

- Coeficiente de variación de la serie anual de trasvases: debe ser minimizado. Tiene el inconveniente de no considerar la secuencia de presentación de los datos, por lo que se tratan de la misma forma rachas largas que cortas.
- Coeficiente de irregularidad: permite superar las limitaciones del indicador anterior al basarse en los valores absolutos de las diferencias entre datos consecutivos.
- Traslase medio anual: verificado el cumplimiento de los valores admisibles, y a igualdad de otras condiciones, este indicador debe marcar la preferencia, por encima incluso de una ligeramente mayor irregularidad.
- Volumen medio anual vertido: vertidos incontrolados por llenado de los embalses.

Estos indicadores se expresan en unidades heterogéneas y su importancia relativa está sujeta a factores subjetivos. Por otra parte, no pueden alcanzarse simultáneamente los

valores óptimos para todos ellos, por lo que la propuesta que resulte finalmente adoptada habrá de ser necesariamente una solución de compromiso entre las diversas opciones posibles.

3.2 FUNCIONAMIENTO INICIAL DE LA REGLA

En el informe de 2013 se obtenía la siguiente parametrización de la regla, que posteriormente se sometía a un contraste final mediante series sintéticas:¹¹

- Volumen de trasvase en nivel 3: 20 hm³/mes.
- Volumen de trasvase en nivel 2: 30 hm³/mes.
- Volumen de trasvase en nivel 1: 60 hm³/mes.
- Aportaciones en los últimos doce meses en nivel 1: 1200 hm³.
- Existencias conjuntas en Entrepeñas y Buendía en nivel 1: 1300 hm³.

Con este conjunto de parámetros, los valores de los indicadores de explotación son los que se muestran en la tabla siguiente.

Indicador	Propuesta de 2013
Probabilidad nivel 1 (%)	12,2
Probabilidad nivel 2 (%)	62,0
Probabilidad nivel 3 (%)	20,3
Probabilidad nivel 4 (%)	5,5
Trasvase mínimo anual (hm3)	87
Trasvase medio anual (hm3)	355
Coefficiente de variación anual	0,347
Coefficiente irregularidad anual	0,261
Vertido medio anual (hm3)	0

Tabla 7. Indicadores de explotación con la parametrización propuesta en el informe de 2013 (periodo de cálculo 1980/81-2011/12).

Como puede apreciarse, los indicadores se ajustan, aproximadamente, a los valores de diseño.

Sin embargo, tal como se ha expuesto en los antecedentes, durante la tramitación de la modificación de la regla original se decidió mantener el valor inicial de 38 hm³/mes para el volumen de trasvase en nivel 2, que es el que finalmente se incluyó en el real decreto de 2014.

Con este valor de volumen trasvasable, los indicadores de explotación son los que se muestran a continuación, junto con los valores de la propuesta inicial.

¹¹ Cabezas, 2013, pág. 148

Indicador	Propuesta de 2013	RD de 2014
Probabilidad nivel 1 (%)	12,2	11,5
Probabilidad nivel 2 (%)	62,0	46,4
Probabilidad nivel 3 (%)	20,3	32,3
Probabilidad nivel 4 (%)	5,5	9,9
Trasvase mínimo anual (hm ³)	87	57
Trasvase medio anual (hm ³)	355	366
Coefficiente de variación anual	0,347	0,426
Coefficiente irregularidad anual	0,261	0,296
Vertido medio anual (hm ³)	0	0

Tabla 8. Indicadores de explotación con la propuesta inicial de 2013 y la finalmente aprobada en 2014 (periodo de cálculo 1980/81-2011/12).

Como se puede observar, el sistema pasa a estar menos tiempo en los niveles 1 y 2 y más tiempo en los niveles 3 y 4, el trasvase mínimo anual disminuye de forma apreciable y los dos indicadores de irregularidad también empeoran notablemente. El único indicador que mejora es el trasvase medio anual, que aumenta un 3%.

La probabilidad de situaciones de nivel 3 aumenta al 32%, superior al valor de diseño del 20%, y la probabilidad de nivel 4 sube al 10%. En total, la probabilidad de que el sistema se halle en una situación de excepcionalidad supera el 40%.

Como consecuencia de ello, la nueva regla entró en vigor en 2014 con una cifra ya de partida inadecuada, con una probabilidad de descender a situaciones hidrológicas excepcionales más alta de lo que se había considerado admisible en el proceso de re-parametrización de la regla.

3.3 APORTACIONES HIDROLÓGICAS DE LOS AÑOS RECIENTES

Para la realización del estudio de 2013 se había podido contar con la información hidrológica disponible hasta el año 2011/12. Hasta entonces, la aportación anual durante el periodo de funcionamiento del trasvase (1980/81-2011/12) fue de unos 760 hm³/año en promedio.

Desde entonces se ha podido disponer de otros siete años hidrológicos completos, durante los cuales se ha presentado un ciclo seco, como puede apreciarse en la figura siguiente. La aportación media de este nuevo periodo adicional se ha reducido a 656 hm³/año, registrándose en 2016/17 el peor año desde que entró en operación el trasvase, con un mínimo histórico de 307 hm³.

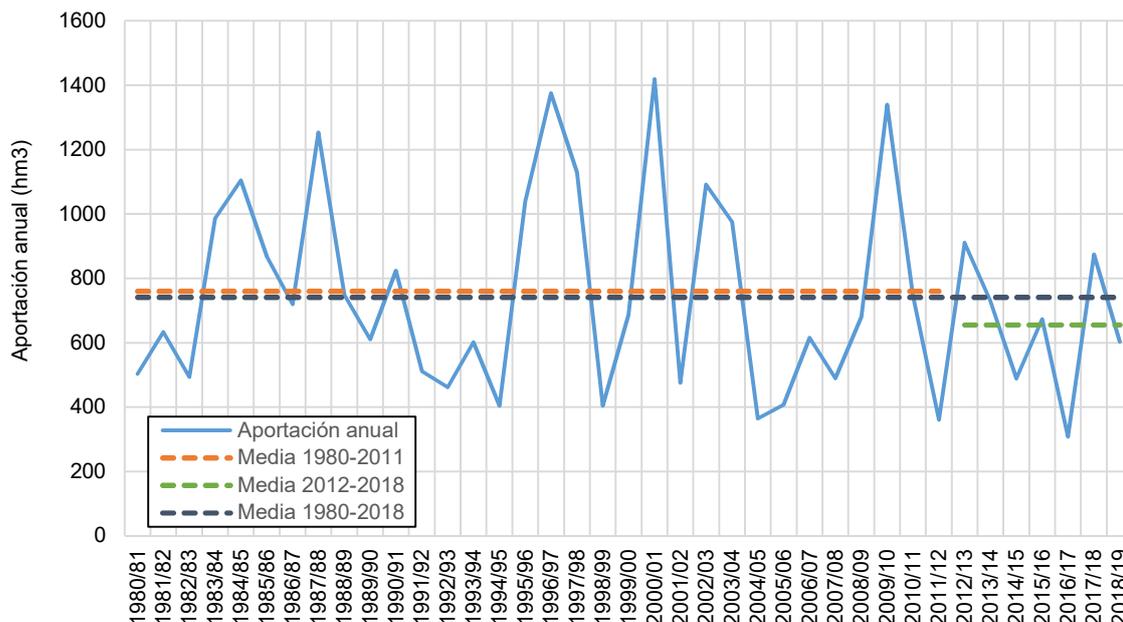


Figura 2. Aportaciones anuales desde la entrada en servicio del trasvase (1980/81-2018/19).

El nuevo promedio de aportaciones a Entrepeñas y Buendía hasta el año 2018/19, es decir, durante el periodo completo disponible desde que entró el trasvase en funcionamiento, es de 741 hm³/año, lo que supone una reducción del promedio de aportaciones de casi un 3% en los últimos siete años.

Periodo	Aportación media (hm ³ /año)
1980/81-2011/12	760,1
2012/13-2018/19	655,6
1980/81-2018/19	741,3

Tabla 9. Aportaciones medias recientes

En la figura siguiente se muestran las aportaciones anuales del periodo completo clasificadas de mayor a menor, y se representan los puntos correspondientes a las aportaciones de los últimos siete años.

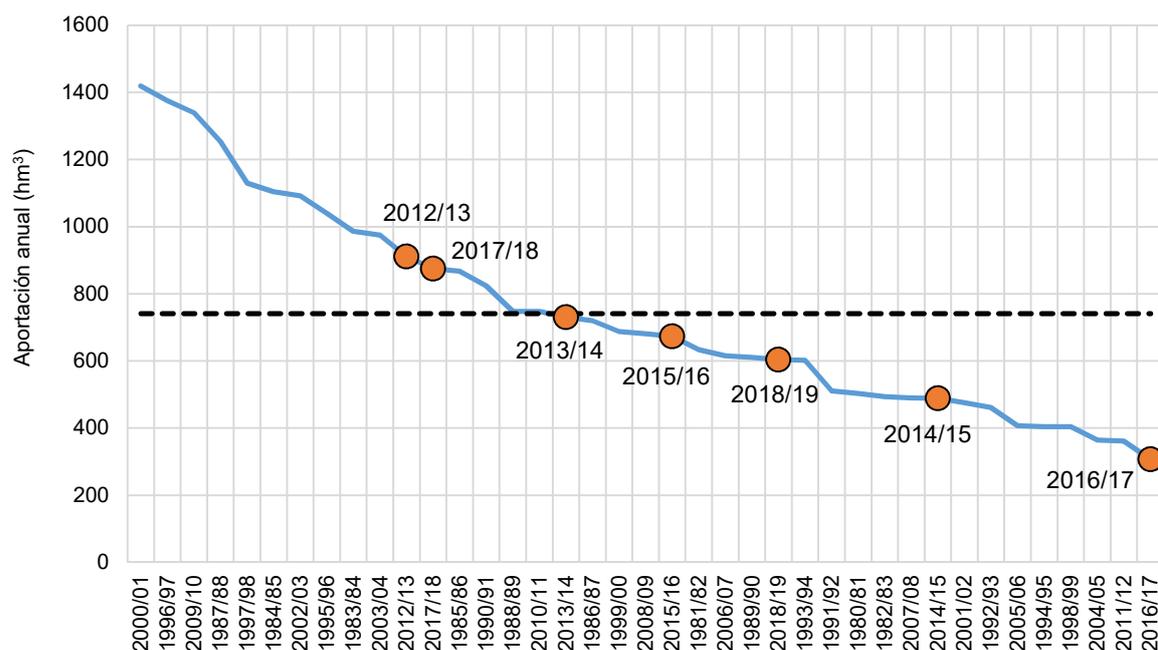


Figura 3. Aportaciones anuales clasificadas (1980/81-2018/19). Los puntos destacados corresponden a los siete últimos años hidrológicos

Como se aprecia en la figura, cinco de los siete últimos años han registrado valores inferiores a la media, destacando el año 2016/17, mínimo de la serie completa del trasvase.

La inclusión en la serie de estos últimos años de menor aportación tiene su efecto, como es lógico, en el funcionamiento del trasvase.

3.4 FUNCIONAMIENTO ACTUAL DE LA REGLA

Repitiendo de nuevo los cálculos anteriores, pero considerando ahora el periodo hidrológico completo disponible, es decir, hasta el año 2018/19, se obtienen los resultados que se presentan en la siguiente tabla, en la que también se han incluido los resultados que se habrían obtenido de haberse seguido la propuesta del estudio de 2013.

Indicador	RD de 2014	Propuesta de 2013
Probabilidad nivel 1 (%)	9,4	9,8
Probabilidad nivel 2 (%)	41,2	56,4
Probabilidad nivel 3 (%)	37,0	26,3
Probabilidad nivel 4 (%)	12,4	7,5
Trasvase mínimo anual (hm ³)	57	87
Trasvase medio anual (hm ³)	339	332
Coefficiente de variación anual	0,457	0,379
Coefficiente irregularidad anual	0,295	0,269
Vertido medio anual (hm ³)	0	0

Tabla 10. Indicadores de explotación con la regla vigente y con la propuesta de 2013 en el periodo 1980/81-2018/19

Actualmente, según se desprende de la tabla, la probabilidad de presentación de las condiciones hidrológicas excepcionales (nivel 3) es del 37%. Si se añade que la probabilidad de presentación del nivel 4 es del 12%, el trasvase se encuentra en condiciones excepcionales la mitad del tiempo, lo que resulta inaceptable desde el punto de vista de una explotación regular y estable y es contrario al propio concepto de excepcionalidad.

Si se hubiera adoptado la cifra de 30 hm³/mes para el trasvase en nivel 2 que se propuso en el estudio de 2013 la situación habría sido claramente mejor. La probabilidad de nivel 3 habría descendido 11 puntos, hasta el 26%, y el sistema habría estado en situación de normalidad (niveles 1 o 2) el 66% del tiempo. El trasvase mínimo habría sido mayor y la irregularidad menor. Tan solo el trasvase medio habría empeorado, con un ligero descenso del 2%.

Con objeto de comprobar el efecto que han tenido los últimos años de aportaciones, en la tabla siguiente se comparan los valores de los indicadores de explotación obtenidos con la regla vigente en dos periodos diferentes: el periodo de cálculo inicial 1980/81-2011/12, con el que se reparametrizó la regla, y el periodo actual completo, con toda la información hidrológica disponible (1980/81-2018/19).

Indicador	Periodo de cálculo (1980/81-2011/12)	Periodo completo (1980/81-2018/19)
Probabilidad nivel 1 (%)	11,5	9,4
Probabilidad nivel 2 (%)	46,4	41,2
Probabilidad nivel 3 (%)	32,3	37,0
Probabilidad nivel 4 (%)	9,9	12,4
Trasvase mínimo anual (hm ³)	57	57
Trasvase medio anual (hm ³)	366	339
Coefficiente de variación anual	0,426	0,457
Coefficiente irregularidad anual	0,296	0,295
Vertido medio anual (hm ³)	0	0

Tabla 11. Indicadores de explotación de la regla vigente en los periodos 1980/81-2011/12 y 1980/81-2018/19.

Comparando ambos resultados se aprecia un claro empeoramiento al incorporar los últimos años hidrológicos. La probabilidad de las situaciones de nivel 3 aumenta desde el

32 hasta el 37% y la de nivel 4 desde el 10 hasta el 12%. Se mantiene el mismo trasvase mínimo, ya que este se produce en el primer periodo (año 1994/95), pero se registra un descenso muy acusado del trasvase medio, que desciende desde 366 hm³/año hasta 339, lo que significa una reducción cercana al 8% del valor medio anual.

Los resultados mostrados se han obtenido mediante la teórica aplicación de la regla desde el comienzo de la operación del trasvase. Si se analiza ahora la evolución real de las reservas en el periodo transcurrido desde que entró en vigor la regla actual, en octubre de 2014, los resultados son más desfavorables aun, como se muestra en la siguiente figura. En este periodo, que comprende 68 meses (incluyendo el mes de mayo pasado), el sistema nunca ha alcanzado el nivel 1 y se ha encontrado en nivel 2 en 19 ocasiones (28%). La situación hidrológica excepcional ha sido la más habitual, con un total de 38 meses (56%), y el sistema ha descendido a nivel 4 (trasvase nulo) 11 veces (16%). En total, el sistema se ha encontrado en situación excepcional (nivel 3 o 4) el 72% del tiempo, cifra muy superior a la correspondiente al periodo de trasvase completo. Aunque se trate de un periodo poco representativo por su corta duración, sin duda su severidad ha contribuido a agudizar la percepción de un mal funcionamiento del trasvase, desde el punto de vista de la regularidad de los suministros. Hay que añadir, además, el efecto que durante este periodo ha tenido el régimen transitorio establecido para la progresiva adaptación del sistema al nuevo umbral de 400 hm³, que se ha superpuesto a las bajas aportaciones de estos años.

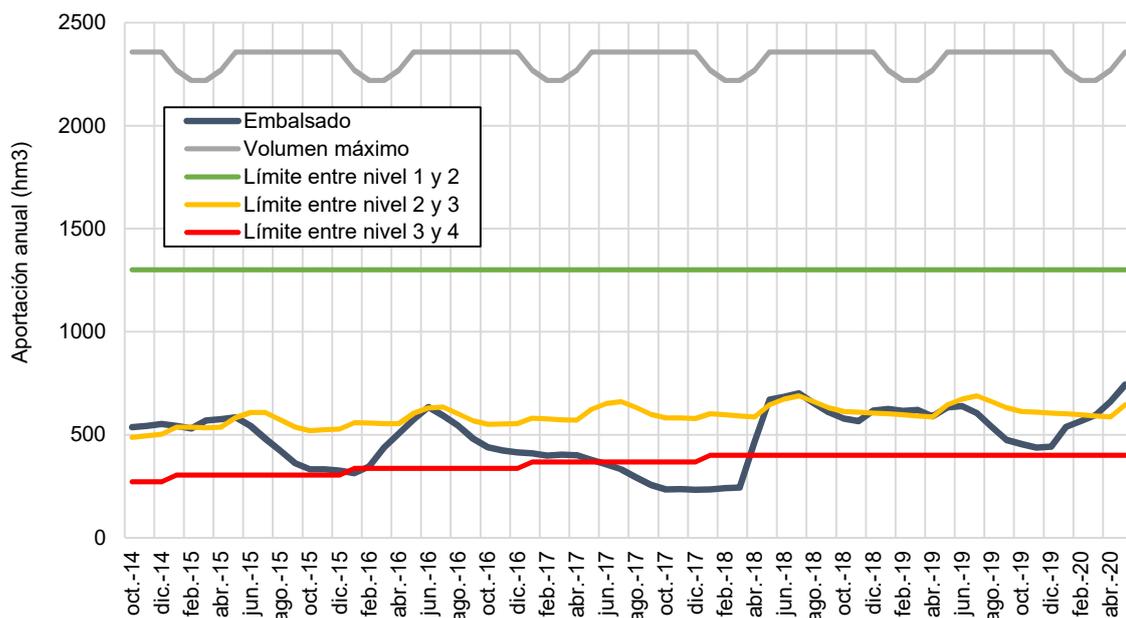


Figura 4. Evolución de las reservas en Entrepeñas y Buendía desde la entrada en vigor de la regla actual

Como resumen de todo lo expuesto puede concluirse que la combinación de una inadecuada cifra de partida para el volumen trasvasable en nivel 2 al entrar en vigor la regla actual y una desfavorable evolución hidrológica en los últimos años ha dado lugar a una elevada ocurrencia de situaciones excepcionales en la explotación del trasvase.

