

- Proyecto piloto de la cuenca del río Cuareim-Quaraí (Uruguay-Brasil)
- Proyectos pilotos del Acuífero Guaraní en Concordia-Salto (Argentina-Uruguay) y Livramento-Rivera (Brasil-Uruguay)

Otros ámbitos de coordinación y cooperación internacional

Uruguay participa en múltiples ámbitos de cooperación y coordinación internacional y regional relacionada a la temática de aguas, destacándose la Organización Meteorológica Mundial y el Programa Hidrológico Internacional (PHI) de Unesco, el Mercosur, el Comité Intergubernamental Coordinador (CIC) de los países de la Cuenca del Plata, el Centro Regional de Gestión de Aguas Subterráneas (CEREGAS), la Conferencia de Directores Iberoamericanos de Agua (CODIA), el Departamento de Desarrollo Sostenible (DDS) de la OEA, el Consejo Agropecuario del Sur (CAS) y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).

En estos ámbitos se asumen compromisos y se desarrollan proyectos que implican compartir experiencias y realizar actividades conjuntas, transferencia de tecnología y capacitación. Como ejemplo citamos el programa en curso WIGOS-SAS-CP (WMO Integrated Global Observation System-Sur de América del Sur-Cuenca del Plata), con el fin de mejorar e integrar las redes hidrometeorológicas de los países de la Cuenca del Plata, con su posible extensión a toda Sudamérica. Estas acciones se enmarcan en la implementación del Plan Estratégico y Plan Operativo de Sudamérica (Asociación Regional III) de la OMM para la mejora de los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos 2016-2019. Tanto en el ámbito regional como en otros organismos internacionales vinculados a los recursos hídricos, la participación del país y la implementación de los compromisos contraídos implica un esfuerzo de múltiples actores, constituyendo un desafío de alta complejidad.

8.10 Educación, investigación y comunicación

Los desafíos que presenta la gestión integrada de los recursos hídricos, que surgen a partir del diagnóstico presentado en las diversas áreas, revelan la necesidad de desarrollo de nuevas capacidades y conocimientos, así como un esfuerzo particular por la integración e intercambio desde las más diversas disciplinas.

El avance del conocimiento y los desarrollos tecnológicos disponibles en la actualidad ofrecen importantes posibilidades para mejorar significativamente la toma de decisiones en relación a la gestión integrada de los recursos hídricos. Sin embargo, aun cuando las instituciones vinculadas a la gestión del agua han avanzado paulatinamente en la incorporación de nuevos instrumentos, para que estos desarrollos resulten verdaderas herramientas para la gestión integrada es necesario ampliar la masa crítica.

Educación, cultura y comunicación

La gestión integrada de recursos hídricos, implica compromisos por parte de la ciudadanía y por lo tanto supone que la población cuente con formación, conocimientos e información necesarios para poder participar activamente, tanto en la planificación como en la gestión y el control.

La creciente generación de conocimiento y las transformaciones tecnológicas han impactado de manera relevante en la vida de las sociedades, atravesando desde las formas de producción hasta los procesos de comunicación. Estos cambios se ven reflejados en la conceptualización y consideración de los temas ambientales a nivel global y en consecuencia también en nuestro país. En relación al agua, a diferencia de otros países, tales como España o Israel, que desarrollaron su vinculación con el agua a partir de una cultura de la escasez, en Uruguay se desarrolló en una *cultura de la abundancia*. Hoy, esta cultura se



encuentra interpelada y emerge la necesidad de cultivar una *cultura de la variabilidad*, que exige construir un nuevo código compartido en relación al agua, considerando múltiples aspectos que se relacionan tanto con la cantidad como con calidad del recurso.

Desde el año 2005, el país cuenta con una Red Nacional de Educación Ambiental para el Desarrollo Humano Sustentable (RENEA), espacio interinstitucional de encuentro, programación y actuación coordinada de todas las instituciones que desarrollan actividades de educación ambiental, tanto en el marco de la educación formal como de la no formal.

La Ley General de Educación N° 18.437, de diciembre de 2008, en su artículo 40 prevé la incorporación de la Educación Ambiental como línea transversal y la Ley General de Protección del Ambiente N° 17.283 establece que "las entidades públicas fomentarán la formación de conciencia ambiental de la comunidad a través de actividades de educación, capacitación, información y difusión tendientes a la adopción de comportamientos consistentes con la protección del ambiente y el desarrollo sostenible."

A partir de 2011, la RENEA ha avanzado en la elaboración de un Plan Nacional de Educación Ambiental (PLANEA) que identifica una serie de problemas ambientales reconocibles en nuestro país entre los que se considera la contaminación de aguas y suelos, los eventos climáticos extremos y vinculados a ellos, problemas de desarticulación e inequidad social y desequilibrios territoriales. Prevé la construcción de programas por ámbitos educativos y la definición de estrategias regionales para la implementación local y contextualizada del plan, transversalizando los programas por ámbitos e identificando las realidades sociales, culturales, históricas, económicas y ambientales de cada región.

La RENEA y el PLANEA constituyen una valiosa plataforma para definir acciones y profundizar los aspectos específicos de la educación ambiental orientados al fortalecimiento de una cultura del agua, que ponga en valor el relacionamiento de la sociedad con el recurso, su cuidado y aprovechamiento. Es necesario desarrollar líneas de trabajo específicas, que permitan abordar la temática del agua tanto en los ámbitos educativos formales como no formales, favoreciendo las articulaciones institucionales e interdisciplinarias necesarias. Además es necesario avanzar en la formación docente, en el desarrollo de líneas de investigación orientadas a generar didácticas del agua y conocimiento específico en la temática que incluya aspectos culturales e identitarios, divulgación científica y comunicación.

Cabe señalar que la Universidad de la República cuenta con la cátedra UNESCO Agua y Cultura, desarrollada por un grupo interdisciplinario de investigadores, que se propone trabajar a partir de las variables culturales del comportamiento para reconocer toda la interacción humana con el agua. Además, cuenta con la Red Temática de Medio Ambiente (RETEMA), espacio de trabajo multidisciplinario sobre temas ambientales que reúne a investigadores y docentes para abordar la complejidad de la educación ambiental y el análisis de los conflictos ambientales, y desarrollar acciones pertinentes desde la extensión universitaria.

Tal como señala el PLANEA, el esfuerzo transformador educativo debe ir acompañado de cambios en las actuales prácticas y un aspecto importante a considerar es la vinculación entre educación y gestión ambiental. A pesar de las dificultades, aunque limitadas y poco difundidas, existen no pocas experiencias de acuerdos o alianzas intersectoriales entre ámbitos educativos y ejecutivos. Desde el sector gubernamental, tanto a nivel central (ministerial, entes públicos) como de intendencias departamentales, se desarrollan diversas actividades, programas e incluso secciones permanentes dedicadas a la educación ambiental ciudadana y comunitaria.

Por otra parte, no es posible ni suficiente depositar todas las responsabilidades en esta materia en los centros educativos ni en los niños y los jóvenes. El espacio educativo trasciende las fronteras de las aulas y los centros educativos. Además de la educación no formal y el trabajo específico en educación para adultos es necesario atender el espacio de la cultura incluyendo las artes y la comunicación, que deben ser objeto de líneas de trabajo y acción específicas.

El arte constituye un campo de singular interés para conocer y comprender la relación de los individuos y las sociedades con el agua, pero al mismo tiempo es un espacio para la interrogación, la crítica y la sensibilización que debe considerarse en el desarrollo de la gestión integrada.

Una mención particular requiere la comunicación y el desarrollo de estrategias orientadas no solo a garantizar información de calidad sino a promover una comunicación efectiva que asegure la participación ciudadana en la gestión integrada. Es preciso destinar esfuerzos en la formación de profesionales de la comunicación especializados en la temática, en la generación de contenidos de calidad y en un mejor aprovechamiento de las nuevas tecnologías para una participación ciudadana horizontal y democrática.

Formación y capacitación de técnicos y profesionales especializados

En ese sentido un primer aspecto a señalar está relacionado a la formación de profesionales y técnicos especializados. Los temas del agua trascienden profesiones y enfoques parciales y, en ese sentido, es importante señalar que el país cuenta con oportunidades de formación de grado y postgrado en una gran variedad de disciplinas y especialidades relevantes para la temática. No obstante, las exigencias actuales para el desarrollo del país en distintas áreas han determinado condiciones de pleno empleo en varias disciplinas, por lo tanto, se amplía la necesidad de formación de recursos humanos especializados tanto para avanzar en el desarrollo del conocimiento como para la gestión del agua.

Por otra parte, el desafío del avance permanente en aspectos tecnológicos y de las comunicaciones determina nuevos requisitos para las formas de gestionar, que demandan una actualización permanente de la formación continua. El país no cuenta en la actualidad con un plan de formación y capacitación capaz de detectar cuáles son las carencias en cuanto a la formación. Tampoco cuenta con un sistema capaz de identificar las áreas y técnicas que ofrecen novedades relevantes para la temática del agua, en las que sería necesario realizar inversiones en formación. Por otra parte, no se han definido prioridades ni existen estímulos que orienten a los profesionales a desarrollarse para cubrir necesidades específicas del país.