Estos resultados ponen de manifiesto la conveniencia de actualizar y ajustar los parámetros de la regla, de forma que la situación excepcional se presente con menor

frecuencia y recupere los valores de probabilidad de presentación con los que inicialmente fue diseñada la regla.

4 POSIBLES MODIFICACIONES DE LA REGLA

La disposición adicional quinta de la Ley 21/2015 ofrece la posibilidad de que se modifiquen, mediante real decreto, tanto el volumen de existencias y de aportaciones acumuladas contempladas en el nivel 1, como los volúmenes de trasvase mensual correspondientes a los niveles 1, 2, 3 y los volúmenes de existencias para cada mes correspondientes al nivel 3.

El único objeto de estas modificaciones, según indica la Ley, es dotar de mayor estabilidad interanual a los suministros, minimizando la presentación de situaciones hidrológicas excepcionales a las que se refiere el nivel 3. La Ley prohíbe expresamente que se modifique, mediante este procedimiento, el máximo anual de agua trasvasable de 650 hm³. La Ley también remite a este real decreto la definición de los criterios de predicción de aportaciones para la aplicación de la regla en horizontes plurimensuales.

Aunque no se cita expresamente, la Ley tampoco habilita al real decreto para modificar el umbral de 400 hm³ que define el nivel 4, por debajo del cual no cabe aprobar trasvase alguno.

En resumen, los parámetros que la Ley permite que se modifiquen mediante real decreto son los siguientes:

Volumen de trasvase mensual en nivel 1: 60 hm³/mes.

Volumen de trasvase mensual en nivel 2: 38 hm³/mes.

Volumen de trasvase en nivel 3: 20 hm³/mes.

Volumen de existencias en nivel 1: 1300 hm³.

Aportaciones acumuladas en nivel 1: 1200 hm³.

Volúmenes de existencias correspondientes al nivel 3:

Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
613	609	605	602	597	591	586	645	673	688	661	631

El valor de 60 hm³/mes en nivel 1 está condicionado por la posibilidad de transporte del máximo volumen anual previsto en la Ley. Dado que el volumen máximo anual es de 650 hm³, el valor estricto de este parámetro sería de 54,2 hm³/mes. Considerando, como margen de explotación, que el canal funciona 11 meses al año, el valor se eleva a 59,1 hm³, por lo que se propone mantener el valor actual de 60 hm³/mes.

El volumen de trasvase en nivel 2 es una de las variables más determinantes de la explotación del trasvase, por lo que la revisión de los parámetros de la regla ha de considerar necesariamente su actualización. Dado que el estudio de 2013 proponía un valor de 30 hm³/mes, y que en los últimos años se ha registrado un periodo seco, parece lógico suponer que este parámetro acabe adoptando finalmente un valor inferior a 30 si se pretende dotar de mayor estabilidad a los suministros y minimizar las situaciones hidrológicas excepcionales.

Por su parte, el valor máximo de 20 hm³/mes trasvasables en nivel 3 depende de los valores de suministro mínimo que se considera necesario para abastecimiento y regadío en las zonas receptoras de trasvase.¹² Dado que estos valores dependen de las determinaciones que se establezcan en el plan hidrológico del Segura, que se encuentra actualmente en revisión, no parece el momento de plantear modificaciones de este valor, que deberían realizarse, en su caso, una vez aprobado el nuevo plan.

Los valores de existencias y de aportaciones acumuladas que marcan el límite entre los niveles 1 y 2 también pueden ser modificados, y de hecho habrán resultado afectados por las circunstancias hidrológicas de los últimos años. Aunque su influencia en la estabilidad de los suministros será previsiblemente menor, se realizará un análisis para comprobar su efecto en el funcionamiento de la regla.

Por último, los volúmenes mensuales que definen la curva de condiciones hidrológicas excepcionales también pueden ser modificados. Sin embargo, estos valores no solo dependen del volumen de trasvase en nivel 3 (20 hm³), sino también de los desembalses de referencia hacia el Tajo, que a su vez dependen de los caudales ecológicos y las demandas en la cabecera del Tajo. Al igual que sucedía con el del Segura, dado que se encuentra en tramitación la revisión del plan hidrológico del Tajo, en el que han de determinarse estos valores, y que no procede una modificación parcial de la curva basada exclusivamente en la actualización de la información hidrológica, lo más apropiado es plantear su actualización una vez aprobado el plan del Tajo.

De acuerdo con todo lo expuesto, el estudio de actualización de la regla de explotación se limitará a analizar el volumen de trasvase en nivel 2 y los parámetros de definición del nivel 1, sin perjuicio de que se realice un análisis de sensibilidad para verificar el posible efecto de la variación de otros parámetros.

4.1 VOLUMEN DE TRASVASE EN NIVEL 2

Para analizar el efecto de las modificaciones del volumen de trasvase en nivel 2, con la serie completa disponible (1980/81-2018/19) se han obtenido los indicadores de explotación para una gama de valores variable desde 20 (volumen correspondiente al nivel 3) hasta 40, valor ligeramente superior al actual (38 hm³/mes), manteniendo constantes los demás parámetros de la regla. Los resultados, obtenidos con una resolución de 1 hm³/mes, se muestran a continuación.

¹² Esta cifra de 20 hm³/mes resulta de considerar un mínimo absoluto para abastecimientos en destino de 5 hm³/mes, a los que se añade un margen de seguridad del 20%, y un mínimo de 100 anuales para riego. Añadiendo las pérdidas en transporte y un margen de operación para el canal resultan 20 hm³/mes en origen de acueducto (Cabezas, 2013, pág. 97).

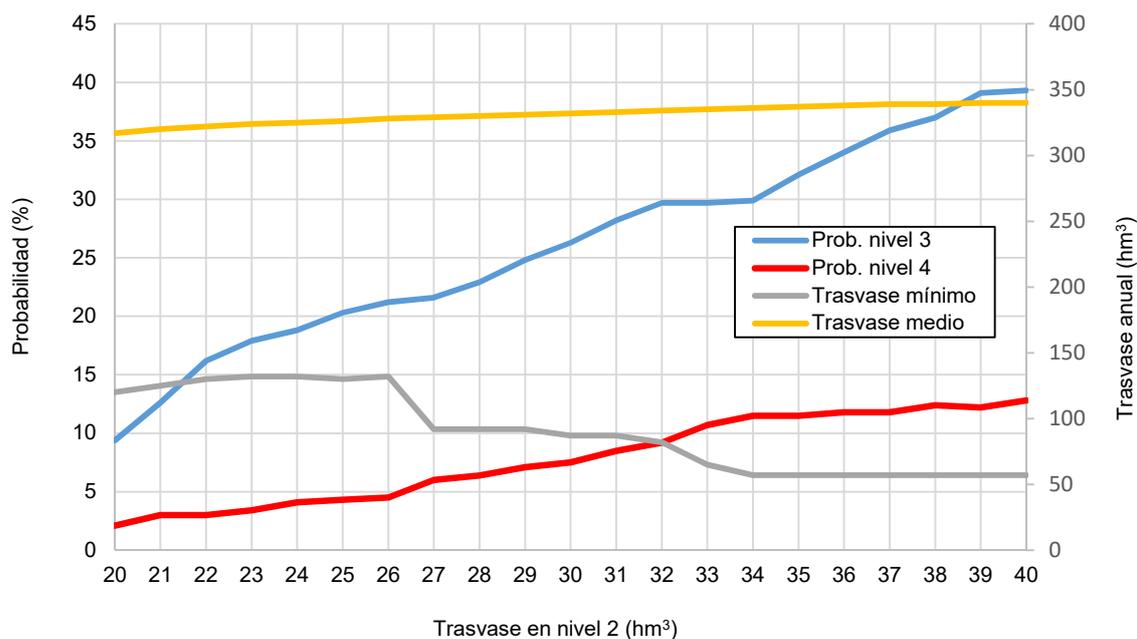


Figura 5. Indicadores de explotación en función del volumen de trasvase en nivel 2.

Como se desprende de la figura, para reducir al 15% la probabilidad de nivel 3, el volumen de trasvase en nivel 2 debe reducirse a 21-22 hm³/mes y para llegar al 20%, debe limitarse a unos 24-25 hm³/mes. Como ya se indicó en apartados anteriores, para 38 hm³/mes la probabilidad de nivel 3 asciende al 37%.

La probabilidad de nivel 4 es un criterio menos restrictivo. Para que se alcance el valor de diseño del 10% el trasvase en nivel 2 se debería reducir a 32-33 hm³/mes. Con 24 hm³/mes, la probabilidad de nivel 4 sería tan solo de un 4%. Y con 38, tal como se expuso anteriormente, esta probabilidad asciende al 12%.

Respecto al trasvase mínimo anual, para valores mayores de 26 hm³/mes se obtienen trasvases mínimos anuales inferiores a 100 hm³ y a partir de 32 hm³/mes baja de 80 hm³/año. Para 38 hm³/mes el trasvase mínimo es de 57 hm³.

En cuanto al trasvase medio, tal como se señalaba en el estudio de 2013, los mejores resultados de este indicador se obtienen justamente en sentido contrario a los mejores resultados para el indicador de probabilidad en nivel 3 y de trasvase mínimo, y ya se apuntaba entonces la necesidad de cierto compromiso que, dando prioridad al criterio de estabilidad y trasvase mínimo, valorara también de algún modo el trasvase medio.

El trasvase medio anual varía menos de un 7% en todo el dominio analizado, desde 317 hm³/año para un trasvase mensual de 20 hm³, hasta 340 hm³/año para trasvase mensual de 40 hm³. Para 24 hm³/mes en nivel 2 el trasvase medio anual es de 325 hm³ y para 38 asciende a 339 hm³.

Como se señalaba en el apartado 2.2, los volúmenes totales trasvasados para abastecimiento y riego han sido 328 hm³ anuales de media en el periodo completo de funcionamiento del trasvase. Esta cifra podría superarse a partir de 26 hm³/mes de trasvase en nivel 2. En este caso, la probabilidad de nivel 3 subiría al 21% y el trasvase mínimo anual sería de 132 hm³/año.

Resumiendo lo expuesto, de los criterios para los que se ha establecido un valor límite admisible el más restrictivo es el de la probabilidad de nivel 3, que exige adoptar un valor de trasvase en nivel 2 de 24 hm³. Por otra parte, si se quisiera mantener un trasvase medio similar al histórico, el trasvase en nivel 2 debería ser de 26 hm³. Es decir, este primer análisis sitúa la horquilla del trasvase en nivel 2 entre 24 y 26 hm³/mes.

En cuanto a la variación e irregularidad de los trasvases, los resultados obtenidos se muestran en la figura siguiente.

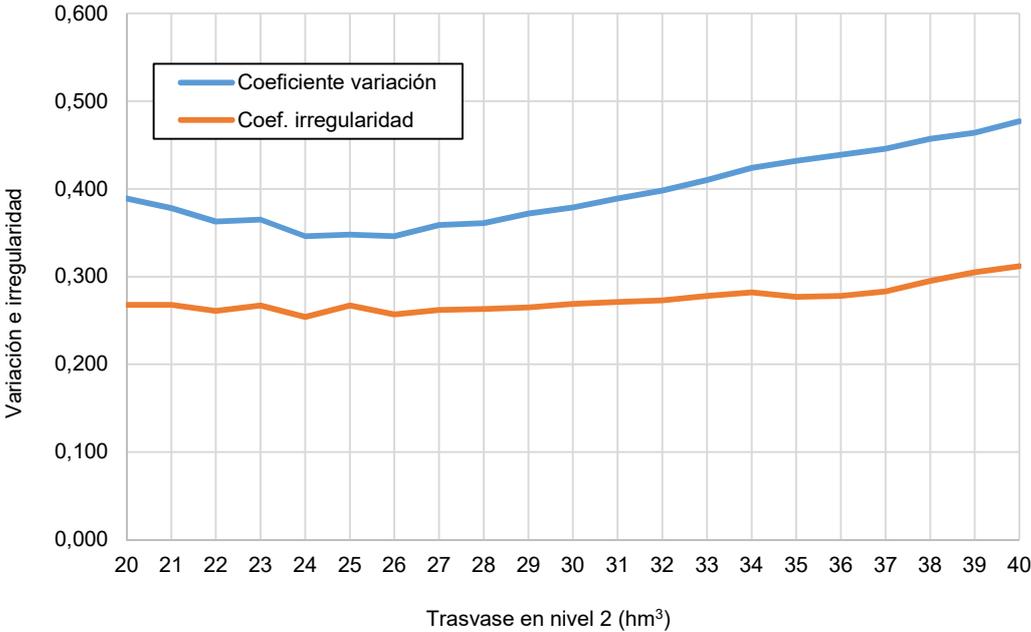


Figura 6. Coeficientes de variación y de irregularidad en función del volumen de trasvase en nivel 2.

Los menores valores del coeficiente de variación anual (0,346-0,348) se producen entre 24 y 26 hm³/mes de trasvase en nivel 2. A partir de 26 hm³/mes este coeficiente aumenta de forma apreciable. Para 38 hm³/mes su valor se eleva a 0,457.

El coeficiente de irregularidad presenta una menor variación, y el valor más bajo (0,254) se produce para 24 hm³/mes.

Para resumir los resultados obtenidos, en la tabla siguiente se muestran los valores de los indicadores de explotación para volúmenes de trasvase en nivel 2 de 24 y 26 hm³/mes, junto con los valores que se obtienen con la regla vigente.

Indicador	RD de 2014 VT2 = 38	VT2 = 24	VT2 = 26
Probabilidad nivel 1 (%)	9,4	13,7	12,0
Probabilidad nivel 2 (%)	41,2	63,5	62,4
Probabilidad nivel 3 (%)	37,0	18,8	21,2
Probabilidad nivel 4 (%)	12,4	4,1	4,5
Trasvase mínimo anual (hm ³)	57	132	132
Trasvase medio anual (hm ³)	339	325	328
Coefficiente de variación mensual	0,457	0,346	0,346
Coefficiente irregularidad	0,295	0,254	0,257
Vertido medio anual (hm ³)	0	0	0

Tabla 12. Indicadores de explotación con la regla vigente y con trasvases en nivel 2 de 24 y 26 hm³/mes.

Todos los indicadores mejoran con los trasvases de 24 y 26 hm³/mes, a excepción del trasvase medio anual, que se reduce entre 11 y 14 hm³ (reducción del 3-4%), aunque aumenta el mínimo anual trasvasado en 75 hm³. La probabilidad de nivel 3 se reduce casi a la mitad y la de nivel 4 se reduce a la tercera parte.

La razón de que se produzca una reducción del valor del trasvase medio ya se apuntaba en el informe de 2013 cuando se planteaba un trasvase en nivel 2 de 30 en lugar de 38 hm³/mes. Al encontrarse el sistema durante más tiempo en los niveles 1 y 2 y menos tiempo en los niveles 3 y 4 las existencias medias en los embalses de Entrepeñas y Buendía son mayores, lo que lleva consigo un aumento de la lámina de agua expuesta a la radiación solar y, en consecuencia, se produce una mayor evaporación¹³.

4.2 EXISTENCIAS Y APORTACIONES ACUMULADAS EN NIVEL 1

El paso del sistema al nivel 1, es decir, el límite entre los niveles 1 y 2, está definido por las existencias embalsadas en Entrepeñas y Buendía y por las aportaciones acumuladas en los últimos 12 meses.

La regla original de 1997 fijaba un valor 1500 hm³ para las existencias y de 1000 para las aportaciones acumuladas.

En el estudio de 2013, tras analizar los histogramas de frecuencias de ambas variables - que resultan bastante coincidentes, pese a no tener relación directa-, se deducía que valores del orden de 1500 no se superaban nunca (percentil del 100%), lo que en la práctica suponía renunciar al nivel 1 para situarse permanentemente en niveles inferiores. Por su parte, el valor de 1000 se superaba en un 20% de los meses (percentil del 80%). En el estudio se proponía modificar estos valores y adoptar unos valores de diseño correspondientes a percentiles de 90-95%.

¹³ La evaporación anual que se produce con la opción VT2=38, que corresponde a la regla vigente, es de unos 64 hm³/año. Con VT2=24 la evaporación anual es de unos 78 y con VT2=26 la evaporación resulta de 75. Estas diferencias en los volúmenes medios evaporados en cada opción explican, por balance de entradas y salidas en el sistema Entrepeñas-Buendía, las diferencias en los volúmenes medios trasvasados. El método utilizado para el cálculo de la evaporación es el mismo que se emplea en los informes de situación que se elaboran para la Comisión, que está tomado, a su vez, de la publicación *Tres casos de planificación hidrológica* (MIMAM, 2000, pág. 102).

Los valores finalmente propuestos y adoptados en la regla fueron 1200 hm³ para las aportaciones acumuladas (percentil del 90%) y 1300 hm³ para las existencias (percentil del 94%)

En la figura siguiente se muestran los histogramas acumulados de existencias mensuales embalsadas y de aportaciones acumuladas en 12 meses correspondientes a la serie disponible en el estudio de 2013 (periodo 1980/81-2011/12) y a la serie actualmente disponible (periodo 1980/81-2018/19).

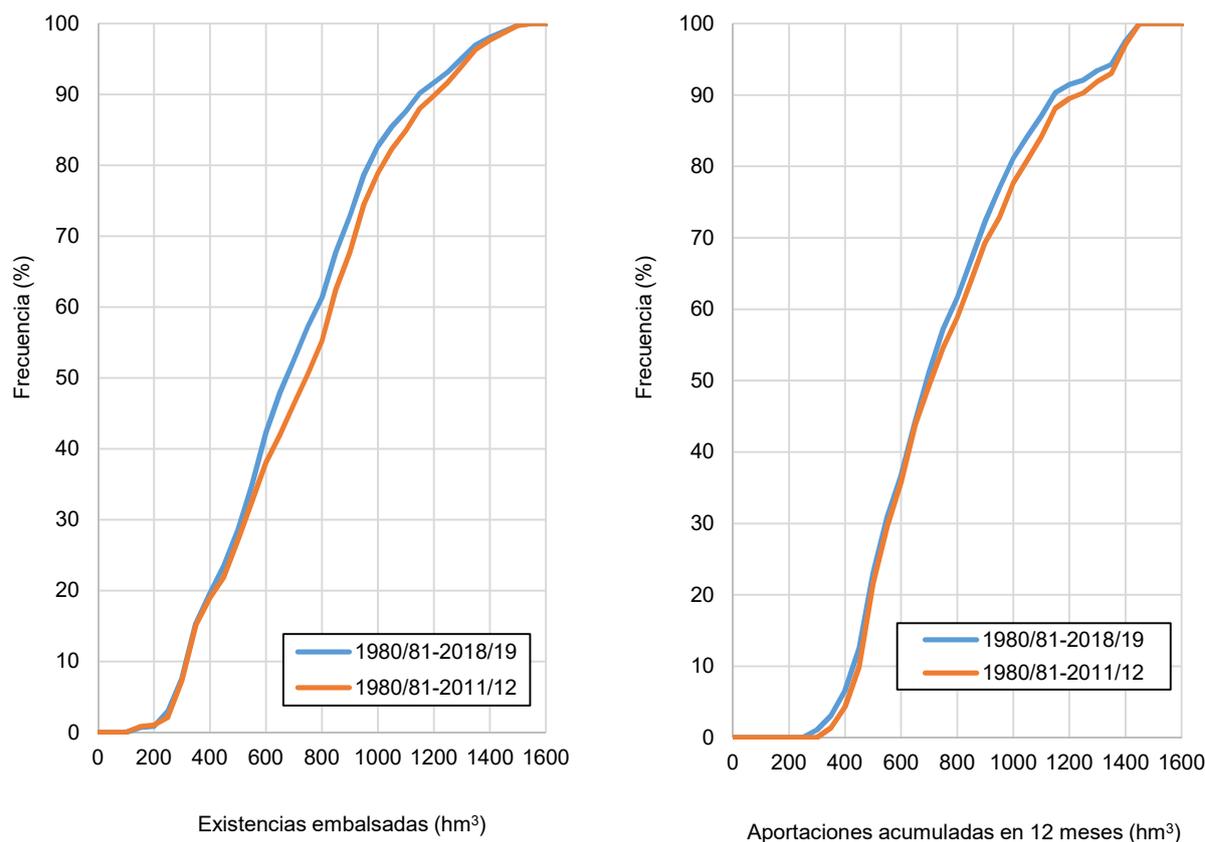


Figura 7. Histogramas acumulados de existencias embalsadas y de aportaciones acumuladas en 12 meses

Como se aprecia en la figura, los datos de los últimos siete años hidrológicos introducen ligeras modificaciones en los histogramas de ambas variables.

El valor de existencias embalsadas de 1300 hm³ corresponde ahora a un percentil del 95% y el de aportaciones acumuladas de 1200 hm³ corresponde al percentil del 91%.

Si se adoptara un percentil de diseño similar para ambas variables, por ejemplo del 95%, el umbral de aportaciones acumuladas se situaría entre 1350 y 1400 hm³.

Al igual que se hizo con el volumen de trasvase en nivel 2, se procede a continuación a analizar el efecto de las modificaciones en el valor de las existencias embalsadas y de las

aportaciones acumuladas que establecen el límite entre los niveles 1 y 2, suponiendo que los demás parámetros de la regla permanecen constantes.

Se analizan por separado las variaciones en las existencias embalsadas y en las aportaciones acumuladas, como se muestra en las figuras siguientes. Cuando se analizan las variaciones de las existencias embalsadas (columna derecha) se mantiene fijo el valor de las aportaciones acumuladas en su valor actual de 1200 hm³, y cuando se analizan las variaciones de las aportaciones acumuladas (columna izquierda) se fija el valor de las existencias embalsadas en los 1300 hm³ vigentes. Los indicadores se calculan para los dos valores de la horquilla de volumen de trasvase en nivel 2 obtenidos en el apartado anterior, es decir, 24 y 26 hm³/mes. Los resultados se han obtenido con una resolución de 50 hm³ en ambas variables.

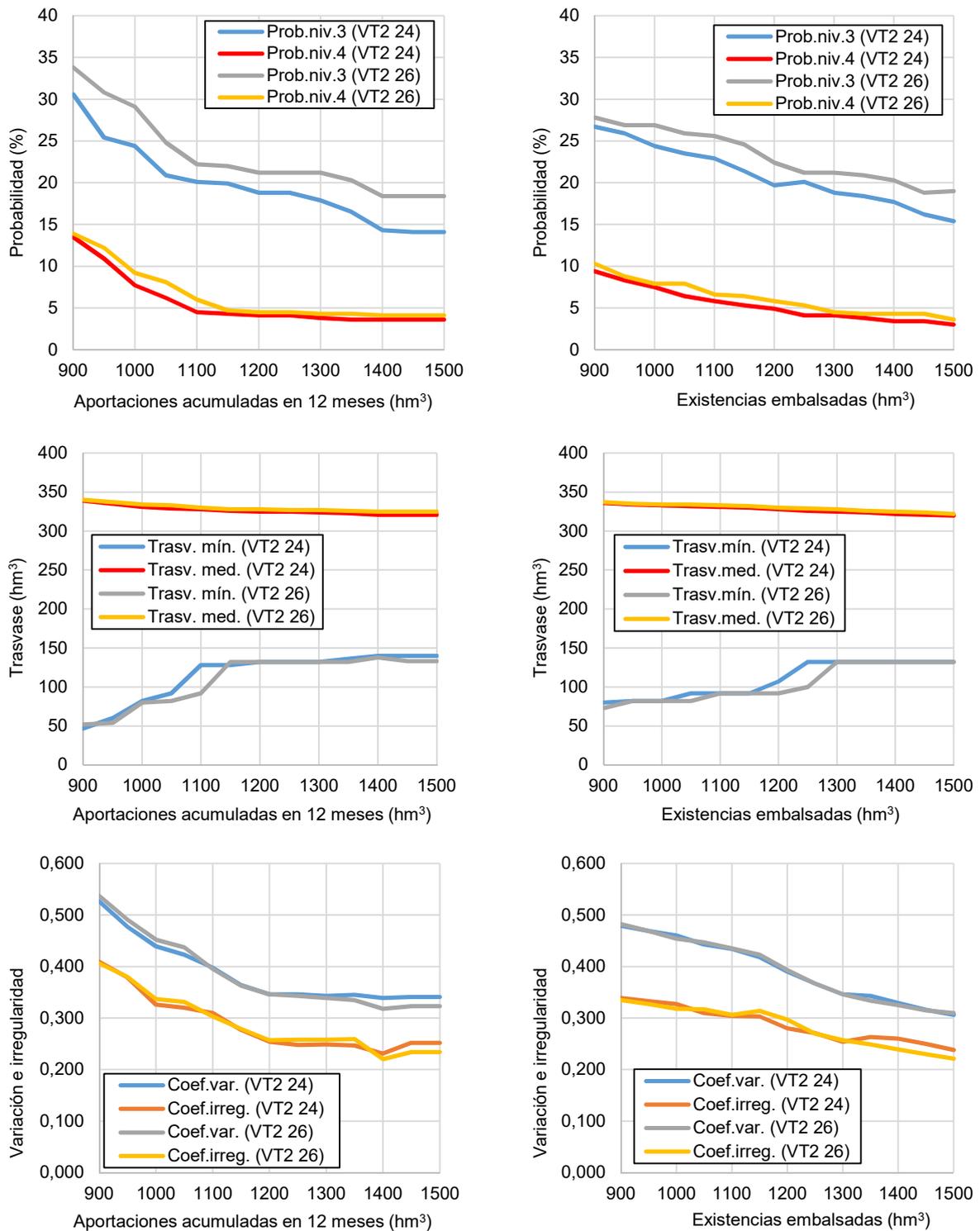


Figura 8. Indicadores de explotación en función de las aportaciones acumuladas y de las existencias embalsadas para volúmenes de trasvase en nivel 2 de 24 y 26 hm³/mes.

Como se aprecia en las figuras, la respuesta de los indicadores ante las variaciones en ambas variables es muy similar y los valores obtenidos son muy parecidos en los dos casos.

En los gráficos de probabilidad se observa que las probabilidades disminuyen con el aumento de la variable. Los valores correspondientes al volumen de trasvase en nivel 2 de 26 hm³/mes son superiores en todo el intervalo de cálculo a los valores obtenidos para 24 hm³/mes. En el caso de las aportaciones, las probabilidades de nivel 3 descienden con mayor pendiente al principio, se estabilizan en torno a 1200, para volver a caer y estabilizarse de nuevo en torno a 1400 hm³. Las probabilidades de nivel 4 se estabilizan antes, en torno a 1100 hm³, y se mantienen aproximadamente constantes el resto del intervalo. A partir de 1400 se alcanzan los valores más bajos para los dos volúmenes de trasvase en nivel 2. En el caso de las existencias, los descensos son aproximadamente uniformes para ambas probabilidades y ambos volúmenes de trasvase mensual.

Las probabilidades de nivel 3 se sitúan por debajo del 20% a partir de unas aportaciones de 1150 hm³ para trasvases de 24 hm³/mes y a partir de 1350 para 26 hm³/mes. Las probabilidades de nivel 4 se sitúan por debajo del 10% a partir de unas aportaciones de 1000 hm³ en ambos trasvases.

En cuanto a las existencias, se presentan probabilidades de nivel 3 inferiores al 20% a partir de 1250 hm³ para trasvases de 24 hm³/mes, mientras que para trasvases de 26 se alcanza este valor a partir de 1400 hm³. Se obtienen probabilidades de nivel 4 inferiores al 10% a partir de 900 hm³ de existencias para trasvase de 24 y partir de 950 hm³ para trasvases de 26.

Los valores de trasvase medio y mínimo son muy similares para ambas variables. El trasvase medio decrece de forma muy ligera con las dos variables, encontrándose sus valores comprendidos entre 320 y 340 hm³/año en ambos casos. No hay apenas diferencias entre trasvases de 24 y 26 hm³/mes, cuyas curvas son prácticamente coincidentes.

El trasvase mínimo, por el contrario, aumenta con el valor de las dos variables. En el caso de las aportaciones, el trasvase mínimo alcanza 100 hm³/año para aportaciones superiores a 1100 hm³ con trasvase de 24 y superiores a 1150 para trasvase de 26. Con las existencias, los trasvases mínimos son mayores de 100 hm³ a partir de unos 1200 hm³ para trasvases de 24, y a partir de 1250 para trasvases de 26.

Los indicadores de variabilidad, por último, también decrecen con ambas variables. Los resultados para los dos volúmenes de trasvase mensual son prácticamente idénticos en todos los casos. En el caso de las aportaciones se estabilizan en torno a unos 1200, mientras que en el caso de las existencias descienden a lo largo de todo el intervalo.

Como resumen de estos resultados puede señalarse que se conseguirían reducciones de la probabilidad de situaciones de nivel 3 para la horquilla de trasvases analizados mediante el aumento del umbral de aportaciones acumuladas hasta unos 1400 hm³, en cuyo caso la probabilidad del nivel 4 se situaría por debajo del 5%. El aumento de las existencias permitiría obtener reducciones en la probabilidad de nivel 3 para los dos volúmenes de trasvase en todo el intervalo.

Los trasvases medios se reducen al aumentar las dos variables, pero de forma muy ligera, con variaciones en torno a un 6% para todo el intervalo de cálculo. Los resultados obtenidos para trasvases de 24 y 26 hm³/mes son prácticamente coincidentes. Con los valores actualmente vigentes de las dos variables se obtienen trasvases mínimos anuales superiores a 100 hm³, y no se obtienen mejoras apreciables aumentando su valor.

Los indicadores de variabilidad alcanzan sus valores más bajos en torno a los valores actualmente vigentes para ambas variables y los resultados para los dos trasvases mensuales son prácticamente los mismos.

En definitiva, quizá el aspecto más destacable del análisis realizado es que podría obtenerse alguna mejora en la probabilidad de las situaciones de nivel 3 mediante un aumento de las aportaciones acumuladas hasta unos 1400 hm³. Este valor, como se indicaba en el apartado anterior, corresponde a un percentil de las aportaciones acumuladas del 95%, el mismo que ahora corresponde a las existencias embalsadas. En el caso de las existencias también podría conseguirse alguna mejora aumentando su valor, pero sería más reducida.

Tras analizar el efecto de las modificaciones de las existencias y de las aportaciones acumuladas en los indicadores de explotación para los volúmenes de trasvase en nivel 2 de 24 y 26 hm³/mes, se muestran ahora los efectos en la probabilidad de situaciones de nivel 3 de modificaciones simultáneas en el volumen de trasvase en nivel 2 -con una gama de valores más amplia- y en una de las variables que definen el nivel 1, manteniendo constante la otra en su valor actual.

Como se muestra en las figuras siguientes, el rango de volúmenes de trasvase en nivel 2 se hace variar entre 21 y 40 hm³/mes, mientras que las existencias y las aportaciones acumuladas varían entre 1000 y 1500 hm³.

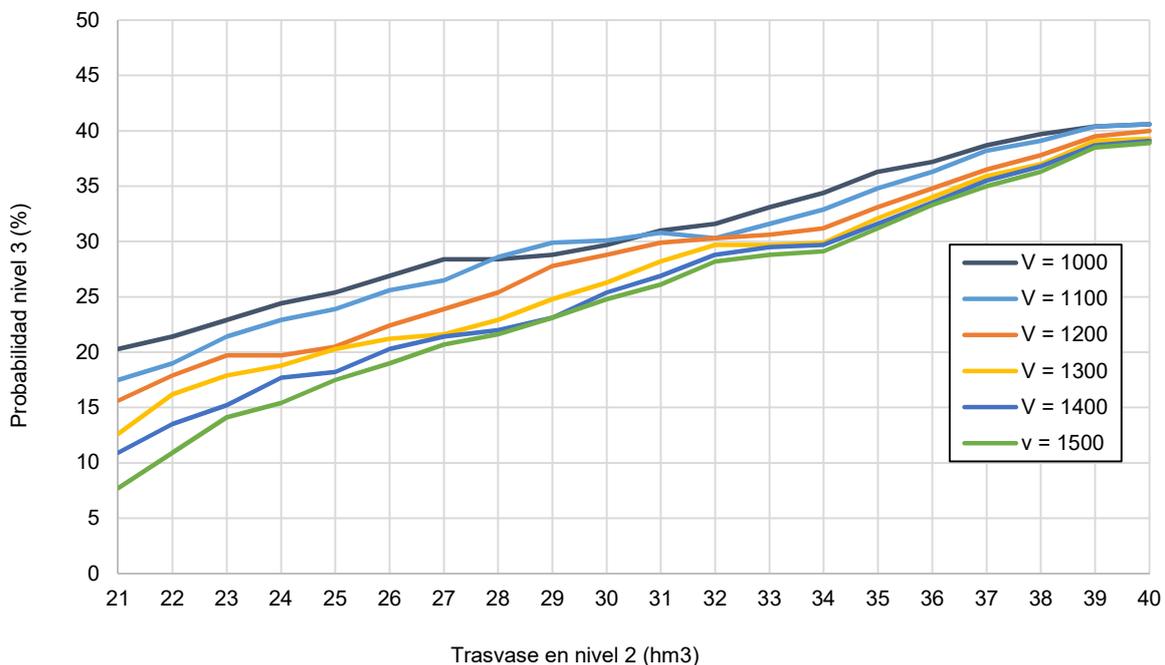


Figura 9. Probabilidad de nivel 3 en función del volumen de trasvase en nivel 2 y del umbral de existencias entre nivel 1 y 2 (aportaciones acumuladas en 12 meses con valor vigente de 1200 hm³).

Según se desprende de la figura, tomando como límite para la probabilidad de situaciones hidrológicas excepcionales el valor de diseño del 20%, los valores aceptables de volumen

trasvasable en nivel 2 se encuentran entre 21 y 26 hm³/mes, con valores de las existencias embalsadas comprendidos entre 1100 y 1500 hm³.

Como se ve en la figura, el rango de resultados se abre para los valores bajos del volumen de trasvase en nivel 2 y se cierra para los valores más altos.

Así, para el volumen de trasvase en nivel 2 actualmente vigente de 38 hm³/mes, la probabilidad de nivel 3 varía en un estrecho margen comprendido entre 36 y 40%. Es decir, para estos valores de trasvase el valor de las existencias embalsadas apenas tiene incidencia en la probabilidad de las situaciones excepcionales. En todo caso, se trata de probabilidades excesivamente elevadas.

Para el valor de 30 hm³/mes que se propuso en el informe de 2013 la influencia de las existencias es algo mayor, y la probabilidad de nivel 3 varía entre 25 y 30%. Se trata también de valores altos, superiores al límite admisible de diseño.

Si el trasvase en nivel 2 es de 25 hm³/mes el rango se abre aún más y las probabilidades se sitúan entre el 18 y el 25%. En este caso, resultaría aceptable el valor de 25 con un umbral de existencias embalsadas de 1400 o 1500 hm³.

Si se fija ahora el umbral de existencias en su nivel actual de 1300 hm³ y se hacen variar los valores de las aportaciones acumuladas y el volumen de trasvase en nivel 2, se obtienen los resultados mostrados en la figura siguiente.