Un tercer aspecto está vinculado a la carencia de tecnólogos y técnicos no universitarios, trabajadores con formaciones básicas sólidas, capaces de incorporar valor al trabajo no especializado en campos diversos tales como la hidrometría, las perforaciones o la potabilización de agua. El inicio de las carreras de Tecnólogo en Ingeniería en Sistemas de Riego y en Drenaje y Manejo de Efluentes de UTEC y la de Tecnólogo Químico de la UdelaR con la UTU, son las primeras acciones orientadas a enfrentar esta dificultad. También en estos niveles de formación la situación actual de pleno empleo exige líneas específicas de becas y estímulos para despertar vocaciones en torno a los temas del agua.

En relación a la investigación es importante señalar que, aunque las instituciones desarrollan hoy estudios en los temas de agua y ambiente, ésta sigue siendo insuficiente para los requerimientos que impone la gestión integrada. Si bien se están desarrollando algunas líneas de trabajo en este sentido en varias instituciones (Facultad de Ciencias, Facultad de Agronomía, Facultad de Ingeniería, Centros Universitarios Regionales, INIA, LATU, entre otros) es imperioso sumar recursos y realizar los mayores esfuerzos para

estimular el desarrollo de una masa crítica de personas que estén pensando en cómo resolver los problemas del agua, y que cuenten con la inquietud y los estímulos para hacerlo.

Para avanzar en el conocimiento sobre el comportamiento de las aguas, tanto superficiales como subterráneas, y comprender la relación de éstas con el ambiente es necesario desarrollar nuevas líneas de investigación, brindar estímulos orientados a generar sinergias y consolidar equipos en áreas tales como la hidrología y la hidrogeología.

9. VARIABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO

9.1 Uruguay y el contexto global

El cambio climático es uno de los principales desafíos globales. El aumento de la temperatura media terrestre y del nivel del mar, el incremento de las sequías, las inundaciones, las olas de calor y otros eventos climáticos extremos, están generando impactos adversos en la producción de alimentos, el agua potable, las infraestructuras y los servicios, con consecuencias para los ecosistemas y los seres humanos, con resultados particularmente dramáticos para los sectores más vulnerables de la población mundial. En tal sentido es imprescindible desarrollar acciones de mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero y de adaptación a las nuevas condiciones climáticas, lo que implica un fuerte compromiso por parte de todos los países, tanto de sus sectores públicos como privados. Estos esfuerzos deberán reconocer que los diferentes países tienen responsabilidades comunes pero claramente diferenciadas en función de las respectivas contribuciones a este fenómeno global.

Uruguay sufre particularmente las consecuencias del cambio y la variabilidad climática: sequías, inundaciones, fenómenos costeros, olas de calor y otros fenómenos impactan sobre el sector agropecuario, el turismo, la generación de energía, la salud pública, la calidad del agua y sobre las condiciones de vida de muchos compatriotas. Al mismo tiempo, nuestro país presenta una muy particular contribución al desarrollo del cambio climático: si bien las emisiones totales representan apenas el 0,05 % del total mundial, las emisiones per cápita resultan muy bajas en el sector energético, pero particularmente elevadas en el sector agropecuario, a la inversa de lo que sucede en el mundo.

Desde el año 2010 Uruguay cuenta con el Plan Nacional de Respuesta al Cambio Climático (PNRCC), en el cual se plantea un marco estratégico que identifica las líneas de acción y medidas necesarias para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero y lograr la adaptación de la sociedad y sus principales sectores de desarrollo a los impactos derivados de la variabilidad y el cambio climático. El documento presenta orientaciones y directrices, elaboradas en forma interinstitucional y participativa, resultado del trabajo realizado entre técnicos, gobernantes nacionales y departamentales, representantes de los sectores productivos y de la sociedad civil. El PNRCC y sus anexos se encuentran disponibles en el sitio web del Sistema Nacional de Respuesta al Cambio Climático (SNRCC).¹⁰²

A partir del año 2016, Uruguay comienza a generar una Política Nacional de Cambio Climático (PNCC) que contemple a todos los sectores relacionados con la mitigación y las necesidades de adaptación al cambio climático, de manera de garantizar el cumplimiento por parte de nuestro país del Acuerdo de París¹⁰³ y, al mismo tiempo, que ayude a disminuir los riesgos y a potenciar las oportunidades que surgen de este nuevo esquema mundial. El proceso de construcción de esta política se puede consultar en <http://www.mvotma.gub.uy/politica-nacional-de-cambio-climatico>

A continuación, se presenta un estudio realizado por los ingenieros Rafael Terra y Walter Baethgen a solicitud de la DINAGUA que analiza los aspectos de variabilidad y cambio climático enfocado en los recursos hídricos.

¹⁰² Disponible en <http://www.cambioclimatico.gub.uy/images/stories/archivos/pnrclclim.pdf>

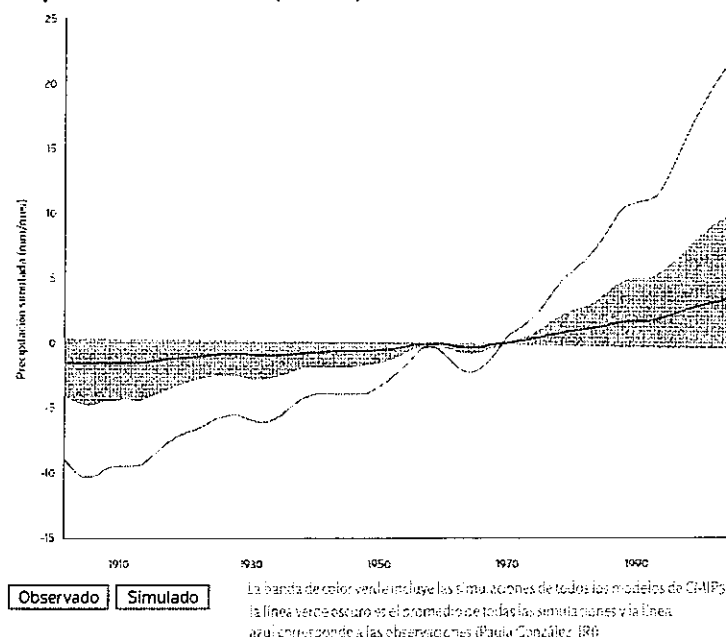
¹⁰³ 21ª Conferencia de la Partes (COP, por su sigla en inglés) de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) del año 2015 aprobó el Acuerdo de París en donde se definen derechos y obligaciones para los 195 países, de manera de lograr que el aumento de temperatura quede "muy por debajo de los 2 grados en relación al comienzo de la revolución industrial".

9.2 Variabilidad y el cambio climático

Aun considerando los escenarios más optimistas de acciones coordinadas a nivel global para reducir drásticamente las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), las investigaciones en clima confirman que en las próximas décadas el calentamiento global es inevitable. En consecuencia, e incluso bajo los escenarios más optimistas, es necesario desarrollar estrategias de adaptación para responder a los cambios en el clima que ya son inevitables. Los tomadores de decisiones que actúan en los sectores privado y público, incluyendo los responsables de diseñar políticas nacionales y regionales, enfrentan la continua presión de tener que responder a problemas que requieren acciones inmediatas. Esto hace que frecuentemente se asigne a los problemas de largo plazo (50 años o más) una prioridad relativamente menor. Por otro lado, la comunidad científica internacional que trabaja en el tema cambio climático y sus impactos esperados sobre las sociedades, se ha enfocado frecuentemente en la elaboración de escenarios climáticos que podrían ocurrir en un futuro bastante lejano (por ejemplo en los años 2080 o 2100). Este enfoque ha sido extremadamente efectivo para aumentar la toma de conciencia del público en general sobre los riesgos asociados a los cambios climáticos y han resultado en esfuerzos importantes para promover el uso de fuentes de energía más limpias, estimular prácticas de secuestro de carbono y otras acciones tendientes a disminuir las emisiones netas de GEI.

Al mismo tiempo, el enfoque en escenarios climáticos posibles para los próximos 70 o 100 años ha situado al cambio climático como un problema que va a afectar a la sociedad en un plazo de tiempo muy posterior al que compete a las agendas de los políticos y tomadores de decisiones en general. Más aún, los escenarios posibles de clima futuro que se pueden producir con los mejores modelos climáticos disponibles presentan considerables limitaciones. Es así que a pesar de los enormes avances científicos logrados en las últimas décadas que han permitido el mejoramiento permanente de los modelos, la ciencia del clima necesita aún avanzar mucho para poder, por ejemplo, simular adecuadamente escenarios de lluvia. Tal como se presenta en la figura 9.39 los mejores modelos disponibles en la actualidad (CMIP5 del IPCC) no consiguen simular bien la lluvia observada en el SE de América del Sur en el siglo XX. La banda coloreada incluye a todas las simulaciones de los modelos del IPCC (CMIP5) y la línea negra corresponde a los datos observados. Ninguno de los modelos fue capaz de simular bien lo que sucedió con las precipitaciones en los últimos 100 años.