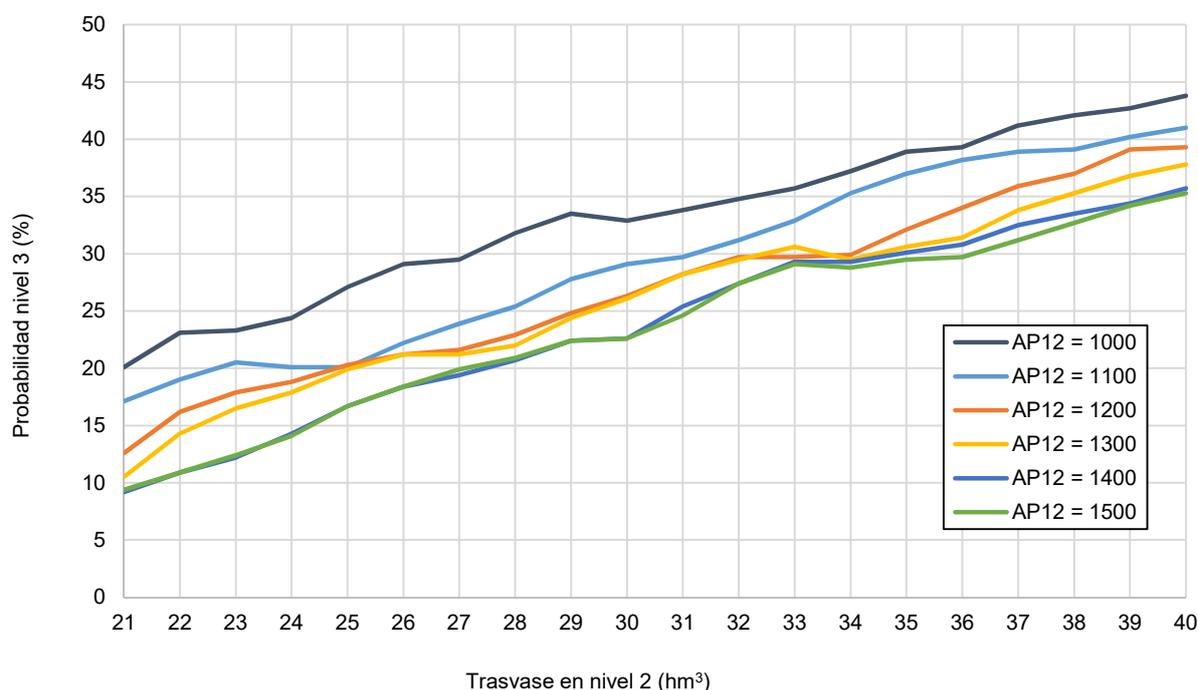


Figura 10. Probabilidad de nivel 3 en función del volumen de trasvase en nivel 2 y del umbral de aportaciones acumuladas en 12 meses (umbral de existencias con valor vigente de 1300 hm³).

En este caso los resultados son ligeramente distintos, pues las curvas se mantienen sensiblemente paralelas a lo largo de todo el intervalo de cálculo, sin concentrarse para

los valores altos de trasvase en nivel 2, como sucedía en el caso anterior, y con un rango de variación ligeramente mayor.

Tomando de nuevo el límite admisible del 20% para la probabilidad de las situaciones de nivel 3, los volúmenes de trasvase en nivel 2 se encontrarían ahora entre 21 y 27 hm³/mes, variando las aportaciones acumuladas entre 1100 y 1500 hm³, los mismos valores que se obtenían para las existencias embalsadas.

Para el volumen de trasvase vigente de 38 hm³/mes, las probabilidades de situación excepcional se situarían entre el 33 y el 42%, valores muy superiores a los admisibles.

Para un trasvase de 30 hm³/mes los resultados son algo mejores, pero las probabilidades de nivel 3 siguen siendo altas y se encuentran entre el 23 y el 33%.

Para un trasvase de 25 hm³ las probabilidades de nivel 3 se reducen y varían entre el 17 y el 27%, de forma que sería admisible el trasvase de 25 hm³/mes en nivel 2 con un umbral de aportaciones acumuladas entre 1300 y 1500 hm³.

En definitiva, la modificación de uno de los parámetros que definen el paso a nivel 1, existencias embalsadas o aportaciones acumuladas, permite deducir que no podrían alcanzarse probabilidades admisibles de situación excepcional para el valor actual de 38 hm³/mes en todo el rango posible de existencias o aportaciones, alcanzándose siempre valores elevados.

Tampoco podrían alcanzarse ahora valores admisibles de probabilidad de nivel 3 con el trasvase de 30 hm³/mes planteado inicialmente en el estudio de 2013. Las aportaciones registradas en los últimos años hacen que para este volumen de trasvase las probabilidades de nivel 3 hayan aumentado y superen el valor considerado admisible.

Los valores aceptables de trasvase en nivel 2 se encontrarían entre 21 y 27 hm³/mes, variando el umbral de aportaciones acumuladas y de existencias embalsadas entre 1100 y 1500 hm³.

5 SELECCIÓN DE LOS VALORES DE ACTUALIZACIÓN DE LA REGLA

Los valores admisibles identificados en el apartado anterior determinan el rango de búsqueda de los valores de los nuevos parámetros para la actualización de la regla. Tal como se expuso en 4.2., las curvas de frecuencia de las existencias embalsadas y de las aportaciones acumuladas mostraban que valores del orden de 1500 correspondían a percentiles del 100%. Asumir este percentil equivaldría, en la práctica, a renunciar al nivel 1 y mantenerse permanentemente en los niveles inferiores, lo que en el fondo supondría, de hecho, una modificación estructural de la regla. Para evitarlo, se limita el rango de búsqueda de existencias y aportaciones acumuladas a un valor máximo de 1400 hm³, que corresponde a un percentil del 95% en ambos casos, como se indicaba en 4.2.

De acuerdo con este planteamiento, se ensayan todas las combinaciones posibles de los tres parámetros dentro de los rangos especificados, es decir, volumen de trasvase en nivel 2 entre 21 y 27 hm³/mes y existencias y aportaciones acumuladas entre 1100 y 1400 hm³. Se elige una resolución de 1 hm³/mes para el volumen de trasvase en nivel 2 y de 100 hm³ para las existencias embalsadas y las aportaciones acumuladas. En situación hidrológica excepcional se aplica la regla en su formato estándar, trasvasando el volumen disponible cada mes, con un máximo de 20 hm³. En un análisis de sensibilidad posterior se comprueba el efecto de la aplicación de la regla del tercio.

Una vez simulado el comportamiento del trasvase para cada una de las combinaciones y obtenidos los correspondientes indicadores de explotación, se filtran las soluciones aplicando los valores admisibles de los indicadores establecidos en el apartado 3.1, es decir, una probabilidad de nivel 3 inferior al 20%, una probabilidad de nivel 4 inferior al 10% y un trasvase mínimo anual superior a 100 hm³. De esta forma se obtienen 57 soluciones factibles situadas dentro de los límites de los valores admisibles de estos tres indicadores.

Como se indicó en el apartado 3.1, se utilizan además otros indicadores para los que no se han establecido límites, el trasvase medio anual y la irregularidad, valorada esta última a través de los coeficientes de variación o de irregularidad. Dado que para estos indicadores no se establecieron valores límite y que sus mejores valores no tienen por qué coincidir, será necesario elegir la combinación de parámetros más conveniente mediante un cierto compromiso, que permita alcanzar valores razonables de ambos indicadores, aunque no sean los óptimos considerados de forma individual.

En la figura siguiente se muestran los valores de trasvase medio anual y coeficiente de irregularidad¹⁴ para el conjunto de combinaciones factibles que han superado los filtros.

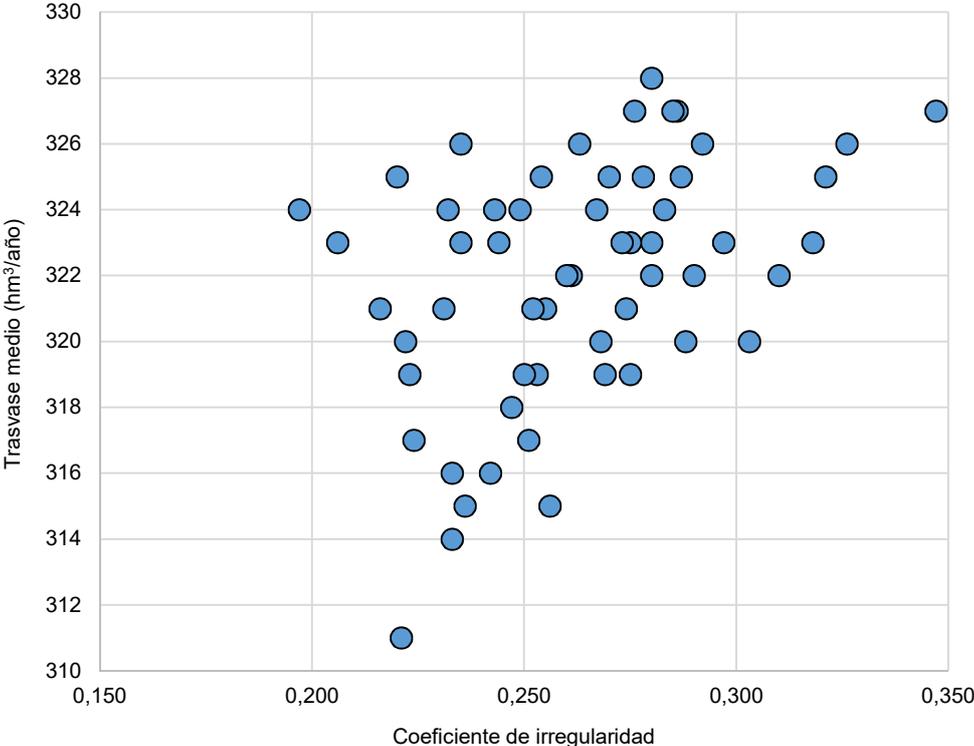


Figura 11. Trasvase medio y coeficiente de irregularidad para el conjunto de soluciones factibles

Para seleccionar la combinación más adecuada entre esta nube de soluciones posibles se acude a una técnica de programación multiobjetivo denominada programación de

¹⁴ Se ha optado por este indicador ya que, como se indicaba en 3.1, permite superar las limitaciones del coeficiente de variación, que tiene el inconveniente de no valorar la secuencia de presentación de los datos.

compromiso. Este método consiste, básicamente, en la selección de la solución mediante la minimización de una medida de la distancia a la solución ideal, que no es factible.¹⁵

Como se muestra en la siguiente figura, con el conjunto de soluciones factibles seleccionadas, el mayor trasvase medio que se puede obtener es de 328 hm³/mes (punto 1), pero el coeficiente de irregularidad para esta solución es de 0,280, que se encuentra entre los más altos.

En el otro extremo, el coeficiente de irregularidad más bajo es de 0,197 (punto 5), pero en este caso el trasvase medio se reduciría a 324 hm³/año. En estas condiciones, la solución ideal, que no es factible, consistiría en alcanzar un trasvase medio de 328 hm³/año con una irregularidad de 0,197 (punto verde).

Entre todo el conjunto de soluciones factibles hay algunas que son claramente peores que otras. Es el conjunto de soluciones denominadas *inferiores*, es decir, aquellas que, a igualdad de uno de los indicadores, son superadas por una solución preferible según el otro indicador. Las combinaciones que no se encuentran en esta situación constituyen el conjunto de soluciones *no-inferiores*. En este caso, son las cinco señaladas en rojo en la figura, que se encuentran entre las más próximas a la solución ideal.

¹⁵ Centro de Estudios Hidrográficos, *Procedimientos de decisión en la planificación hidráulica. Técnicas de programación multiobjetivo*, CEDEX, abril 1989. Documento interno.

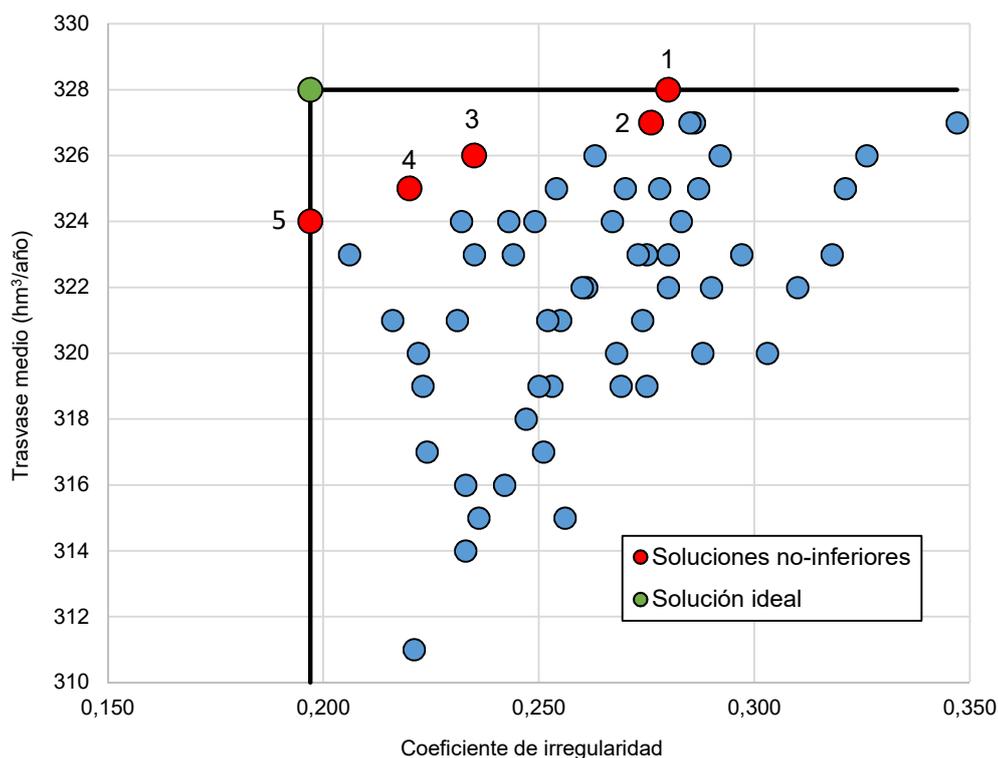


Figura 12. Soluciones factibles, solución ideal y conjunto de soluciones no-inferiores

Estas cinco soluciones corresponden a las combinaciones de parámetros de la regla que se presentan en la tabla siguiente, en la que también se indican los valores de los dos indicadores de explotación.

	1	2	3	4	5
Volumen de trasvase en nivel 2 (hm ³ /mes)	24	25	27	26	27
Existencias embalsadas (hm ³)	1200	1200	1300	1300	1400
Aportaciones acumuladas (hm ³)	1200	1400	1400	1400	1400
Trasvase medio (hm ³ /año)	328	327	326	325	324
Coeficiente de irregularidad	0,280	0,276	0,235	0,220	0,197

Tabla 13. Parámetros de la regla e indicadores de explotación de las soluciones no-inferiores.

Como se desprende de la tabla, dejando al margen las dos combinaciones extremas, 1 y 5, las otras se sitúan en un estrecho margen y no hay grandes diferencias entre ellas. El volumen de trasvase en nivel 2 se encontraría entre 25 y 27 hm³/mes, las existencias estarían entre 1200 y 1300 y habría coincidencia en cuanto a las aportaciones acumuladas, que se elevarían a 1400 hm³. El trasvase medio anual se mueve en una franja reducida, entre 325 y 327 hm³/año, y la irregularidad también tiene un pequeño rango de variación. En definitiva, el margen en la selección de la mejor opción es muy pequeño.

A pesar de ello, y con objeto de seleccionar la combinación más adecuada de la forma más objetiva posible, se utiliza la técnica mencionada de programación de compromiso para la elección final.¹⁶

Esta técnica, que elige la solución que más se aproxima a la solución ideal, selecciona la combinación 3 (27/1300/1400) en todas las hipótesis que se han ensayado, incluida la de conceder un peso relativamente mayor al trasvase medio que a la irregularidad, tal como ya se apuntaba en 3.1¹⁷.

Por tanto, se considera que la combinación de parámetros más adecuada para la actualización de la regla es un volumen de trasvase de 27 hm³/mes en nivel 2, junto con unas existencias embalsadas de 1300 hm³ y unas aportaciones acumuladas de 1400 hm³ para marcar el límite entre los niveles 1 y 2. Es decir, la modificación resultante consistiría en reducir el volumen de trasvase en nivel 2 de los 38 hm³/mes vigentes a 27 (reducción de 30 a 27 si se considera la cifra propuesta en los estudios de 2013), mantener el umbral de existencias en 1300 hm³ y elevar el umbral de aportaciones acumuladas de 1200 a 1400 hm³.¹⁸

En la tabla siguiente se muestra la formulación de la nueva regla propuesta.

¹⁶ Esta técnica utiliza como medida de distancia al punto o vector ideal una familia de métricas en las que intervienen los valores obtenidos en cada opción para cada uno de los criterios o indicadores, los valores óptimo y pésimo que pueden alcanzarse en cada criterio y el peso que se otorga a cada uno de ellos. En la métrica interviene también un exponente que define la métrica concreta aplicada.

¹⁷ Con un exponente igual a 1 y el mismo peso para los dos indicadores la distancia ponderada de la combinación 3 es de 0,958, mientras que la combinación 4, segunda opción mejor situada, se encuentra a una distancia de 1,027. Para un exponente igual a 2 la clasificación es la misma: la combinación 3 está a una distancia de 0,678 y la combinación 4 a 0,800. Por último, manteniendo el valor 2 del exponente pero dando un peso un 20% mayor al trasvase medio que a la irregularidad, las distancias obtenidas son de 0,755 para la combinación 3 y 0,942 para la combinación 4. Las demás opciones presentan mayores distancias en todos los casos.

¹⁸ Debido a la variabilidad hidrológica, no cabe esperar grandes posibilidades de mejora en el funcionamiento del trasvase mediante el empleo de otros parámetros ligeramente diferentes. Como se señala en el estudio de 2013, “Adoptados unos valores de referencia adecuados para los parámetros de la regla, deducidos a partir del registro histórico reciente, no caben especiales refinamientos para la optimización de estos parámetros pues existe una incertidumbre de fondo, asociada a la variabilidad hidrológica, que difumina tales refinamientos y que técnicamente no puede ser superada” (Cabezas, 2013, pág. 161).