Figura 9.47. Precipitación observada en el SE de América del Sur en el siglo XX y simulaciones de los modelos disponibles en el IPCC (CMIP5)



Además de las limitaciones intrínsecas a los modelos, la generación de escenarios climáticos posibles para el futuro requiere imaginar escenarios socioeconómicos que permitan definir niveles de emisión de GEI. Es decir, se requiere definir tasas de deforestación, uso de combustibles fósiles, población mundial, etc. para los próximos 100 años. Dadas las dificultades para definir este tipo de escenarios, la comunidad científica propone un rango bastante amplio de escenarios posibles (algunos más optimistas y otros más pesimistas), cada uno con su nivel de emisiones de GEI, y alimenta los modelos climáticos con esos niveles de emisiones. De esta manera se obtienen rangos de temperaturas y precipitación posibles para las próximas décadas que necesariamente incluyen un rango de incertidumbre muy grande que causa desafíos aún mayores para ser considerados de manera práctica en las actividades de planificación y toma de decisiones.

Los escenarios futuros posibles de lluvias contienen incertidumbres mucho mayores que los de temperaturas, y las incertidumbres se vuelven todavía mayores para los escenarios de clima a nivel regional (por ejemplo, para la región del Mercosur o para Uruguay) cuando se comparan con los escenarios a nivel global. Por estas razones, se trata el tema adaptación al cambio climático con un enfoque que no se basa en la generación de escenarios climáticos creados con modelos climáticos. Se utiliza un enfoque complementario que genera información "accionable", es decir, que permite incorporar efectivamente el conocimiento a la toma de decisiones y planificación reales. Este enfoque comienza por reconocer que el sistema climático de la Tierra incluye factores y procesos que causan variaciones en el clima en diferentes escalas de tiempo y de espacio.

Algunos procesos son locales y actúan en el plazo corto o inmediato (unos pocos días). Otros procesos se ven afectados por la interacción entre la atmósfera, los océanos y la superficie de la tierra y resultan en variaciones del clima a escalas de meses (el caso más conocido de este tipo es el fenómeno de El Niño que afecta las lluvias de varias regiones del mundo entre ellas Uruguay). Existen también fenómenos que dependen de factores naturales y antropogénicos (causados por la acción del hombre) que afectan la composición química de la atmósfera y causan variaciones del clima a escalas de décadas o de siglos. Este último tipo de fenómenos incluye la variabilidad climática de muy largo plazo (varias décadas a siglos) que comúnmente se conoce como cambio climático.

Todos estos procesos actúan en simultáneo y resultan en la variabilidad climática total de nuestro planeta. La magnitud de la variabilidad climática a estas diferentes escalas de tiempo es diferente y varía en las diferentes regiones del mundo. En algunos casos las variaciones de largo plazo (cambio climático) son claras, y en algunas regiones existen décadas en las que por ejemplo la lluvia estuvo por encima del promedio, y otras décadas en las que la lluvia fue inferior a lo normal ("variabilidad decenal"). Pero en todo el mundo, las variaciones observadas año a año (es decir la variación interanual) son las de magnitudes más grandes (típicamente 60 % o más del total de la variación medida en los últimos 100 años). Esta variabilidad interanual es la que hace que existan años con lluvias sensiblemente menores a lo normal o con heladas tempranas/tardías, temperaturas más altas que lo esperado, etc., que a su vez resultan en impactos importantes sobre la economía. Éstos son especialmente grandes cuando se presentan eventos climáticos extremos tales como sequías o inundaciones. Las investigaciones en cambio climático incluidas en los informes del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) indican que en el futuro puede esperarse que la variabilidad interanual aumente y que existan eventos climáticos extremos más frecuentes y más severos. Por estas razones, una buena forma de contribuir a mejorar la adaptación a los cambios climáticos futuros consiste en mejorar la capacidad de adaptación de los sectores socioeconómicos a la variabilidad climática actual, disminuyendo así su vulnerabilidad.

En el caso particular de la incorporación de información sobre variabilidad y cambio climático para contribuir a mejorar la gestión de recursos hídricos en Uruguay, a todos estos desafíos mencionados debemos agregar el hecho de que los cambios observados y esperados en el clima coexisten con cambios en muchos otros factores. Entre otros, los cambios en el uso de los suelos con sus impactos sobre la infiltración y escurrimiento, el aumento de la demanda de agua debido al incremento de áreas con riego, etc. Es decir es necesario utilizar un enfoque integrado y multidimensional para mejorar la gestión de un recurso cada vez más presionado cuyo acceso se considera un derecho humano pero que a la vez tiene connotaciones económicas importantes. Proponemos utilizar un enfoque de "gestión de riesgos climáticos" que considera a la variabilidad y el cambio climático como una de las muchas dimensiones a ser consideradas para establecer un adecuado plan de uso y gestión del agua. El enfoque se basa en cuatro pilares fundamentales:

- I. Identificar vulnerabilidades y oportunidades relacionadas con la variabilidad y el cambio climático. Establecer una línea de base en cada cuenca hidrográfica que caracterice el uso actual de los recursos agua y suelo, que establezca un balance hídrico a escala detallada (por ejemplo en base a escala CONEAT de suelos).
- II. Cuantificar y reducir incertidumbres mejorando el "conocimiento hidro-climático" en las cuencas hidrográficas
Ese "conocimiento hidro-climático" mejorado se basa en:
 - (a) entender el pasado, es decir estudiar las características de la variabilidad climática y los factores que la causan, cuantificar los impactos de la variabilidad sobre la disponibilidad de agua en las cuencas, identificar las medidas de manejo que reducen los impactos negativos y optimizan los positivos, etc.
 - (b) monitorear las condiciones de factores ambientales relevantes del presente (clima, vegetación, agua en cursos, embalses y en el suelo, etc.)
 - (c) suministrar la información mejor posible y relevante sobre el futuro: de días, estaciones, décadas, dependiendo de la relevancia para las diferentes actividades y decisionesEl conocimiento climático también incluye la identificación de métodos y el desarrollo de herramientas para optimizar el uso de la información climática.
- III. Identificar intervenciones tecnológicas y de infraestructura que reducen la vulnerabilidad a la variabilidad climática.
Por ejemplo, mediante el aumento de la capacidad de almacenamiento de agua superficial y de conservación de agua en el suelo, promoviendo la mejora en la eficiencia de uso del agua, incentivando la racionalización de su uso mediante -por ejemplo- diversificación de cultivos e introduciendo obras de infraestructura para riego donde es factible, etc. Este análisis considera el impacto de estas intervenciones para las condiciones climáticas actuales y para un rango de condiciones climáticas posibles para el futuro cercano (10-30 años). El análisis enfatizará especialmente el impacto de la variabilidad de un año a otro, la frecuencia e intensidad de eventos extremos, etc. Esto, en oposición al enfoque tradicional de uso de escenarios climáticos inciertos, focalizados únicamente en un futuro lejano (año 2080 o 2100), basado exclusivamente en modelos climáticos tipo IPCC, que tal como se ha discutido antes en esta propuesta ha fracasado en introducir efectivamente el tema adaptación al cambio climático en planes de desarrollo.
- IV. Identificar intervenciones de políticas y arreglos institucionales que permiten reducir la exposición a las vulnerabilidades relacionadas con el clima y aprovechar las oportunidades en condiciones

favorables.

Por ejemplo, es necesario explorar modalidades de permisos de agua flexibles, con mayor poder de adaptación a una realidad cambiante (climática y de presión sobre el recurso). Para ello será necesario tener arreglos institucionales y legales adecuados para instrumentar una flexibilidad y un monitoreo que suministre la información objetiva necesaria.

Tales intervenciones lograrán una reducción de la exposición, por ejemplo, con sistemas de alerta y respuesta temprana a las crisis. Las actividades en este pilar también identificarán necesidades de fortalecimiento institucional, de posibles nuevos arreglos institucionales, capacitación, etc. de la DINAGUA y demás instituciones directamente relacionados con la gestión de recursos hídricos en Uruguay. En resumen, el enfoque de gestión de riesgos climáticos propuesto se basa en la premisa de que la planificación y las decisiones en las diferentes cuencas pueden ser mejoradas al ajustarse con información sobre la chance de confrontar años (o décadas) favorables o desfavorables.

Las decisiones estarán mejor informadas cuando esos escenarios climáticos probables se complementen con un buen entendimiento de la variabilidad climática de la cuenca (estacional a decenal), con un buen monitoreo de la situación actual y con disposiciones legales flexibles y arreglos institucionales capaces de adaptarse continuamente. El conocimiento sobre las tecnologías e infraestructura que reducen pérdidas y aprovechan oportunidades también contribuye a mejorar las decisiones y la planificación. Sin embargo, e incluso cuando se accede a la mejor información climática (del pasado, del presente y del futuro) y cuando se utilizan las mejores tecnologías, van a existir años de déficit hídrico inesperados que será necesario gestionar. Por esta razón, se necesitan instituciones fortalecidas y con personal bien capacitado, buenos sistemas de alerta/respuesta temprana y políticas que permitan transferir riesgos.

Una ventaja del enfoque de gestión de riesgos climáticos es su pertinencia para mejorar la adaptación de los diferentes sectores socioeconómicos a la variabilidad climática actual y también a los cambios climáticos de largo plazo. Este enfoque asiste a los usuarios a confrontar posibles escenarios climáticos del futuro pero al mismo tiempo identifica acciones inmediatas para enfrentar la variabilidad climática que en la actualidad afecta a las cuencas. Más aún, los impactos de éstas acciones e intervenciones son visibles y verificables en el corto plazo haciendo que este enfoque sea todavía más atractivo para los tomadores de decisiones.

9.3 Escenarios asociados a los recursos hídricos y su gestión

La elaboración de escenarios es una práctica usual que se ha incorporado como parte del diseño de estrategias de adaptación. Parece natural que el conocimiento que vamos a generar sea de provecho, o incluso necesario, para la adaptación. Seguiremos esta práctica sumamente atentos de no traicionar el marco conceptual planteado anteriormente, para lo cual se ha de tener fuertemente presente que:

- El fundamento primero de las estrategias de adaptación se basará en la detección de déficits de adaptación actuales, a partir de los cuales se harán recomendaciones accionables de medidas que se pueden tomar hoy.
- El objetivo de los escenarios, que en todos los casos presentan gran incertidumbre, no es hacer ajustes cuantitativos (paradigma predictivo) sino mantener una visión amplia de las posibilidades de lo que puede llegar a pasar. No conducen directamente a medidas accionables, aunque sí deben movilizar a reducir el déficit de adaptación y ganar flexibilidad en el sistema que se gestiona.

- Los escenarios en que se desarrolla la actividad de una institución son además multidimensionales, abarcando aspectos políticos, sociales, económicos y tecnológicos que presentan gran incertidumbre, que incluso puede ser mayor que la asociada a la variabilidad y el cambio climático.

En esta sección se presentan escenarios hidro-climáticos, pero en las demás secciones se tienen en cuenta otros aspectos que van más allá de lo estrictamente climático. Este estudio se concentra en lo climático, con alguna consideración sobre el almacenamiento del agua de lluvia en el suelo, por lo que aborda solamente la parte inicial del ciclo hidrológico, fundamentalmente la precipitación. Si bien la variabilidad y el cambio en el régimen de precipitación afecta la gestión de los recursos hídricos, la influencia no es lineal por lo que la influencia del clima en la gestión se considera en los modelos de gestión.

Previo a la elaboración de escenarios hidro-climáticos corresponde siempre caracterizar la variabilidad climática observada en el pasado en todas sus escalas temporales. Dicha caracterización constituye el punto de partida y el marco de comparación de cualquier escenario. Como se ha expresado, nuestros sistemas suelen ser vulnerables aun en la situación actual. La selección de los estadísticos hidro-climáticos más relevantes depende fuertemente del sistema de interés, muy en particular de la escala temporal dominante: desde la escala de tormentas -de interés para la gestión de eventos extremos y sus consecuencias como las inundaciones- a escalas multianuales que pueden afectar los niveles de recarga de un acuífero, pasando por escalas interestacionales e interanuales, que son las más importantes en la gestión del agua superficial. A su vez, el clima suele presentar variabilidad en todas estas escalas temporales.

Una limitante es, por supuesto, la disponibilidad de datos con la calidad, cobertura espacial, frecuencia y longitud necesaria para caracterizar algún aspecto del clima que se desee, sobre todo si se trata de eventos extremos y por tanto esporádicos. En base a esta limitante, se trabajó exclusivamente con datos diarios de precipitación que se encontraban disponibles para este trabajo.

Se seleccionaron estadísticos que se consideraron de particular interés en el contexto de la disponibilidad hídrica y sobre los cuales no hay estudios precedentes, teniendo presente que el cálculo de escurrimientos se desarrolla en el balance hídrico, por lo que los estadísticos seleccionados necesariamente refieren a la precipitación y, eventualmente, a su interacción con el suelo.

9.3.1 Datos meteorológicos

Para este trabajo se dispuso de registros pluviométricos diarios en 198 estaciones de la Dirección Nacional de Meteorología y del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. El período de registro es variable según la estación, pero en general está comprendido entre los años 1971 y 2011.

Se seleccionaron registros de estaciones con datos diarios para viabilizar el análisis de eventos extremos a escala de días (rachas secas o excesos hídricos asociados a varios días de lluvia) que, además de ser de interés para la gestión del agua, han sido menos estudiados. El dato diario elimina, sin embargo, la posibilidad de análisis de eventos más cortos -de algunas horas- que son relevantes para algunos aspectos de gestión en cuencas chicas con bajo tiempo de concentración. Sin embargo está fuera del alcance de este trabajo atender datos pluviográficos que, por otra parte, están siendo digitalizados, procesados y analizados por el Instituto de Mecánica de Fluidos e Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República. Para evaluar la calidad de los datos disponibles, para cada estación, se identificaron los datos faltantes, se detectó la presencia de datos anómalos, se calcularon los acumulados anuales y la precipitación media anual. Además, en algunos casos, se aplicó el método de Doble Masa para evaluar la consistencia entre estaciones cercanas.

Como resultado de la exploración de calidad de datos, se seleccionaron 50 pluviómetros y se definió 1981-2009 como el período de estudio, por presentar la mayor cantidad de datos simultáneos. Debido a la demora en la disponibilidad de algunos datos, se procesaron resultados parciales con una fracción de las estaciones.

Se verificó luego que los resultados no difieren esencialmente de los que se presentan a continuación con el set completo de datos, lo cual demuestra su robustez a los detalles de la selección de estaciones. En la Figura 9.48 se expone la distribución espacial de las estaciones pluviométricas seleccionadas y en la tabla 9.13 se presentan sus coordenadas geográficas y la precipitación media anual registrada en el periodo de estudio.

Figura 9.48. Estaciones pluviométricas e isólinas de ETP media mensual | Fuente: Manual de Diseño y Construcción de Pequeñas Presas, MVOTMA, 2011

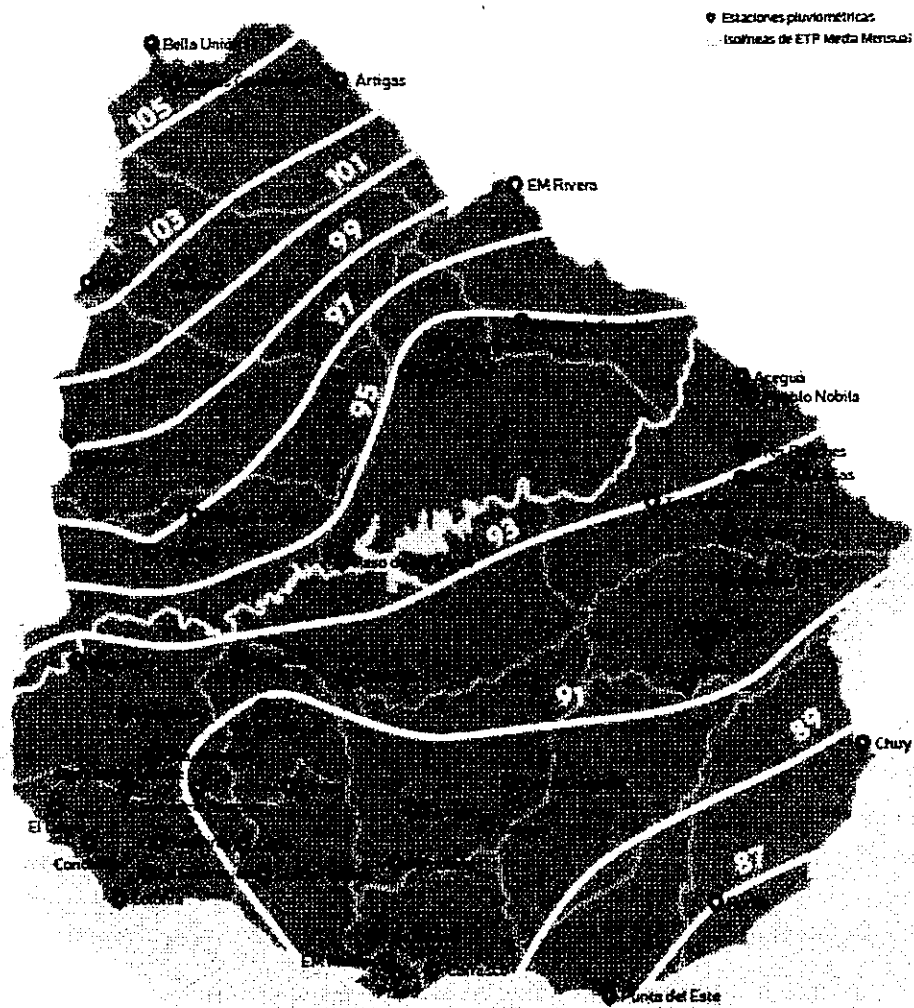


Tabla 9.47 .Ubicación de las estaciones pluviométricas seleccionadas y precipitación