Nivel	Condiciones	Volumen trasvasable (hm ³ /mes)
1	Existencias conjuntas en Entrepeñas y Buendía iguales o mayores que 1.300 hm ³ o aportaciones conjuntas entrantes a estos embalses en los últimos doce meses iguales o mayores que 1.400 hm ³ .	60
2	Existencias conjuntas en Entrepeñas y Buendía inferiores a 1.300 hm ³ , sin llegar a los volúmenes previstos en Nivel 3, y aportaciones conjuntas registradas en los últimos doce meses inferiores a 1.400 hm ³ .	27
3	Existencias conjuntas en Entrepeñas y Buendía no superan, a comienzos de mes, los valores mostrados en la tabla 1.	Máximo 20
4	Existencias conjuntas en Entrepeñas y Buendía inferiores a 400 hm ³ .	0

Tabla 14. Definición de la regla de explotación propuesta

Con estos nuevos parámetros, el valor de los indicadores de explotación es el que se muestra a continuación.

Indicador	Regla propuesta
Probabilidad nivel 1 (%)	9,6
Probabilidad nivel 2 (%)	65,8
Probabilidad nivel 3 (%)	19,4
Probabilidad nivel 4 (%)	5,1
Trasvase mínimo anual (hm ³)	110
Trasvase medio anual (hm ³)	326,5
Coefficiente de variación anual	0,332
Coefficiente irregularidad	0,235
Vertido medio anual (hm ³)	0

Tabla 15. Indicadores de explotación con la nueva combinación de parámetros.

En definitiva, la solución planteada cumple con los criterios de diseño establecidos como condición previa para la actualización de la regla y permite alcanzar un compromiso razonable entre el valor medio de los trasvases anuales y la regularidad de los envíos mensuales.

6 COMPARACIÓN CON LA SERIE HISTÓRICA DE TRASVASES

Una vez seleccionada la solución, se compara el régimen anual de trasvases obtenido con la nueva regla con la serie histórica de trasvases. Hay que recordar que la primera regla de explotación empezó a ser aplicada por la Comisión en 1997 y la segunda entro en vigor en 2014, con un periodo transitorio de cinco años hasta alcanzar sus valores definitivos. Por este motivo, la serie histórica y la serie obtenida con la nueva regla no son directamente comparables, pues durante cerca de 20 años la explotación del trasvase no se guio expresamente por una regla concreta.

A pesar de ello la serie histórica de trasvases constituye un elemento de referencia muy valioso para verificar el funcionamiento de cualquier regla que se proponga.

En la figura siguiente se muestra la serie anual de trasvases históricos y los trasvases anuales resultantes de la aplicación de la nueva regla, suponiendo que hubiera sido aplicada desde la entrada en servicio del trasvase. En la figura se muestran también los trasvases medios anuales en ambos casos.

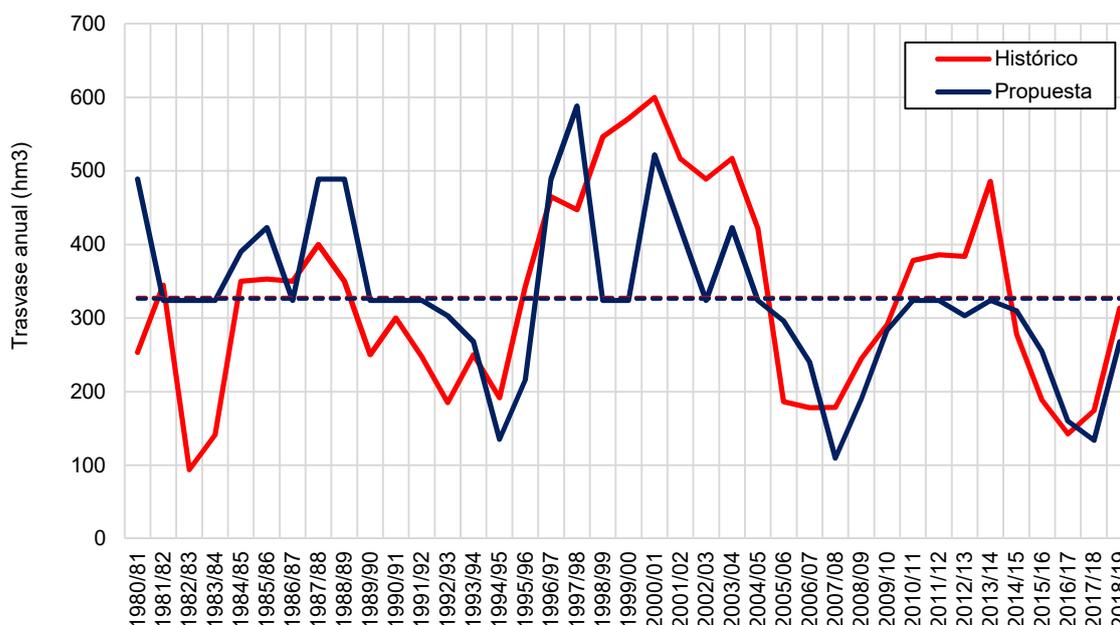


Figura 13. Trasvases anuales históricos y obtenidos con la regla propuesta

Como se ve en la figura los trasvases medios son prácticamente coincidentes, pues el trasvase medio histórico ha sido de 328 hm³/año, como se señalaba en 2.2, y el trasvase medio resultante con la nueva regla es de 326 hm³/año.

En cuanto a la distribución por usos de los volúmenes trasvasados, está regulada en la disposición adicional quinta de la Ley 21/2015. Esta disposición, que modificó de manera importante la distribución vigente hasta entonces, establece que los volúmenes cuyo trasvase haya sido autorizado se distribuyan entre abastecimientos y regadíos, en la proporción de un 25% para abastecimiento y el 75% restante para regadío, hasta el máximo de sus dotaciones anuales, y asegurando siempre al menos 7,5 hm³/mes para los abastecimientos urbanos.

Con esta distribución, los volúmenes que se obtienen para abastecimiento y regadío con los nuevos parámetros de la regla son los indicados en la tabla siguiente.

	Abastecimiento	Riegos
Trasvase mínimo (hm ³ /año) ¹⁹	45,0	58,0
Trasvase medio (hm ³ /año)	93,6	232,9
Trasvase máximo (hm ³ /año)	150,0	438,0

Tabla 16. Distribución por usos de las aguas trasvasadas con los nuevos parámetros.

Si se comparan estos resultados con los trasvases históricos ofrecidos en la tabla 6 (apartado 2.2) se observa una reducción del volumen destinado a abastecimientos urbanos y un aumento del trasvase destinado a riegos, respecto a los valores medios registrados desde el inicio del trasvase.

En efecto, el valor medio de los volúmenes históricos enviados a la Mancomunidad de los Canales del Taibilla ha sido de 119 hm³/año, y los destinados a la provincia de Almería han sido 4 hm³/año, en total 123 hm³ anuales destinados al abastecimiento urbano. La cifra de 94 hm³ obtenida con los nuevos parámetros de la regla significa una reducción del 24% respecto a los valores históricos.

En la figura siguiente se muestran las series anuales de los trasvases históricos destinados a abastecimiento y los resultantes de la aplicación de la nueva regla. A efectos comparativos se ha mantenido la misma escala vertical que en la figura anterior.

¹⁹ Como se desprende de las figuras 13, 14 y 15, el trasvase mínimo anual total se produce el mismo año que el trasvase mínimo para regadío (2007/08), pero no coincide con el año en que se produce el mínimo para abastecimiento (2017/18), por lo que la suma de los mínimos de abastecimiento y regadío no coincide con el mínimo total anual.

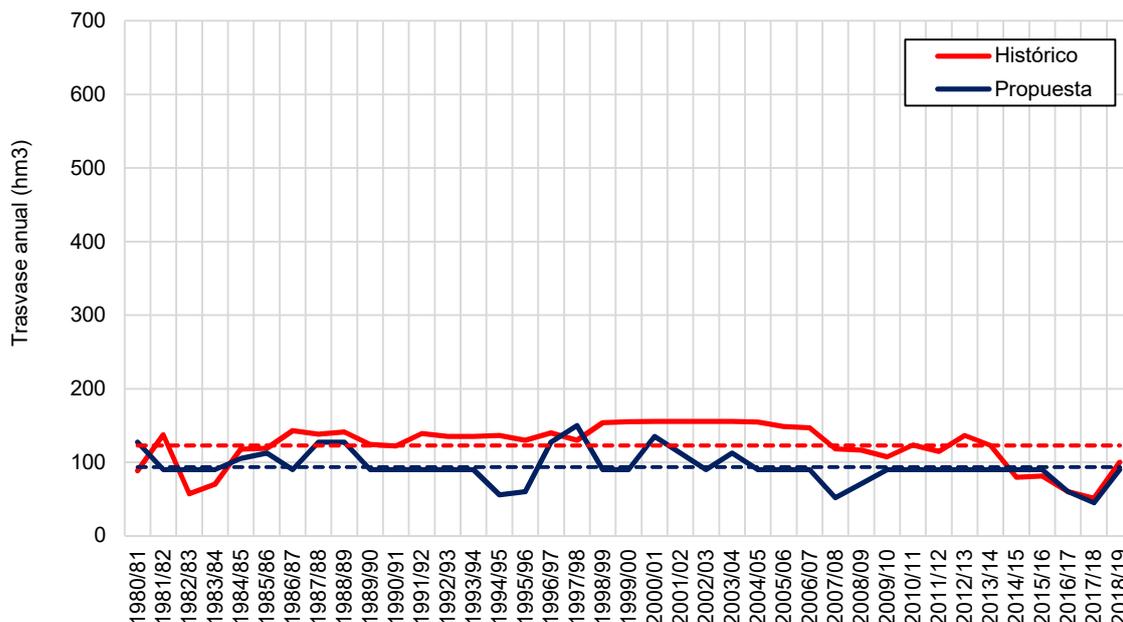


Figura 14. Trasvases anuales para abastecimiento. Valores históricos y valores obtenidos con la regla propuesta.

En cuanto al riego, la cifra histórica de trasvases es de 205 hm³/año, por lo que la cifra de 233 obtenida con los nuevos parámetros de la regla supone un incremento del 14% respecto a los volúmenes históricos.

En la figura siguiente, en la que también se ha mantenido la misma escala vertical, se presentan los trasvases históricos destinados a regadío y los que resultan de aplicar la nueva regla propuesta.

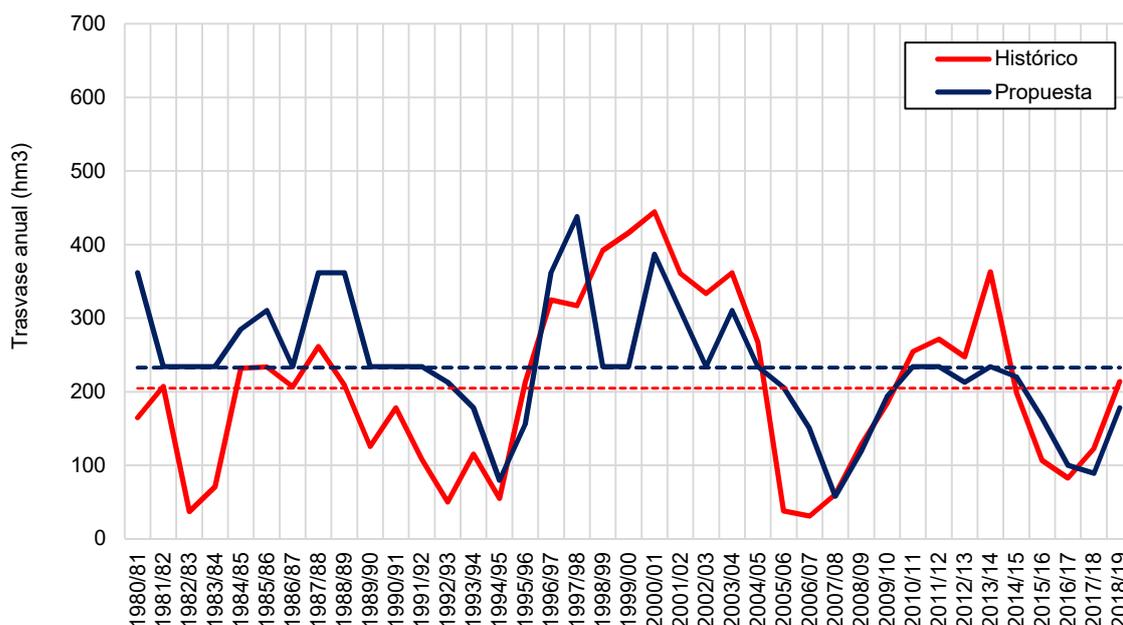


Figura 15. Trasvases anuales para riego. Valores históricos y valores obtenidos con la regla propuesta.

7 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Una vez seleccionados los parámetros para la actualización de la regla, se realiza un análisis de sensibilidad para explorar su funcionamiento en el caso de que se produzcan modificaciones en los otros parámetros, lo que permite comprobar la robustez de la actualización propuesta.

Para ello se calculan los indicadores de explotación modificando el volumen de trasvase en nivel 3 y la curva de condiciones excepcionales. También se verifica el funcionamiento de la regla de explotación si se aplica la regla del tercio en las situaciones excepcionales.

7.1 VOLUMEN DE TRASVASE EN NIVEL 3

Aunque el volumen trasvasable en nivel 3 de 20 hm³/mes depende, como se señalaba en el apartado 4, de los valores de suministro mínimo para abastecimiento y regadío en las zonas receptoras del trasvase y no procede, por tanto, su modificación en este momento, se ha considerado de interés comprobar el efecto que tendría una variación de su valor en los indicadores de explotación, una vez adoptados los valores de actualización propuestos.

Para ello, se consideran fijos los parámetros de la regla y se hace variar el volumen de trasvase en nivel 3 entre 7²⁰ y 20 hm³/mes, obteniéndose los resultados que se muestran en las figuras siguientes.

²⁰ Se elige este límite inferior, ya que la Ley 21/2015 establece que la distribución por usos de los volúmenes trasvasados asegure siempre al menos 7,5 hm³/mes para los abastecimientos urbanos.

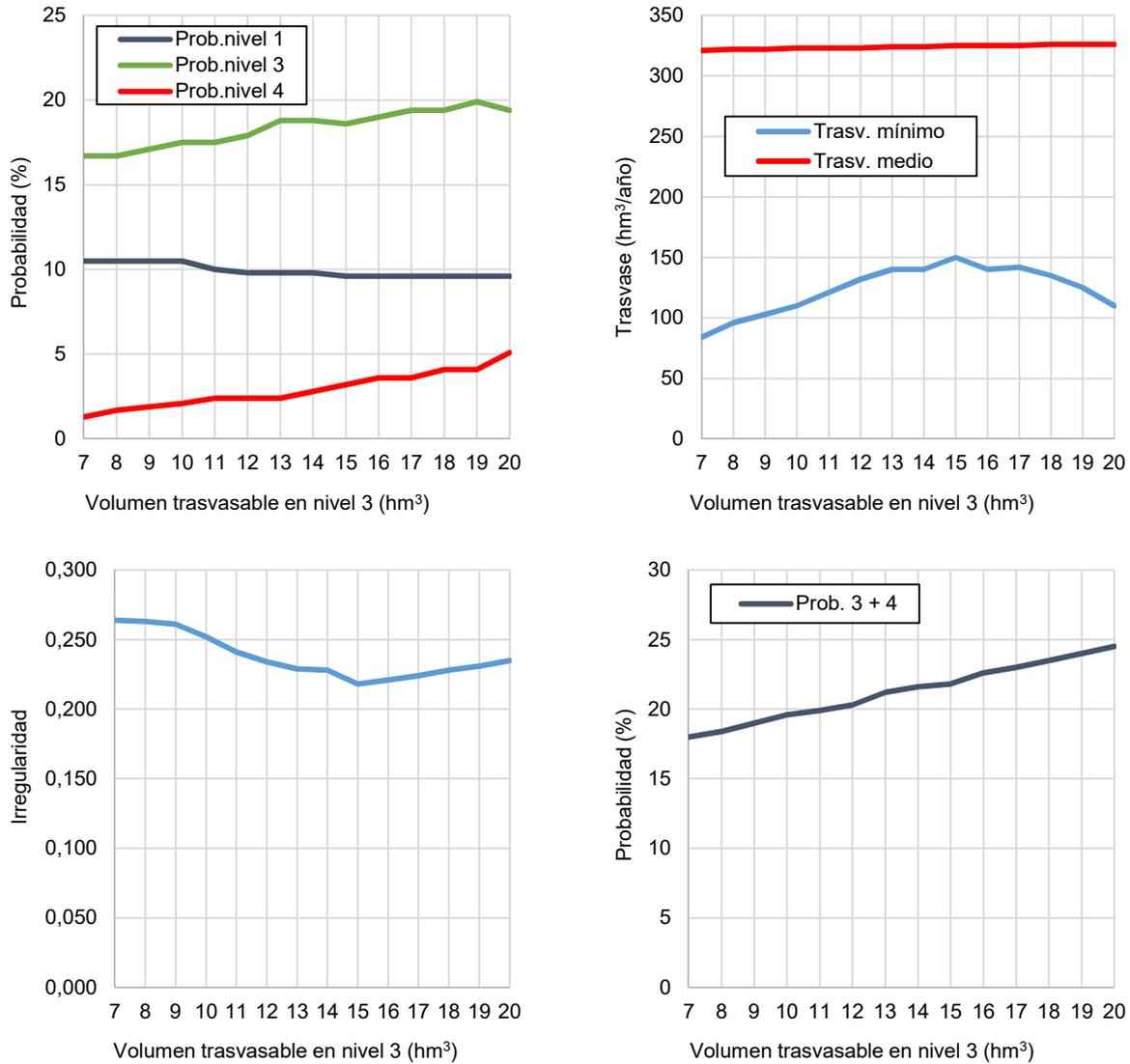


Figura 16. Indicadores de explotación en función del volumen de trasvase en nivel 3.

Se puede apreciar en la figura que las probabilidades de nivel 3 y 4 disminuyen al reducirse el volumen de trasvase en nivel 3, mientras que la probabilidad de nivel 1 aumenta ligeramente.

El trasvase medio se reduce al disminuir el volumen de trasvase en nivel 3, pero se trata de una reducción muy pequeña, menor del 2% en todo el intervalo analizado. El trasvase mínimo es más sensible. Para 15 hm³/mes de trasvase se alcanza el valor máximo, en torno a los 150 hm³ anuales, pero para valores inferiores se produce un importante descenso, hasta alcanzar valores inferiores a 100 hm³/año.