Localidad	Código	Latitud	Longitud	Precipitación media (mm/año)
Bella Unión	1.013	-30,20	-57,58	1.463
Tomas Gomensoro	1.040	-30,40	-57,47	1.494
Artigas	1.050	-30,39	-56,51	1.517
Valentín	1.232	-31,30	-57,37	1.314
Salto	1.283	-31,38	-57,97	1.338
Tacuarembó	1.405	-31,73	-55,98	1.478
Valle Edén	1.440	-31,85	-56,15	1.311
Paysandú	1.672	-32,17	-58,08	1.231
Melo	1.709	-32,37	-54,19	1.392
Paso de la Cruz	1.766	-32,59	-57,37	1.211
Young	1.856	-32,71	-57,62	1.279
Paso de Toros	1.914	-32,81	-56,52	1.312
Dronilo	1.983	-32,88	-54,27	1.277
Mercedes	2.145	-33,25	-58,07	1.180
Maríncho	2.154	-33,25	-57,13	1.149
Trenta y Tres	2.179	-33,27	-54,39	1.419
Durazno	2.206	-33,35	-56,50	1.247
J.P. Varela	2.272	-33,42	-54,50	1.551
Trinidad	2.297	-33,50	-57,00	1.260
Palmitas	2.289	-33,52	-57,80	1.223
Chuy	2.422	-33,70	-53,45	1.172
Pintos	2.486	-33,90	-56,83	1.170
Cerro Colorado	2.498	-33,88	-55,53	1.272
Florida	2.583	-34,05	-56,11	1.213
Colonia	2.774	-34,45	-57,84	1.152
Rocha	2.804	-34,49	-54,31	1.262
Prado	2.887	-34,87	-56,20	1.152
Cartasco	2.889	-34,83	-56,01	1.160
Punta del Este		-34,97	-54,95	1.143
La Estanzuela		-34,34	-57,69	1.148
Las Brujas		-34,67	-56,34	1.137
Acagua	1.496	-31,88	-54,20	1.417
Pueblo Nobilia	1.537	-31,98	-54,15	1.377
Tres Boliches	1.665	-32,27	-54,18	1.245
Canas	1.712	-32,35	-53,83	1.477
Tres Islas	1.792	-32,52	-54,70	1.235
Arbolito	1.841	-32,66	-54,24	1.493
Ombúes de Lavalle	2.476	-33,90	-57,82	1.201
Florencio Sanchez	2.480	-33,90	-57,38	1.321
El Cerro	2.520	-33,98	-58,23	1.092

9.3.2 Caracterización de estadísticos hidroclimáticos relevantes en el clima presente

La selección de estadísticos tiene siempre asociada cierto grado de arbitrariedad. En este caso, se han definido de manera que permitan caracterizar eventos de larga y corta duración, y de déficit y exceso hídrico, totalizando cuatro estadísticos.

Para eventos de corta duración de exceso y déficit hídrico se calcularon:

- A. Eventos lluviosos: se configura un evento si el acumulado de tres días es mayor o igual a 100 mm. Cuanto mayor el período de acumulación, más se disimula la distorsión asociada a la frecuencia fija de

muestreo diario. Por otro lado, los tiempos característicos de tormentas y de concentración de nuestras cuencas no justifican períodos mayores.

B. Rachas secas: se define una racha seca como el conjunto de días consecutivos en que el acumulado no supera 10 mm

Se definen otros dos estadísticos para caracterizar los eventos prolongados de déficit hídrico, el segundo de los cuales hace intervenir la evapotranspiración potencial (ETP) climatológica de cada estación¹⁰⁴ (no se cuenta con series de tiempo) y la capacidad de almacenamiento de agua de forma de aproximarse a una medida de déficit hídrico en el suelo.

Tabla 9.48 . Coeficientes de variación mensual de la ETP

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1.88	1.56	1.37	0.98	0.98	0.36	0.37	0.47	0.61	0.94	1.25	1.72

Déficit anual acumulado de precipitación

El déficit acumulado de precipitación para un día dado consiste en la diferencia entre el acumulado de lluvia desde el 1º de agosto del mismo año (a la salida del invierno) a dicho día y el acumulado climatológico en igual período para la misma estación. La máxima diferencia positiva en el correr de los 12 meses (de agosto a julio) corresponderá al máximo déficit acumulado de precipitación para esa estación y ese año. Para cada estación se tiene entonces una serie con un valor por año.

Déficit de precipitación por debajo de la ETP

Para cada estación y para un rango amplio de capacidad de almacenamiento de agua en el suelo¹⁰⁵ (que cubre todos los suelos encontrados en Uruguay) se simula un balance simple de agua en el suelo. La entrada está dada por la precipitación y la salida por la ETP de la estación. No se permite que el déficit supere la capacidad de almacenamiento del suelo y los excesos escurren. Se registra, para cada estación y para cada suelo, el porcentaje de tiempo en que el déficit es máximo, es decir igual a la capacidad de almacenamiento de agua del suelo. A partir del valor de los estadísticos determinados en cada punto, se construyeron mapas para todo el Uruguay mediante el método de interpolación Kriging Ordinario (implementado en un Sistema de Información Geográfica, SIG). Este método se basa en cálculos de autocorrelación entre los valores de todos los puntos de la muestra y considera además la proximidad entre los mismos, entendiéndose por tanto aplicable a parámetros tales como la precipitación y temperatura en una región de escasa variación en el relieve como la nuestra.

En lo que respecta a las rachas secas, se mapeó el período de retorno de rachas con una longitud mayor a 30 y 40 días. Por período de retorno se entiende el valor esperado del tiempo de recurrencia del fenómeno, es decir, cada cuánto se repite en media la racha seca. Se exploró, además, la ocurrencia de rachas en el período cálido que se definieron como aquellas cuya fecha de terminación se ubica entre los meses de noviembre y abril. En este caso se muestra solo la probabilidad de que en un año dado ocurran rachas

¹⁰⁴ Ciclo diario de ETP a partir del mapa de isolíneas de ETP media mensual y los coeficientes de distribución del ciclo medio anual, obtenidos del Manual de Diseño y Construcción de Pequeñas Presas, MVOTMA-DINAGUA, IMFIA 2011.

¹⁰⁵ Representada a través del Agua Potencialmente Disponible Neta (APDN).

mayores a 30 días; las rachas mayores a 40 días condicionadas a esta estación presentan frecuencias muy bajas que producen estadísticos poco robustos. Ver Figura 9.49 y Figura 9.50.

Figura 9.49. Mapa de rachas secas (días consecutivos en que el acumulado de precipitación no supera 10 mm)

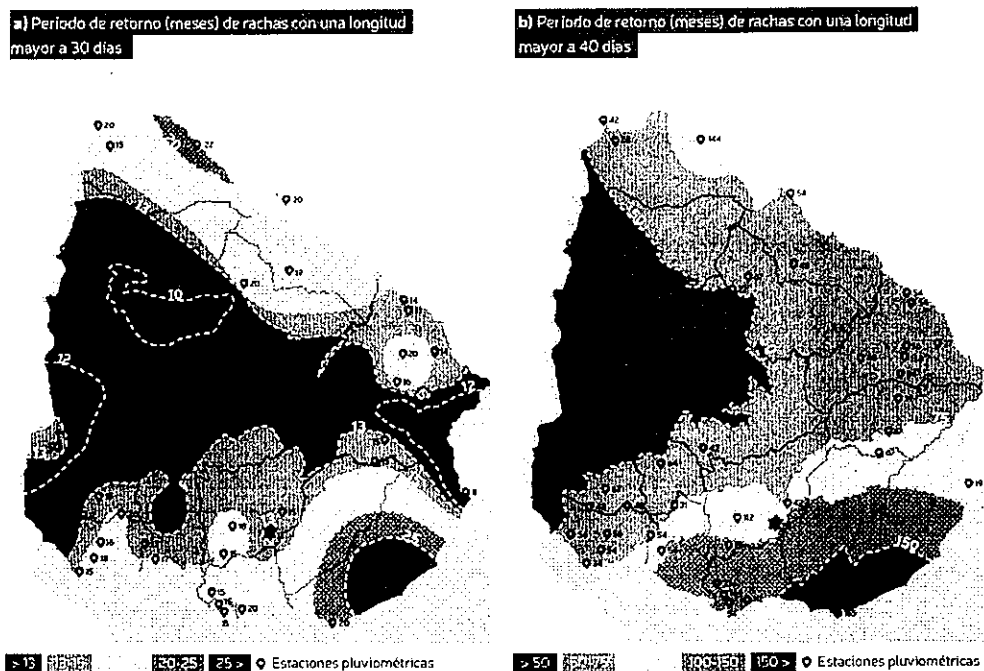
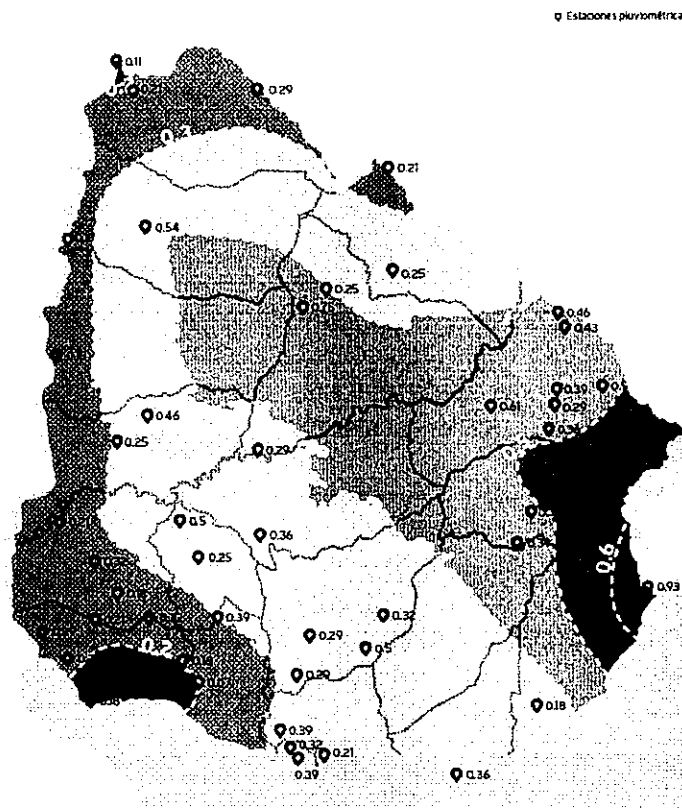
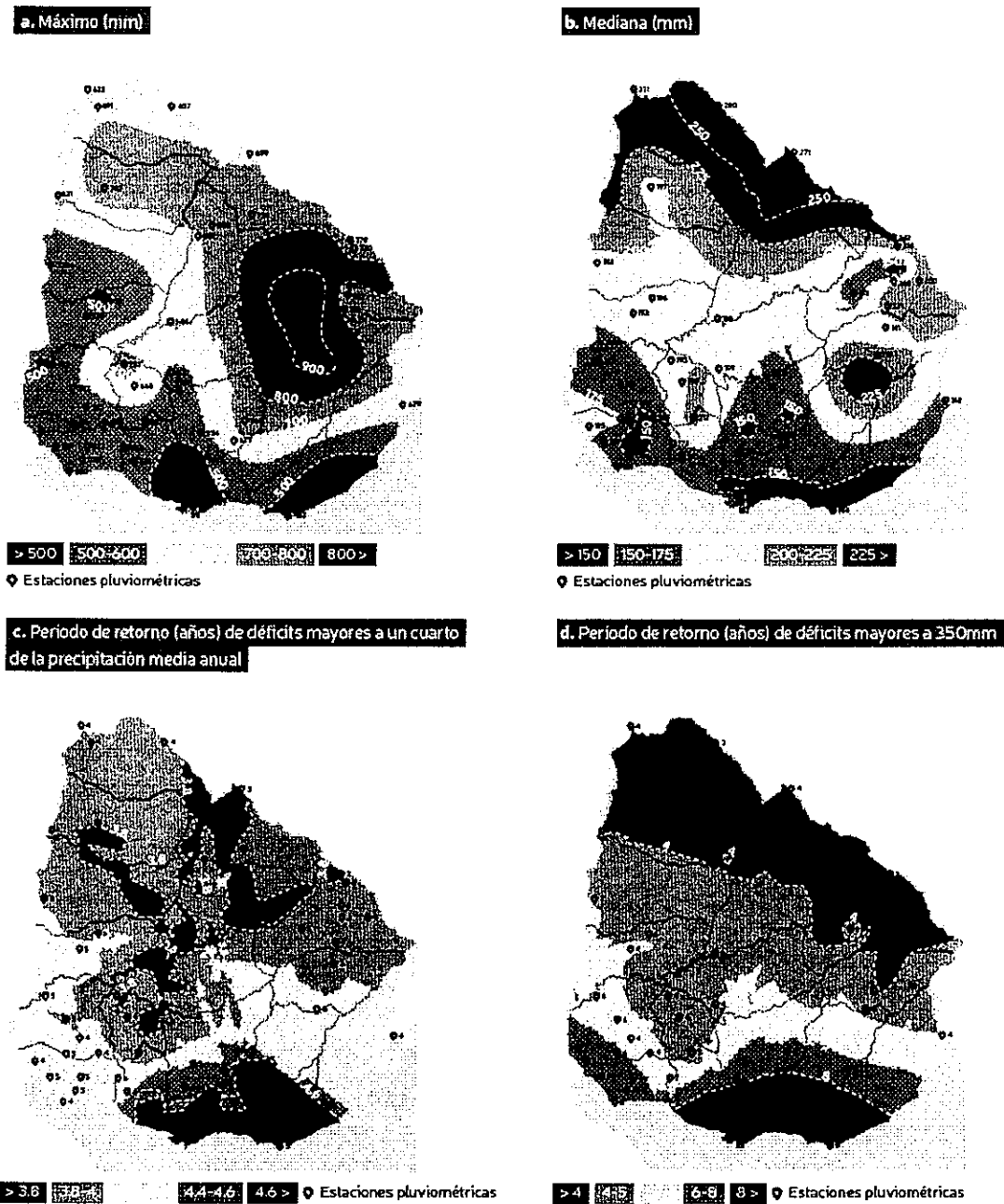


Figura 9.50. Probabilidad de ocurrencia en las series observadas de rachas secas mayores a 30 días cuya fecha de finalización se ubica entre los meses de noviembre y abril



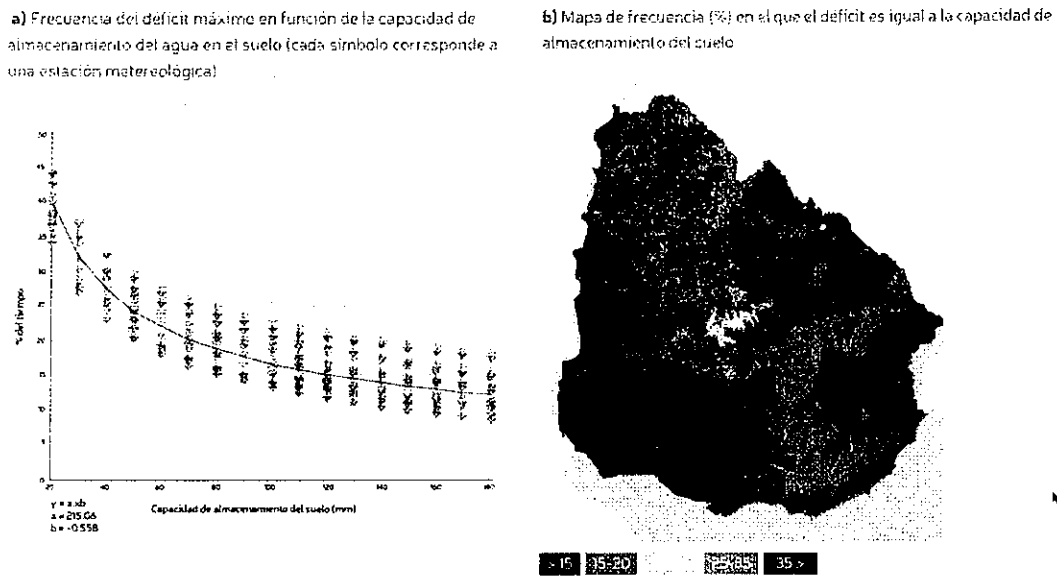
Para el déficit acumulado anual de precipitación, se mapeó el máximo déficit acumulado anual -máximo maxíorum- encontrado en todo el período de estudio y la mediana del máximo déficit acumulado anual, el período de retorno en años de déficits mayores a un cuarto de la precipitación media anual de cada estación y el período de retorno en años de déficits mayores a 350 mm (figura 9.52). Todos los paneles de la figura mencionada describen, con diversos indicadores, el déficit de precipitación -respecto de la media climatológica- acumulado desde la salida del invierno de cada año. El panel a muestra el máximo histórico, mientras que el b la mediana histórica del cual se puede interpretar, por ejemplo, que en el norte del país en la mitad de los años se verifican déficits acumulados mayores a 250 mm. Los paneles c y d refieren a la recurrencia media (en años) de déficits por encima de umbrales, fijo en el caso de d (350 mm) y relativo a la precipitación media local (un cuarto del valor) en el caso de c.