La irregularidad, por su parte, alcanza su valor mínimo para 15 hm³/mes, y a partir de ahí aumenta al reducirse el volumen trasvasable en nivel 3.

En resumen, los indicadores de explotación revelan un buen comportamiento de los nuevos parámetros de la regla frente a variaciones en el volumen trasvasable en nivel 3.

El indicador más sensible a reducciones de este volumen es el trasvase mínimo anual, que para trasvases en nivel 3 inferiores a 9 hm³/mes podría descender a valores anuales inferiores a los que se han considerado admisibles.

7.2 CURVA DE DEFINICIÓN DE CONDICIONES EXCEPCIONALES

Como ya se mencionó en el apartado 4, tampoco procede en este momento la modificación de la curva de definición de situaciones hidrológicas excepcionales. Sin embargo, se ha considerado oportuno evaluar el efecto que podría tener su modificación una vez adoptados los parámetros de actualización de la regla.

Para ello se consideran fijos todos los parámetros y se desplaza verticalmente la curva completa que define las situaciones hidrológicas excepcionales, desde -100²¹ hasta +300 hm³ adicionales. De esta forma, en lugar de la curva vigente, que oscila entre 586 (en abril) y 688 hm³ (en julio), se ensaya una familia de curvas que varían, en el caso de la más baja, entre 486 y 588 hm³, y en el caso de la más alta, entre 886 y 988 hm³. Se utiliza una resolución de 50 hm³, lo que supone la simulación de 9 curvas, incluida la de referencia (desplazamiento nulo). Los resultados se presentan en las siguientes figuras.

²¹ No se aplican desplazamientos inferiores para evitar la superposición con el umbral de reservas no trasvasables.

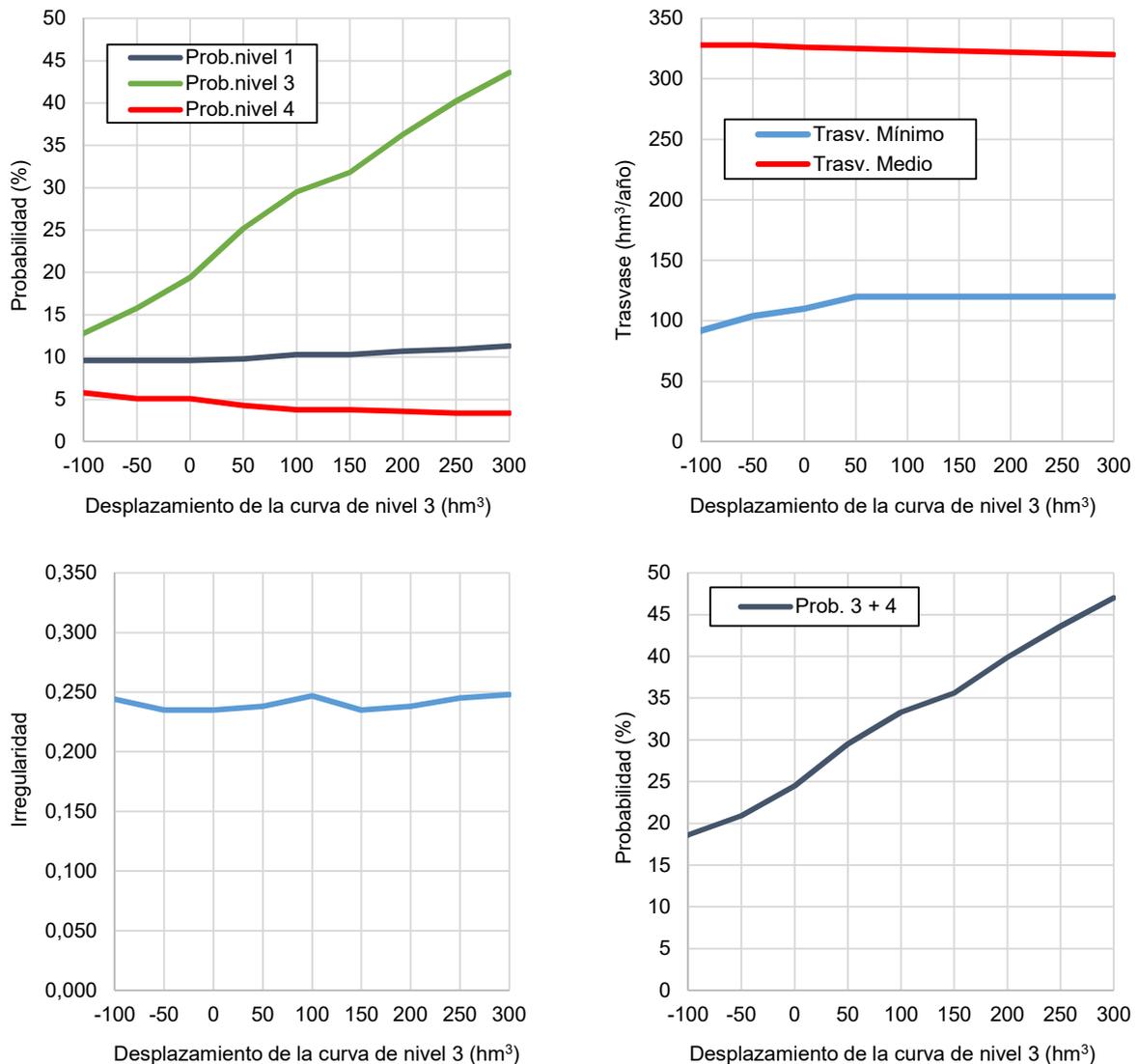


Figura 17. Indicadores de explotación en función del desplazamiento de la curva de condiciones excepcionales.

Como se observa en la figura, la probabilidad de nivel 3 crece rápida y linealmente con el aumento de la curva de nivel 3 en todo el rango, mientras que la probabilidad de nivel 4 se reduce de forma gradual.

El trasvase medio anual se mantiene prácticamente constante, disminuyendo ligeramente a medida que asciende la curva (reducción inferior al 3% en todo el intervalo). El trasvase mínimo se mantiene en torno a 120 hm³/año para curvas superiores a la actual. Si la curva desciende el trasvase mínimo baja a 100.

Por su parte, la irregularidad se mantiene estable cerca de 0,250 en todo el intervalo.

En resumen, elevar la curva de situación excepcional no representa mejora alguna en el funcionamiento del trasvase, y podría suponer importantes aumentos de la probabilidad de nivel 3 y ligeras reducciones del trasvase medio anual. El descenso de la curva podría

representar reducciones apreciables de la probabilidad de nivel 3 y ligeros aumentos del volumen medio trasvasado, aunque el trasvase mínimo anual descendería.

El indicador más sensible en este caso es la probabilidad de situaciones excepcionales, que resulta rápidamente afectada con los desplazamientos de la curva, como era de esperar, pues se modifica directamente la amplitud de la zona de nivel 3.

7.3 EFECTO DE LA APLICACIÓN DE LA REGLA DEL TERCIO

Hasta ahora se ha supuesto que al alcanzarse el nivel 3 la regla se aplica siempre en su formato estándar, es decir, se trasvasa el volumen disponible cada mes, con un máximo de 20 hm^3 .

Sin embargo, como se indicó en el apartado 2.1, desde marzo de 2019 la Comisión Central de Explotación del ATS dispone de un procedimiento objetivo de aplicación de la regla de explotación en situación hidrológica excepcional, elaborado por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX.

El procedimiento, denominado de manera informal regla del tercio, consiste en determinar el trasvase de cada mes, si el sistema se encuentra en nivel 3, en función de la disponibilidad de los tres próximos meses. Así, el trasvase de un mes es la tercera parte de la disponibilidad trimestral si esta disponibilidad es superior a $22,5 \text{ hm}^3$. En caso contrario, el trasvase se limita a $7,5 \text{ hm}^3$, siempre que este volumen se encuentre disponible.

En la figura siguiente se esquematiza gráficamente el procedimiento descrito.

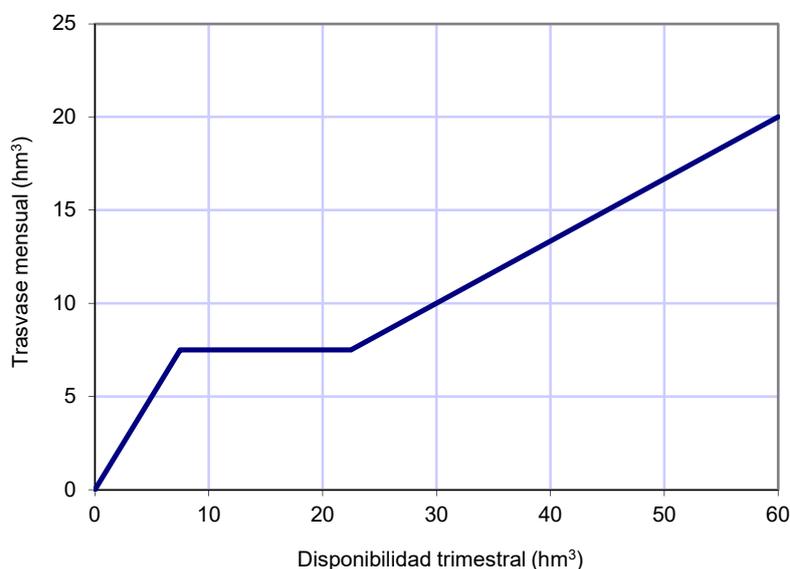


Figura 18. Regla del tercio. Trasvase mensual en situación excepcional en función de la disponibilidad trimestral.

Con objeto de comprobar el efecto que podría tener la aplicación de este procedimiento en combinación con los nuevos parámetros propuestos para actualizar la regla, se han

obtenido los indicadores de explotación suponiendo que al alcanzarse el nivel 3 se aplica la regla del tercio.

En principio, tal como se ponía de manifiesto en el informe de 2019, el efecto de la aplicación de este procedimiento en los indicadores de explotación debe ser reducido, pues opera solo al activarse el nivel 3 y su objetivo es que la reducción del máximo trasvasable en este nivel se produzca, cuando sea necesaria, de forma gradual y progresiva. Por ello, su aplicación apenas altera las probabilidades de presentación de los diferentes niveles ni los volúmenes medios trasvasados.

Con los nuevos parámetros propuestos el efecto de la regla del tercio aún será menos apreciable, pues la probabilidad de presentación de situaciones excepcionales se ha reducido casi a la mitad.

En efecto, una vez repetidos los cálculos aplicando la regla del tercio junto con los parámetros actualizados, los resultados de los indicadores de explotación son muy similares, como se muestra en la tabla, en la que también se incluyen los resultados de aplicación de la regla en su formato estándar.

Indicador	Método estándar	Regla del tercio
Probabilidad nivel 1 (%)	9,6	9,6
Probabilidad nivel 2 (%)	65,8	66,2
Probabilidad nivel 3 (%)	19,4	20,1
Probabilidad nivel 4 (%)	5,1	4,1
Trasvase mínimo anual (hm3)	110	107
Trasvase medio anual (hm3)	326,	326
Coficiente de variación anual	0,332	0,333
Coficiente irregularidad	0,235	0,235
Vertido medio anual (hm3)	0	0

Tabla 17. Indicadores de explotación con los nuevos parámetros y aplicación de la regla del tercio.

Se reduce ligeramente la probabilidad de nivel 4 (del 5 al 4%) y aumentan en la cuantía equivalente las probabilidades de nivel 2 y 3, aunque la probabilidad conjunta de los niveles 3 o 4 se mantiene ligeramente por debajo. El resto de parámetros se mantiene constante, salvo el trasvase mínimo, que desciende levemente como consecuencia de las restricciones de suministro que introduce la regla del tercio.

En la figura siguiente se muestran los volúmenes mensuales trasvasados con la actualización propuesta, con aplicación de la regla del tercio y sin ella.

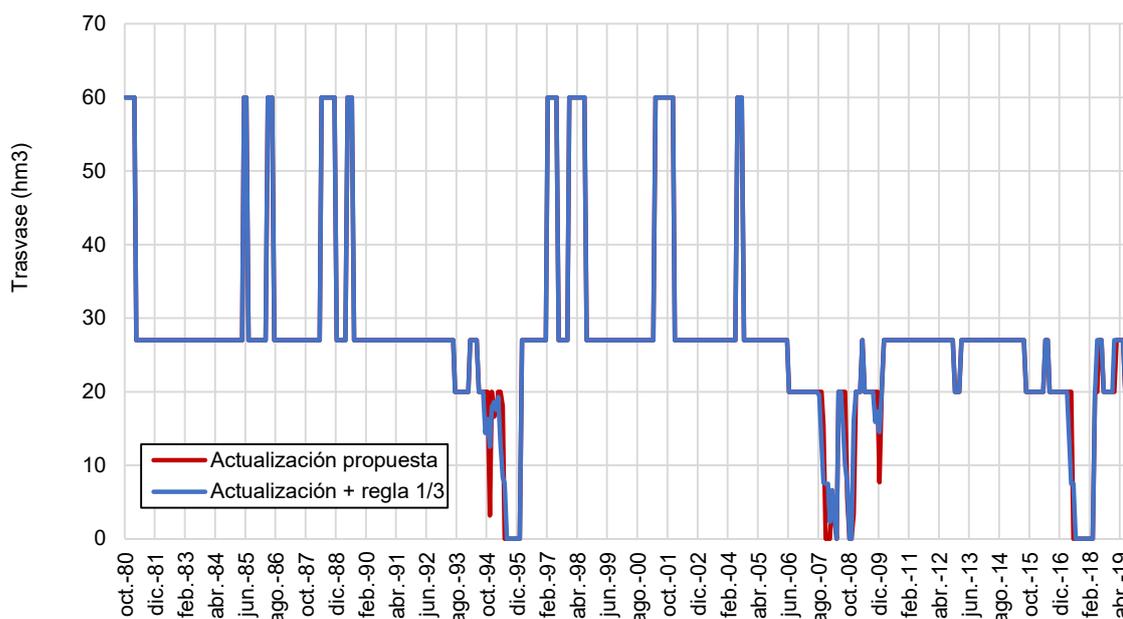


Figura 19. Trasvases mensuales con la actualización de regla con activación y sin activación de la regla del tercio.

Como puede apreciarse en la figura, las diferencias se producen en los periodos de crisis, de forma que con la regla del tercio las reducciones del volumen trasvasado son más graduales.

Cabe realizar una observación sobre la regla del tercio. Su aplicación se basa en el conocimiento de la disponibilidad trimestral, es decir, de los trasvases que se podrían realizar en los próximos tres meses, lo que requiere la aplicación trimestral de la regla de explotación. Para ello es preciso utilizar el procedimiento de predicción de las aportaciones mensuales futuras establecido en el artículo 2 del real decreto 773/2014. Este procedimiento, basado en un modelo estocástico cuya obtención y descripción detallada puede encontrarse en el informe de 2013²², depende exclusivamente de la serie histórica de aportaciones mensuales a los embalses de Entrepeñas y Buendía. Dado que desde entonces se dispone de nueva información hidrológica y que ésta afecta, como se señalaba en el apartado 3.3, a los estadísticos básicos de la serie, se considera recomendable actualizar el procedimiento de predicción de aportaciones establecido en el real decreto.

En definitiva, el análisis de sensibilidad efectuado permite concluir la validez de los nuevos parámetros propuestos y la robustez de la regla resultante frente a modificaciones en el volumen de trasvase en nivel 3 o en el desplazamiento de la curva de condiciones excepcionales. También se ha podido verificar que la progresividad de las restricciones de suministro que introduce la regla del tercio apenas introduce mejoras –más allá de esta gradación- en los indicadores de explotación del trasvase obtenidos con la nueva regla propuesta.

²² Cabezas, 2013, pág. 148-155.

8 CONSIDERACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO

El carácter adaptativo de la regla de explotación permite que se puedan afrontar situaciones hidrológicas no consideradas en su diseño, incluidas secuencias hidrológicas más adversas que las históricas. Por otra parte, con la revisión periódica de la regla se puede conseguir que sus parámetros se actualicen a medida que se dispone de nueva información, de forma que la regla se readapte a las circunstancias que paulatinamente se vayan registrando.²³

Sin embargo, con objeto de anticipar el posible impacto del cambio climático en las entradas a Entrepeñas y Buendía y su efecto en la aplicación de la nueva regla propuesta se ha considerado oportuno abordar la cuestión en este informe.

Para ello se cuenta como punto de partida con el último informe de evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos en España, realizado por el CEDEX en 2017, en colaboración con la Oficina Española de Cambio Climático y la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)²⁴. Este informe utiliza para su evaluación los resultados de los modelos y escenarios de emisiones del 5º informe de evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático regionalizados por AEMET.

Según este estudio, el cambio climático podría suponer en promedio para la demarcación hidrográfica del Tajo una reducción de los recursos hídricos que estaría comprendida entre el 3 y el 8% para el periodo 2010-2040 (primer periodo de impacto), según se considere un escenario de emisiones intermedio (RCP 4,5) o el más desfavorable de todos (RCP 8,5).

Los mapas siguientes muestran la distribución de estos porcentajes de reducción en toda la demarcación.

²³ Esta revisión periódica se podría hacer coincidir con las sucesivas revisiones de los planes hidrológicos cada seis años, pero debería transcurrir un periodo de tiempo suficientemente largo como para que la nueva serie hidrológica supusiera una mejora significativa desde un punto de vista estadístico, sin caer en las oscilaciones que provienen de la presencia de ciclos húmedos y secos.

²⁴ CEDEX, *Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos y sequías en España*, Madrid, julio de 2017.

https://ceh.cedex.es/web_ceh_2018/documentos/CAMREC/2017_07_424150001_Evaluaci%C3%B3n_cambio_clim%C3%A1tico_recu.pdf.

Puede encontrarse una síntesis del estudio en Barranco, Dimas, Jiménez y Estrada, "Nueva evaluación del impacto futuro del cambio climático en los recursos hídricos en España", *Ingeniería Civil* núm. 191, 2018, p. 34-55.