Figura 9.51. Mapa del máximo déficit acumulado anual



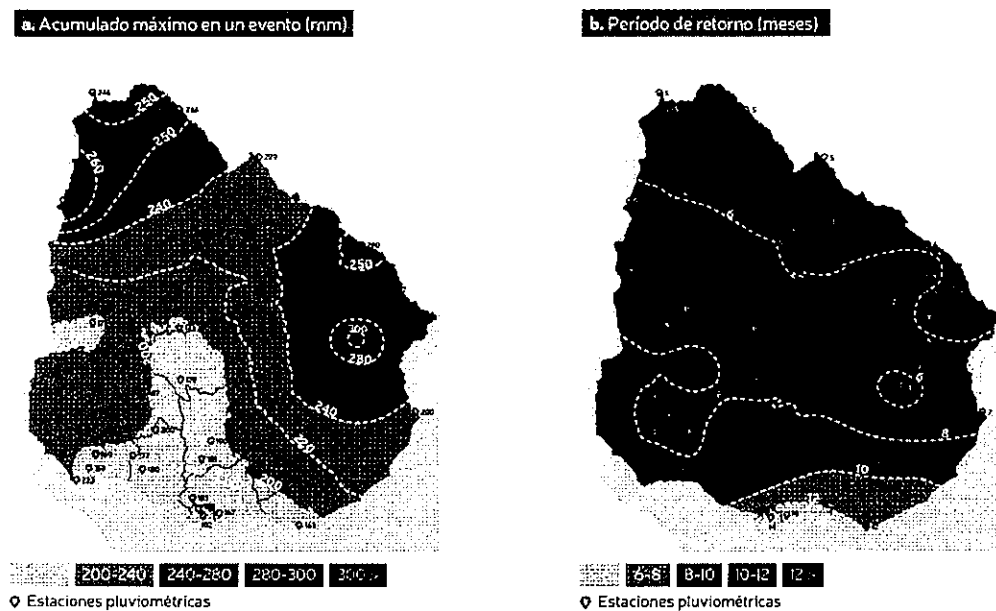
Finalmente, en lo que refiere al déficit de precipitación por debajo de la ETP, se graficó para cada estación y para cada suelo, el porcentaje de tiempo en que el déficit es máximo. En la Figura 9.52 (a) se presenta la nube de puntos para las 50 estaciones y su línea de tendencia del tipo potencial ($y = a \cdot x^b$). Luego, se aplicó la función al mapa de APDN de los suelos de Uruguay y se obtuvo el mapa de frecuencia en que el déficit hídrico es igual a la capacidad de almacenamiento del suelo (Figura 9.52 (b)). Se obtiene así una aproximación, con la metodología simplificada que se describió anteriormente, del tiempo medio (en %) en que el suelo sufre estrés hídrico.

Figura 9.52. Déficit de precipitación por debajo de la ETP



Por último, para los eventos lluviosos, se construyeron mapas de la precipitación máxima acumulada en un evento y del período de retorno en meses entre eventos. Por tanto, el panel a indica el máximo histórico acumulado en 3 días (en mm) y el panel b el tiempo medio de recurrencia (en meses) de eventos de 100 mm acumulados en 3 días. Ver Figura 9.53.

Figura 9.53. Mapa de eventos lluviosos (precipitación acumulada en 3 días consecutivos mayor a 100 mm)



9.3.3 Escenarios hidro-climáticos seleccionados

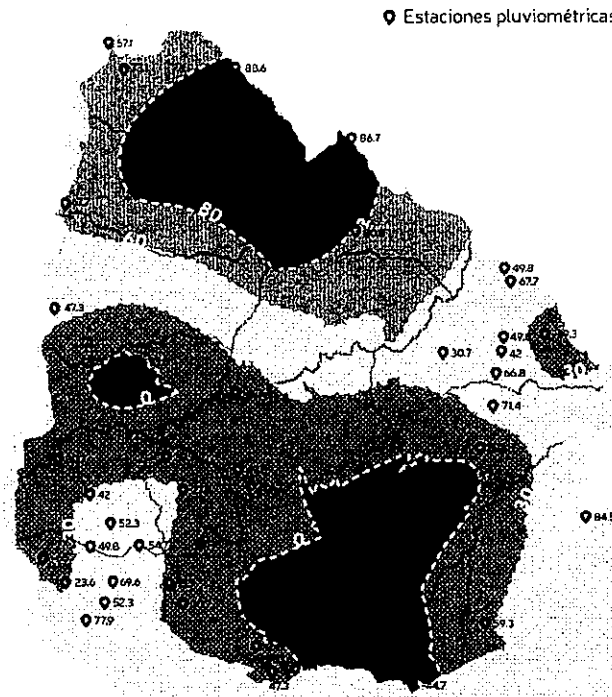
Como se dijo anteriormente, los escenarios cumplen la función de alertar sobre futuros posibles. En su elaboración se debe tener en cuenta, además de las tendencias de largo plazo esperadas, la amplitud de las variaciones de escala decadal que se han observado en el registro histórico como fundamento para hacer análisis de sensibilidad que operen como escenarios. En muchos casos, las tendencias no son significativas o su proyección al futuro presenta gran incertidumbre. Primeramente, se enumeran y refieren tendencias observadas en el registro histórico y se elabora un resultado adicional respecto del déficit acumulado de precipitación. Luego, se analiza la sensibilidad del déficit hídrico a variaciones en la ETP y se presenta el impacto dependiendo de la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo. Finalmente, se entrena un generador de tiempo en las series observadas para cada estación pluviométrica y se evalúa el desempeño en la caracterización de los estadísticos presentados anteriormente. En aquellos estadísticos que son bien capturados por el modelo se realiza un análisis de sensibilidad a los parámetros del mismo. En todos los casos en que se realizan análisis de sensibilidad, la amplitud del rango elegido de variaciones está inspirada en la amplitud histórica observada en la tendencia (en el caso de ETP) y en las variaciones multianuales (en el caso de los parámetros del modelo), coherente con la filosofía de elaboración de escenarios anteriormente mencionada.

9.3.4 Tendencias observadas

Los grandes rasgos de las tendencias hidro-climáticas observadas en nuestra región y que se asocian al calentamiento global han sido descriptos -para magnitudes medias- en diversos antecedentes, por ejemplo en el Plan Nacional de Respuesta al Cambio Climático (PNRCC) (MVOTMA 2010). Dentro de los aspectos relevantes para los recursos hídricos, se puede señalar un aumento de las precipitaciones medias en el período cálido pero con una gran variabilidad interanual y un aumento de las temperaturas mínimas y medias, que no se manifiesta en las máximas. También se verifica un leve aumento de la intensidad de lluvias intensas de corta duración (pocas horas), tendencia que no se extrapola a lluvias en períodos más largos como por ejemplo un día. Por último, en MGAP-FAO (2013) se mostró, a partir de sólo 5 registros en casi 40 años, que la evapotranspiración (medida en Tanque A o calculada a través de la relación de Penman) muestra tendencias crecientes en el noreste y decrecientes en el suroeste, en algunos casos significativas. La poca disponibilidad de registros no permite obtener conclusiones firmes.

En MGAP-FAO (2013) también se analizó la misma definición de déficit anual acumulado de precipitación y se estableció, para un número mucho menor de estaciones y para otro período de estudio (1950-2008), que el mismo no presenta tendencias significativas generalizadas en ningún sentido y que en muchos casos esta tendencia (no significativa) es a déficit decreciente, coherente con el aumento de precipitación. Comenzamos por revisar este resultado con el período de análisis de 1981-2009 y las cincuenta estaciones utilizadas. La Figura 9.54 presenta la significancia estadística de la tendencia según Mann-Kendall, números positivos indican tendencia positiva (mayores déficits) y viceversa. Sólo son de interés los números mayores a 95 % en valor absoluto. Los valores menores no son significativos y muestran un comportamiento errático, que no logra ser capturado apropiadamente por el interpolador (presentando valores de los dos signos). La única región de comportamiento coherente y significativo o marginalmente significativo es el norte del país que muestra una tendencia a déficit creciente. Cabe notar que en MGAP-FAO (2013), Tacuarembó era la única estación de las analizadas que mostraba una tendencia positiva marginalmente significativa (al 94 %) para el período 1950-2008, resultado coherente (aunque los períodos no coinciden) con el obtenido ahora.

Figura 9.54. Significancia estadística según test de Mann-Kendall de tendencia en el déficit acumulado anual de precipitación. Valores positivos indican tendencias a mayor déficit y viceversa.



9.3.5 Sensibilidad de déficit hídrico a variaciones de la ETP

Como se indicó anteriormente, MGAP-FAO (2013) encontró tendencias positivas de ETP en las estaciones del noreste (Treinta y Tres y Tacuarembó) durante el período cálido, cuando ocurre la mayor demanda atmosférica. La tendencia contraria se verifica en el suroeste (Las Brujas y Estanzuela), mostrando Salto un resultado intermedio.

La amplitud de la variación por tendencia encontrada para los últimos 40 años es aproximadamente del 10 %, por lo que se tomó esta amplitud en la ETP para el análisis de sensibilidad. Como la ETP depende muy fuertemente de la temperatura media (a través de la ecuación de Clausius - Clapeyron) y es de esperar que la misma aumente. A futuro se presentan tres escenarios asimétricamente distribuidos: ETP-10 %, ETP+10 % y ETP+20 %.

De manera de sintetizar los resultados se saca provecho de la propiedad presentada en la figura 9.47, que muestra que la forma de la función que relaciona el tiempo de stress hídrico con la capacidad de acumulación de agua del suelo (de la cual depende la sensibilidad) es muy similar para todas las estaciones pluviométricas. Se trabaja entonces con la curva promedio que está ya indicada en la Figura 9.52-a. Se repiten todos los cálculos con los diferentes escenarios de ETP y se construye, con idéntico procedimiento y para cada caso, la relación entre la frecuencia en que el déficit hídrico es igual a la capacidad de almacenamiento de agua del suelo en función de esta última. Para mejor visualización de la distribución espacial del impacto, en función de los suelos del país, se elaboró un mapa equivalente al mostrado en la Figura 9.52-b para cada escenario, los cuales se presentan en la Figura 9.56 (el panel 9.6 b es idéntico al 9.10 b).