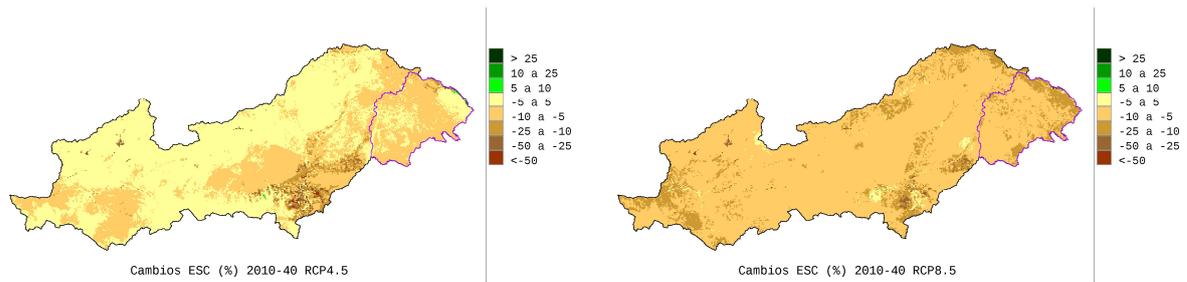


Figura 20. Cambios en la escorrentía anual (%) para el periodo 2010-2040 según los escenarios climáticos RCP 4.5 (izda.) y RCP 8.5 (dcha.) en la parte española de la demarcación hidrográfica del Tajo.

Como se aprecia en la figura, la distribución del impacto en la demarcación no es uniforme. Por ello se ha obtenido el valor correspondiente a la cuenca vertiente al embalse de Bolarque, que aparece señalada en las figuras anteriores y se muestra en detalle en las figuras siguientes, en las que se han representado los embalses de Entrepeñas y Buendía.

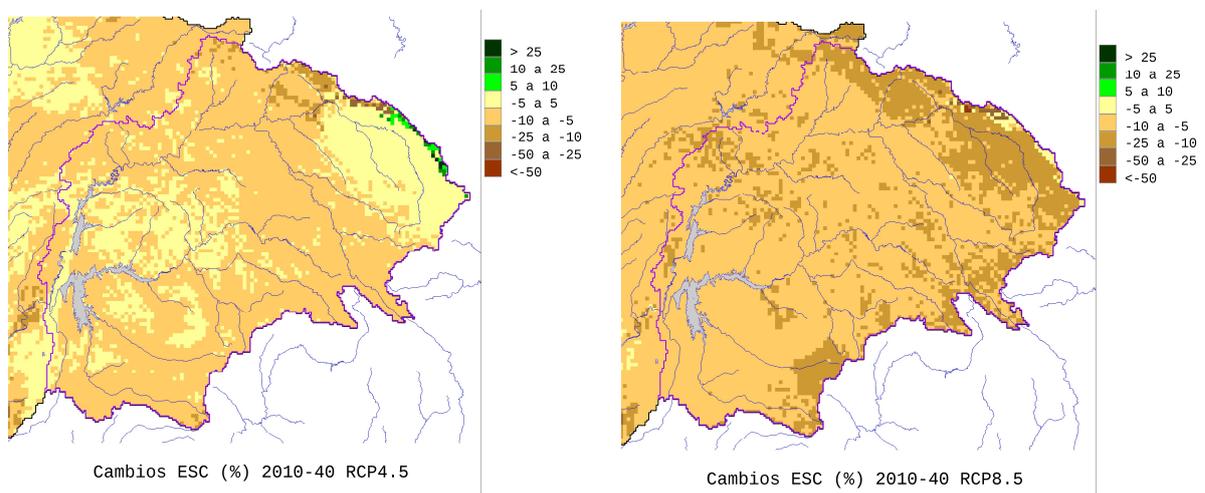


Figura 21. Cambios en la escorrentía anual (%) para el periodo 2010-2040 según los escenarios climáticos RCP 4.5 (izda.) y RCP 8.5 (dcha.). Detalle de la cuenca vertiente a Bolarque.

El impacto en la cabecera es algo mayor que en el conjunto de la demarcación, de forma que para el escenario más moderado la reducción sería de un 4% y para el escenario más severo de un 9%.²⁵

La forma de incorporar este impacto en los análisis de sistemas de recursos hídricos se especifica en la Instrucción de planificación hidrológica de 2008 y consiste, básicamente,

²⁵ Para particularizar los resultados del estudio a la cuenca vertiente a Bolarque se ha utilizado una aplicación específicamente diseñada para manejar la amplia colección de mapas digitales de las proyecciones de las variables hidroclimáticas obtenidos en el estudio del CEDEX. Se puede encontrar su descripción en Barranco, Ángel, Herrero y García, "Aplicación CAMREC. Impacto futuro del cambio climático en los recursos hídricos en España", *Ingeniería Civil* núm. 192, 2018, p. 40-49.

en aplicar unos porcentajes de reducción global a las aportaciones naturales de referencia.²⁶

Esta serie de referencia debe ser, lógicamente, una serie representativa de la situación hidrológica previa a la considerada en los periodos de impacto, sobre la que se aplican los porcentajes de reducción para tener en cuenta, precisamente, el efecto del cambio climático. La serie de entradas a los embalses de Entrepeñas y Buendía que se utiliza en este estudio comprende el periodo 1980/81-2018/19, por lo que una parte de ella está incluida en el primer periodo de impacto, lo que queda reflejado en los registros hidrológicos. Como ya se ha indicado, el primer periodo de impacto considerado en el estudio del CEDEX abarca desde 2010 hasta 2040, lo que significa que la serie de entradas a los embalses ya habría superado la tercera parte de este periodo. Si se aplicaran los porcentajes de reducción de aportaciones a esta serie completa se estaría contabilizando dos veces el impacto del cambio climático, pues se estaría añadiendo al posible impacto real ya registrado en los últimos años, el impacto proyectado en los estudios de evaluación. Los porcentajes de reducción se deben aplicar, por tanto, a una serie de referencia previa, para lo que es preciso determinar el periodo que comprende.

Una primera referencia pueden ser los periodos de control utilizados para evaluar el impacto en los estudios de cambio climático. En el caso concreto del estudio del CEDEX, este periodo comprendía desde 1960 hasta el año 2000, pero en otros estudios este periodo se extiende hasta el año 2005.²⁷ Dado que este año se sitúa en el punto medio entre el final del periodo de control y el inicio del primer periodo de impacto se considera razonable utilizarlo como final de la serie de referencia, de forma que esta serie abarcaría desde 1980/81 hasta 2005/06.

En la siguiente figura se muestran las aportaciones anuales de los 39 años hidrológicos completos registrados desde el comienzo de la explotación del trasvase, junto con los valores promedio correspondientes a diferentes periodos.

²⁶ Instrucción de planificación hidrológica. Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica. Epígrafe 2.4.6. BOE núm. 229, de 22 de septiembre de 2008.

²⁷ Para la preparación del 5º Informe de Evaluación (AR5) del IPCC, los modelos climáticos de circulación global extendieron de manera generalizada el periodo de simulación histórico, del que se tomó el periodo de referencia para comparación con las simulaciones de clima futuro, hasta el año 2005, siguiendo las especificaciones del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP5), coordinado por el Programa Mundial de Investigación Climática (WCRP). Véase Emori, S., Taylor, K., Hewitson, B., Zermoglio, F., Jukes, M., Lautenschlager, M. and Stockhause, M. 2016: *CMIP5 data provided at the IPCC Data Distribution Centre*. Fact Sheet of the Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Analysis (TGICA) of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 8 pp.

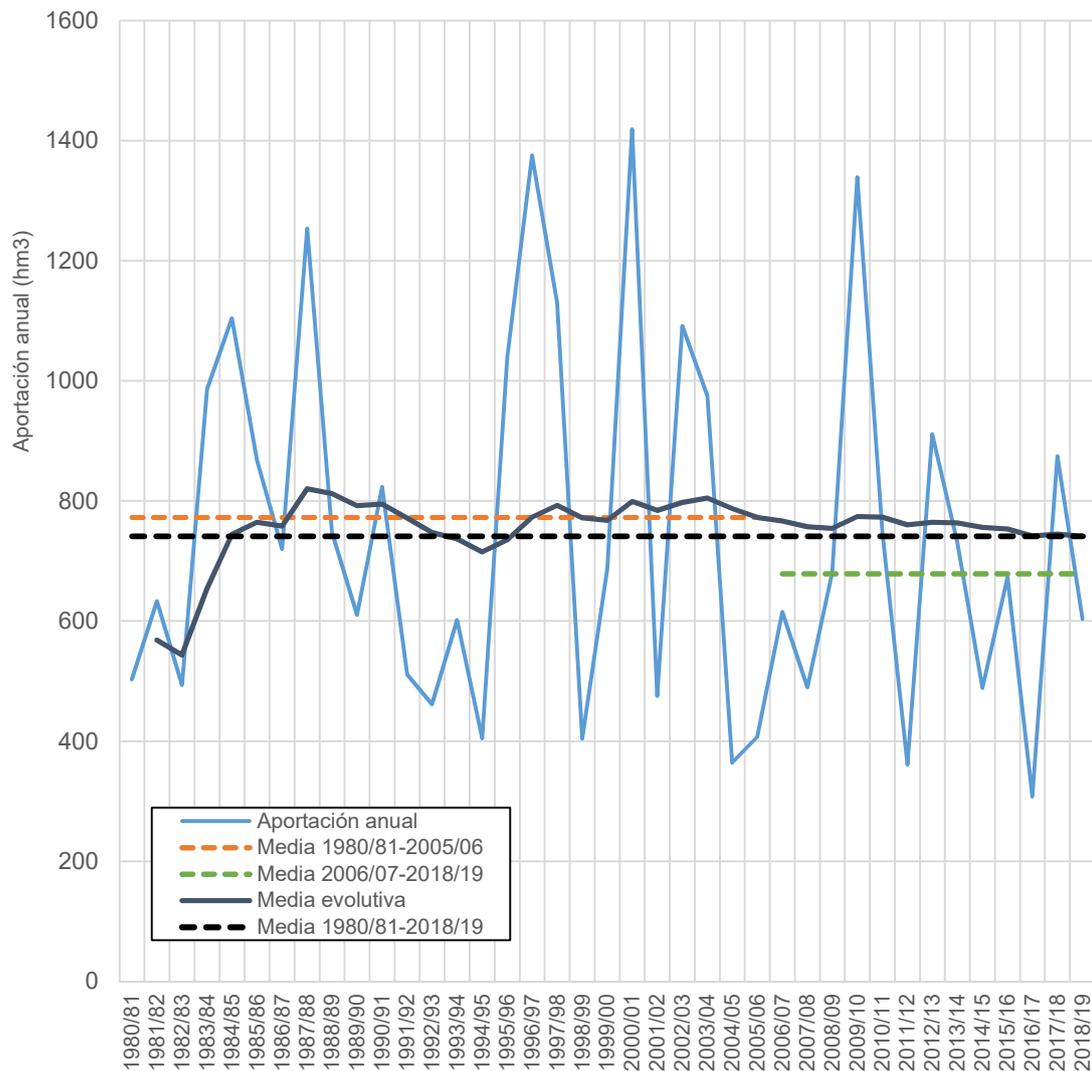


Figura 22. Aportaciones anuales desde la entrada en servicio del trasvase (1980/81-2018/19).

La aportación media del periodo completo 1980/81-2018/19, como ya se indicó en 3.3, es de 741 $\text{hm}^3/\text{año}$. La media del periodo 1980/81-2005/06, que puede considerarse de referencia, es superior y alcanza 773 $\text{hm}^3/\text{año}$. Por su parte, el periodo final 2006/07-2018/19 registra unas aportaciones notablemente inferiores, con un valor medio de 679 $\text{hm}^3/\text{año}$.

Es decir, las aportaciones del periodo 2006/07-2018/19 suponen, en promedio, una reducción del 12% respecto a la media del periodo 1980/81-2005/06. Como consecuencia de ello, la media del periodo completo 1980/81-2018/19 se reduce un 4% respecto al periodo 1980/81-2005/06.

Si en la figura se analiza la media evolutiva (media desde 1980/81 hasta cada año concreto) se puede observar que a partir del año 2005/06 se produce una reducción

paulatina de su valor, desde el valor inicial de 773 hm³/año hasta el valor actual de 741 hm³/año.

Por todo lo expuesto, se considera razonable adoptar el periodo 1980/81-2005/06 como representativo de la serie de referencia, lo que se confirmaría con las apreciables reducciones que de forma progresiva se producen a partir de ese momento en el valor medio de las aportaciones, que en parte podrían deberse al impacto del cambio climático.

Si a esta serie de referencia se le aplican los dos coeficientes reductores de aportaciones del 4 y el 9% correspondientes a la cuenca vertiente a Bolarque y se repiten los cálculos con los nuevos parámetros de actualización de la regla, las reservas mensuales en Entrepeñas y Buendía evolucionarían como se muestra en la figura siguiente.

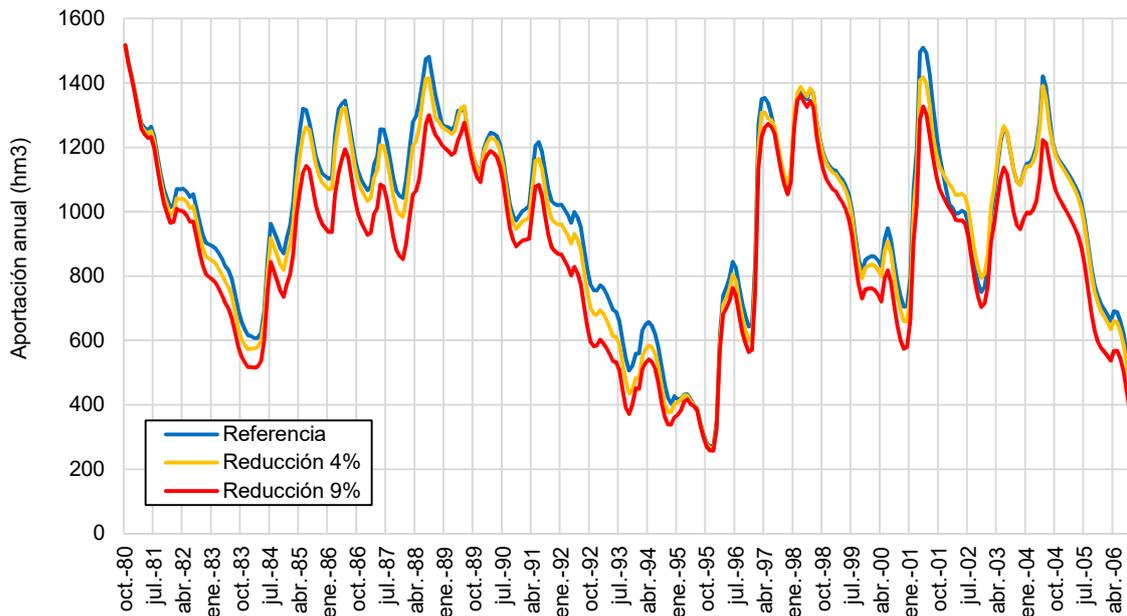


Figura 23. Existencias mensuales embalsadas obtenidas con la serie de referencia y con las series modificadas con los coeficientes de cambio climático.

Los trasvases mensuales que podrían realizarse aplicando la regla en los dos supuestos de reducción de aportaciones se muestran en la siguiente figura.

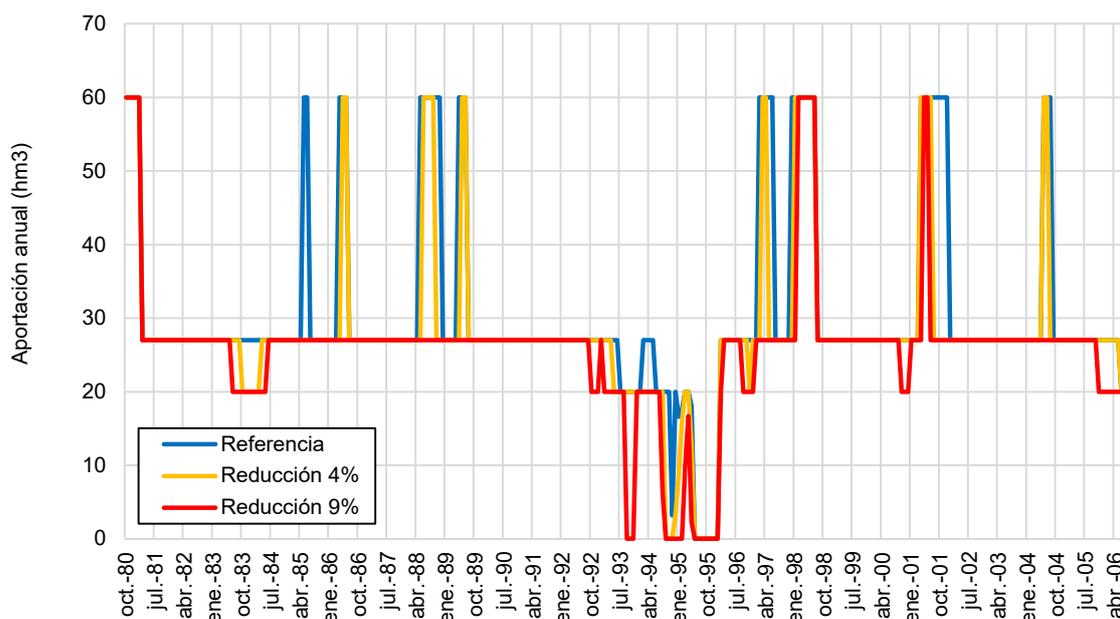


Figura 24. Trasvases mensuales obtenidos con la regla vigente y con los nuevos parámetros.

Como se puede apreciar en ambas figuras, el efecto de la reducción de aportaciones se acusaría de forma más severa en la crisis de la primera mitad de los noventa, con niveles de existencias más bajos y menores posibilidades de trasvase.

En la siguiente tabla se presentan los indicadores de explotación correspondientes a la serie de referencia (1980/81-2005/06) y a las series minoradas con los coeficientes de cambio climático, y se comparan con la serie completa, posiblemente alterada por el cambio climático (1980/81/2018/19).

Indicador	Serie de referencia (80/81-05/06)	Reducción 4%	Reducción 9%	Serie completa (80/81-18/19)
Probabilidad nivel 1 (%)	14,4	9,0	4,2	9,6
Probabilidad nivel 2 (%)	75,6	76,9	73,7	65,8
Probabilidad nivel 3 (%)	7,4	10,6	16,3	19,4
Probabilidad nivel 4 (%)	2,6	3,5	5,8	5,1
Trasvase mínimo anual (hm3)	135	81	29	110
Trasvase medio anual (hm3)	366	338	306	326
Coefficiente de variación mensual	0,278	0,273	0,299	0,332
Coefficiente irregularidad	0,234	0,230	0,182	0,235
Vertido medio anual (hm3)	0	0	0	0

Tabla 18. Indicadores de explotación con reducciones de las aportaciones por efecto del cambio climático.

Los resultados para el periodo 1980/81-2005/06 son notablemente mejores, como cabía esperar, que los resultados actuales correspondientes a la serie completa. Se cumplen de forma sobrada los criterios de probabilidad de los niveles 3 y 4 y el de trasvase mínimo, y el trasvase medio presenta un valor claramente superior.

Cuando se aplican los coeficientes reductores los resultados empeoran, de forma más acusada en el caso del escenario más desfavorable, como es lógico, pero los indicadores de probabilidad se mantienen dentro de los valores admisibles. La probabilidad de situaciones excepcionales (nivel 3) se mantiene incluso más baja en los dos escenarios de reducción que con la serie completa que, desde este punto de vista, sería más desfavorable. El efecto más severo se produce en el trasvase mínimo anual, que alcanza valores muy bajos, sobre todo en el escenario más desfavorable.

En cuanto al trasvase medio, se producirían también reducciones muy apreciables. La serie completa se situaría en una posición intermedia entre la reducción del 4 y la del 9%.

En resumen, la serie completa 1980/81-2018/19, quizá ya parcialmente alterada por la incorporación del cambio climático en los registros hidrológicos recientes, es más desfavorable desde el punto de vista de la probabilidad de situaciones excepcionales que la serie de referencia corregida con los coeficientes reductores, de acuerdo con el procedimiento habitualmente empleado. Sin embargo, desde el punto de vista de los trasvases medios anuales, la serie completa se encontraría en una situación intermedia entre el 4% del escenario moderado (RCP 4,5) y el 9% del escenario más severo (RCP 8,5).

Todo ello pone de relieve, una vez más, la necesidad de revisar periódicamente la regla de explotación del trasvase, para incorporar, entre otros, los efectos que el cambio climático pueda introducir en los recursos hídricos naturales de la cabecera del Tajo.

9 COMPARACIÓN DE LA ACTUALIZACIÓN PROPUESTA CON LA REGLA VIGENTE

Para finalizar el estudio se realiza un último contraste entre los resultados obtenidos con la regla vigente y con la nueva actualización propuesta. Cabe recordar que esta actualización supone reducir el volumen de trasvase en nivel 2 de 38 a 27 hm³/mes y elevar las aportaciones acumuladas que definen el nivel 1 de 1200 a 1400 hm³. Los demás parámetros de la regla se mantienen sin cambios.

La evolución de los trasvases mensuales que se realizarían en ambos casos es la que se muestra en la siguiente figura.

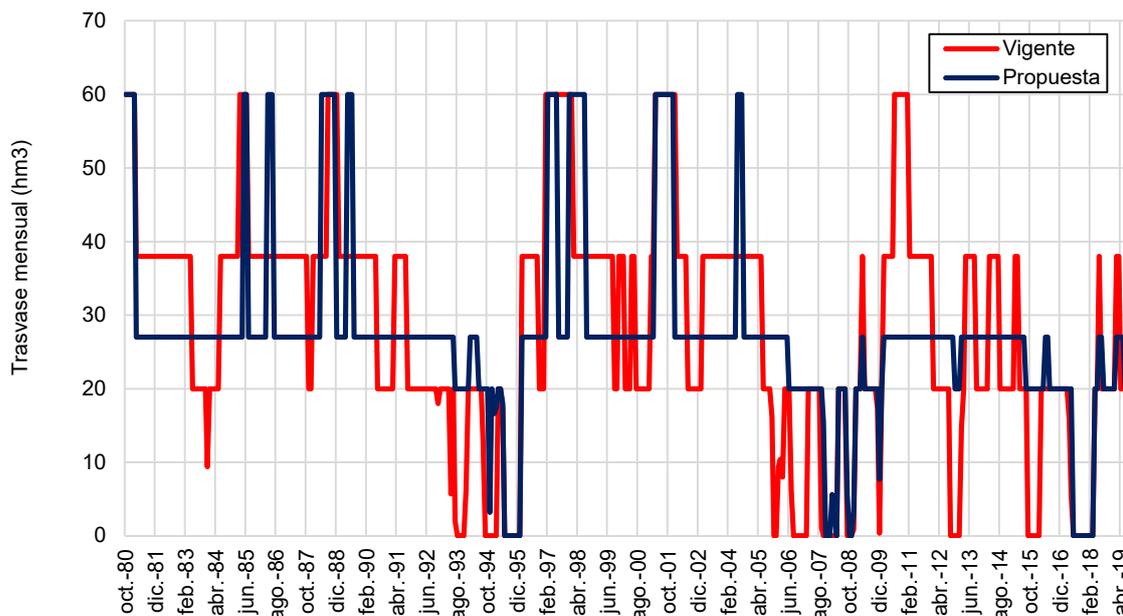


Figura 25. Trasvases mensuales obtenidos con la regla vigente y con la regla propuesta.

Como puede apreciarse, los envíos son más regulares con la regla propuesta, con la que se obtiene un menor número de máximos y de mínimos. La diferencia más importante es que se reduce notablemente el número de meses con trasvase nulo, lo que significa que la nueva regla da lugar a suministros más regulares y estables, que era el objetivo buscado.

Los resultados a escala anual se muestran en la siguiente figura, en la que también se representan los trasvases medios resultantes en las dos opciones.

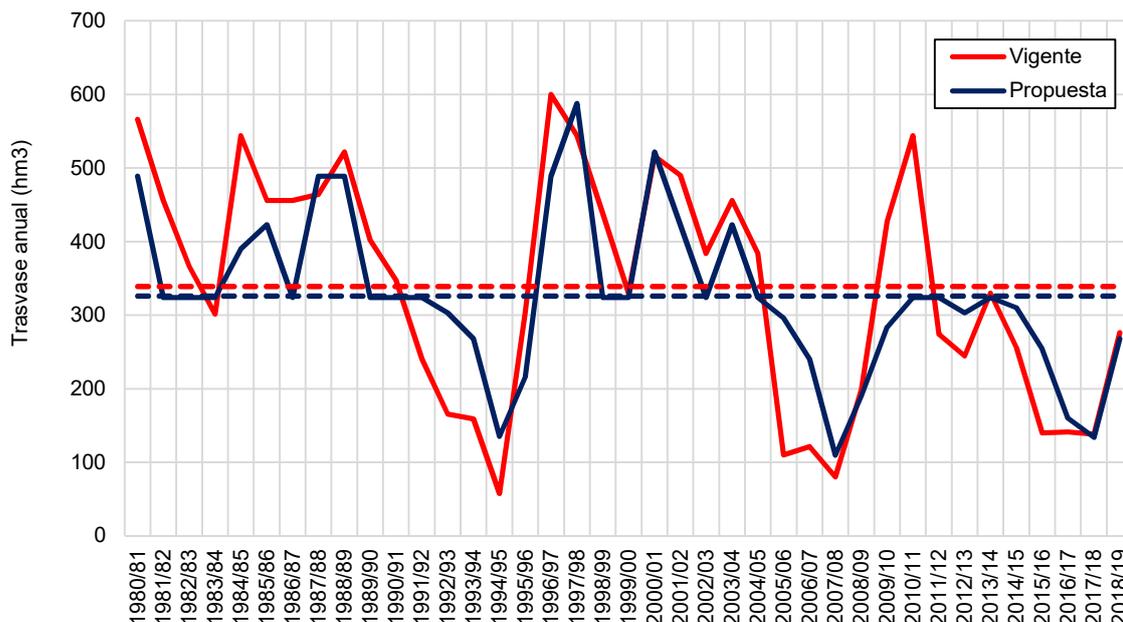


Figura 26. Trasvases anuales obtenidos con la regla vigente y con la regla propuesta.

Como se puede observar, el régimen anual de trasvases es también más estable con la actualización propuesta que con la regla vigente. En general, la regla propuesta da lugar a trasvases menores en los periodos más húmedos, lo que permite realizar mayores trasvases en los periodos más secos. En cuanto al trasvase mínimo anual, nunca sería inferior a 110 hm³ con la regla propuesta, mientras que con la vigente bajaría de 100 en dos ocasiones, llegando a registrarse un mínimo inferior a 60 hm³/año en 1994/95.

El trasvase medio anual con la actualización propuesta (326 hm³) es similar al trasvase histórico registrado (328 hm³), pero un 4% inferior al trasvase medio resultante con la regla vigente (339 hm³/año), como consecuencia de la mayor evaporación producida al mantenerse unas mayores existencias en los embalses, lo que incrementa la superficie de la lámina de agua, como ya se indicó. Esta diferencia en las existencias embalsadas se puede apreciar en la siguiente figura, en la que se muestra la evolución de las reservas con las dos versiones de la regla.

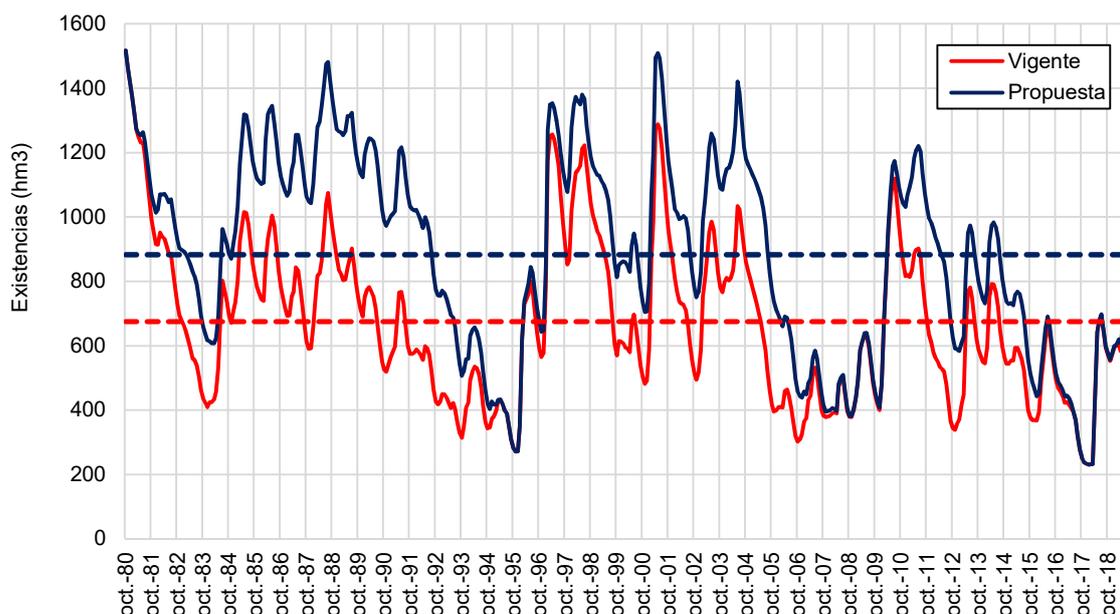


Figura 27. Existencias mensuales embalsadas obtenidas con la regla vigente y con la regla propuesta.

Con la regla vigente las existencias medias embalsadas serían de unos 675 hm³, mientras que con la modificación propuesta las reservas medias se elevarían apreciablemente, alcanzando un valor de 883 hm³. En el primer caso se produciría una evaporación media anual de unos 64 hm³, mientras que en el segundo sería de unos 76 hm³, lo que explica la diferencia del 4% en los trasvases medios anuales resultantes en cada opción.

En la figura también puede apreciarse que con la regla vigente las reservas bajarían de 400 hm³ un mayor número de veces (58) que con la nueva regla que se propone (24), con la que los descensos se concentrarían en un par de años, durante la crisis de los noventa y la de 2017-2018.

Finalmente se comparan los resultados correspondientes a los porcentajes de presentación de cada uno de los niveles fijados en la regla.

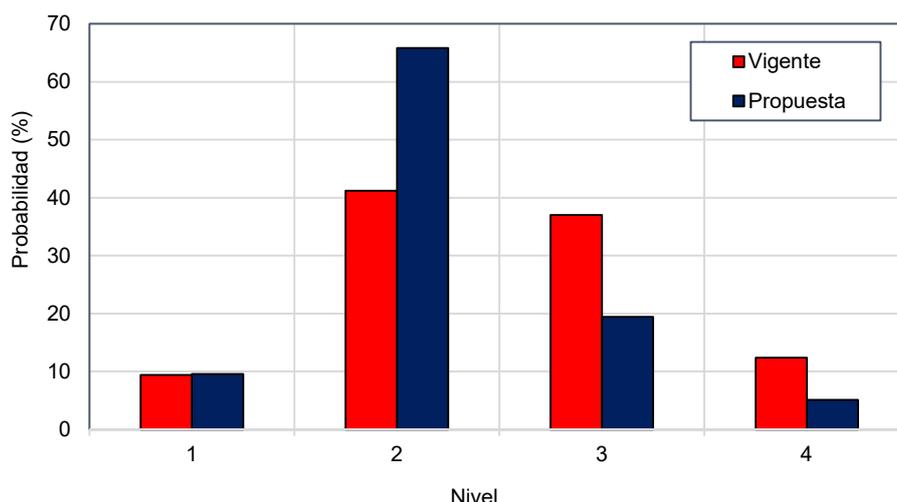


Figura 28. Porcentaje de presentación de niveles con la regla vigente y con la nueva regla

Como se ve en la figura, las probabilidades de nivel 1 son muy similares. La mayor diferencia se produce en el nivel 2, que con la nueva regla se eleva del 41 al 66%. La probabilidad de nivel 3 se reduce del 37 al 19%, valor comprendido en el límite de diseño.

La mayor diferencia en términos relativos se produce en el nivel 4, que desciende del 12 al 5%, lo que supone reducir la probabilidad de presentación de situaciones de trasvase nulo casi a la tercera parte de la actual.

10 CONCLUSIONES

La actual explotación del trasvase Tajo-Segura registra tal frecuencia de situaciones hidrológicas excepcionales (nivel 3) o de ausencia de recursos trasvasables (nivel 4), que en conjunto pueden llegar a suponer la mitad del tiempo de operación. Esta circunstancia, que desvirtúa el propio concepto de excepcionalidad, tiene como consecuencia una alta inestabilidad y una gran irregularidad en los volúmenes trasvasados.

La razón por la que se ha llegado a alcanzar esta situación es doble. En primer lugar, la regla vigente no tomó en consideración las conclusiones del estudio de 2013, en el que se proponía modificar el volumen de trasvase en nivel 2 y reducirlo a 30 hm³/mes, y se decidió mantener la cifra original de 38 hm³/mes. Esta decisión supuso que la nueva regla comenzara su funcionamiento en 2014 con una alta probabilidad de partida de incurrir en situaciones hidrológicas excepcionales, desviándose desde el inicio de los valores de diseño considerados admisibles.

En segundo lugar, desde que la regla entró en vigor las aportaciones a los embalses de Entrepeñas y Buendía han experimentado un notable descenso, llegando a registrarse durante estos años el peor año hidrológico desde la entrada en servicio del trasvase, con un mínimo histórico de 307 hm³.

La combinación de ambos factores –inadecuada cifra de partida y desfavorable evolución hidrológica de los últimos años- ha dado lugar a esta elevada ocurrencia de situaciones excepcionales en la explotación del trasvase.

Este funcionamiento de la regla vigente pone de manifiesto la conveniencia de actualizar y ajustar sus parámetros, de forma que la situación excepcional se presente con menor frecuencia y se restablezcan las probabilidades de presentación con las que inicialmente fue diseñada la regla. Esta circunstancia fue prevista por la Ley 21/2015, que contempla la posibilidad de realizar cambios en la mayoría de los parámetros de la regla mediante real decreto.

Los valores de los parámetros de la regla dependen, fundamentalmente, de las condiciones hidrológicas y de los usos del agua y requerimientos ambientales de la cabecera del Tajo. Dado que aún no se dispone de la nueva revisión del plan hidrológico del Tajo, la actualización realizada en este estudio es necesariamente parcial, pues se basa exclusivamente en la nueva información hidrológica disponible. Ha de interpretarse, por tanto, que la actualización que se propone tiene un carácter provisional, y se halla sujeta a la nueva revisión del plan del Tajo, actualmente en tramitación.

Tras los análisis realizados, la modificación de parámetros que se considera más adecuada consiste en reducir el volumen de trasvase en nivel 2 de los 38 hm³/mes vigentes a 27 (reducción de 30 a 27 si se compara con la cifra propuesta en el estudio de 2013) y elevar el umbral de aportaciones acumuladas que define el nivel 1 de 1200 a 1400 hm³, manteniéndose el resto de los parámetros en su valor actual.

Con estas dos modificaciones, la probabilidad de las situaciones excepcionales se reduce a un 20%, la probabilidad de no disponer de recursos trasvasables se limita al 5% y el trasvase mínimo anual se sitúa por encima de 100 hm³/año. El trasvase medio anual resulta ser de 326 hm³/año, similar a la media de los volúmenes totales trasvasados para abastecimiento y regadío durante el periodo completo de funcionamiento del trasvase, y se consigue una mayor regularidad en los envíos.

El análisis de sensibilidad realizado permite confirmar la validez de los parámetros propuestos y la robustez de la nueva regla resultante.

En conclusión, la actualización parcial propuesta consigue el objetivo de reducir la probabilidad de presentación de situaciones hidrológicas excepcionales y permite alcanzar un compromiso razonable entre los volúmenes trasvasados y la estabilidad de los suministros.