Figura 9. 55. Frecuencia del déficit máximo en función de la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo para la ETP climatológica y los tres escenarios considerados

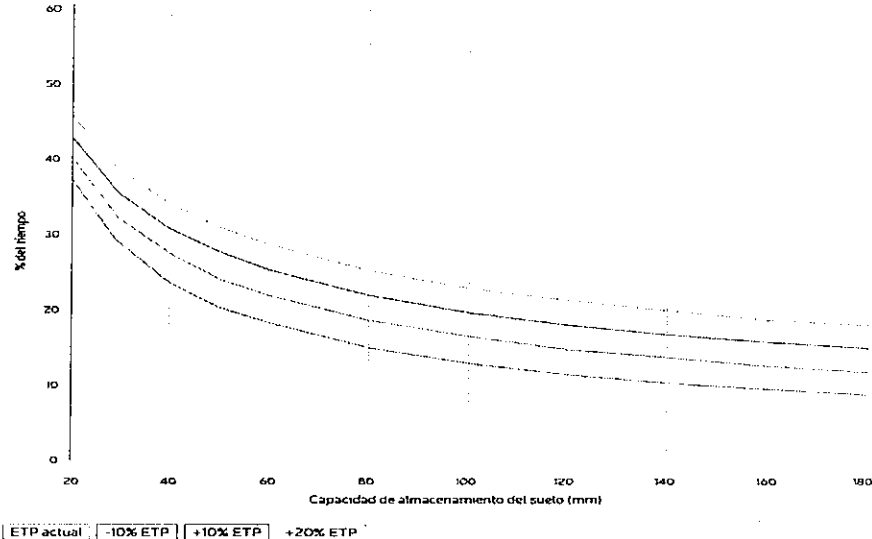
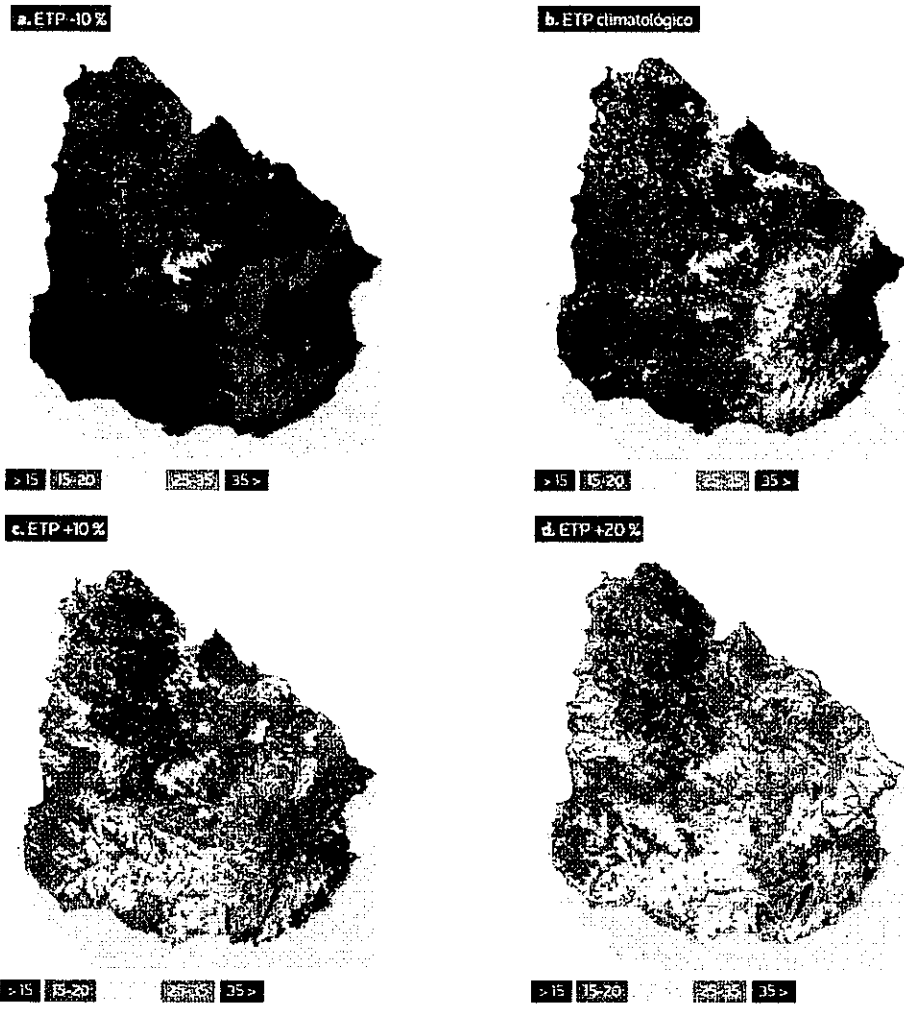


Figura 9.56. Mapa de frecuencia del déficit máximo en función de la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo para la ETP climatológica y los tres escenarios considerados

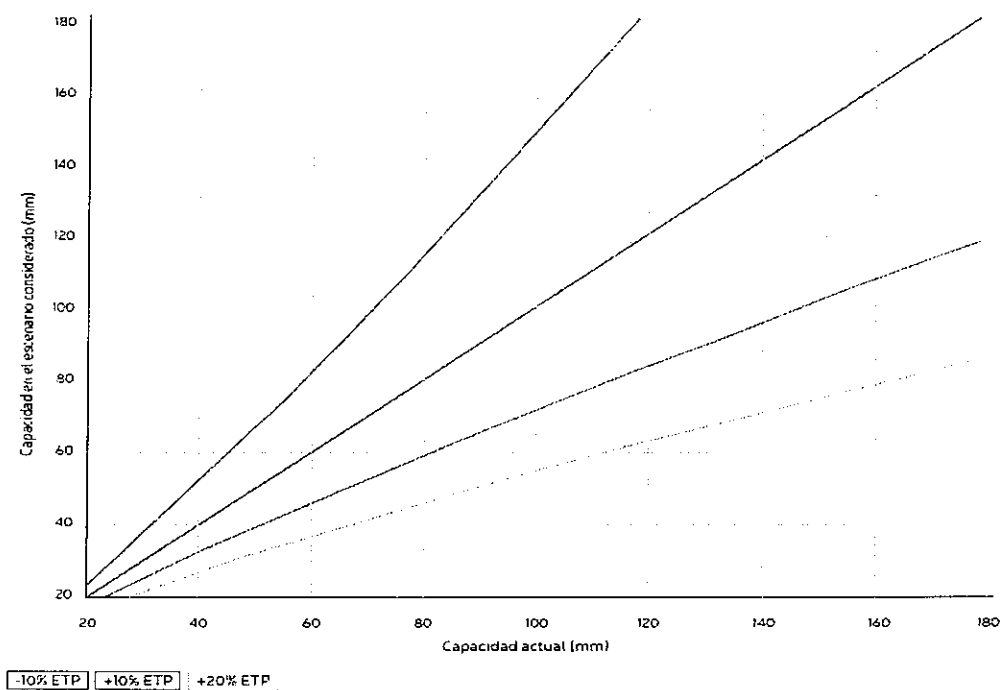


Por último, se sintetizan los resultados obtenidos comparando la frecuencia de déficit igual a la capacidad de almacenamiento del suelo de cada escenario con la situación actual. Es decir, se relacionan los suelos que en un escenario y en la situación actual presentan la misma frecuencia de déficit máximo.

La Figura 9. 57, que presenta los resultados descriptos, permite sacar conclusiones del tipo: “un suelo de X capacidad de almacenamiento se comportará en el futuro -según este estadístico- igual que un suelo de Y capacidad hoy”, lo cual lo hace muy conveniente para interpretar.

Sin pretender hacer un análisis exhaustivo de los resultados, se señala simplemente el hecho de que el impacto es mucho más notorio en suelos profundos con mayor capacidad de retención de agua. En el caso extremo de un suelo sin capacidad de retener agua, la frecuencia de déficit máximo es igual a la frecuencia de días sin lluvia que no fue variada en este análisis de sensibilidad a ETP, por lo cual el impacto en los escenarios es nulo.

Figura 9. 57. Funciones que relacionan la capacidad de almacenamiento de suelos de escenarios de ETP que tienen igual frecuencia de déficit hídrico máximo con respecto al clima actual de ETP



9.3.6 Generadores de tiempo: entrenamiento y sensibilidad a parámetros

El desarrollo de generadores de tiempo -procesos estocásticos entrenados para reproducir algunas propiedades estadísticas de series meteorológicas, en este caso pluviométricas- tiene una larga tradición y diversas aplicaciones relacionadas con la posibilidad de generar series sintéticas de la longitud deseada. Se debe tener presente que, si bien los generadores de tiempo son herramientas probadas y maduras, no siempre son capaces de reproducir todos los estadísticos de una serie. Como es de esperar, cuanto más sensible es el estadístico a eventos extremos muy esporádicos, más difícil es entrenar los modelos para que dicho estadístico sea reproducido adecuadamente. En este caso trabajamos con un modelo de paso diario de cuatro parámetros:

A. Ocurrencia de precipitación

Una cadena de Markov de primer orden sortea las transiciones entre dos estados posibles (lluvia,

no lluvia), para lo cual se requieren dos parámetros que coinciden con las probabilidades de que llueva, condicionadas a que llovió o no llovió el día anterior.

B. Intensidad de precipitación

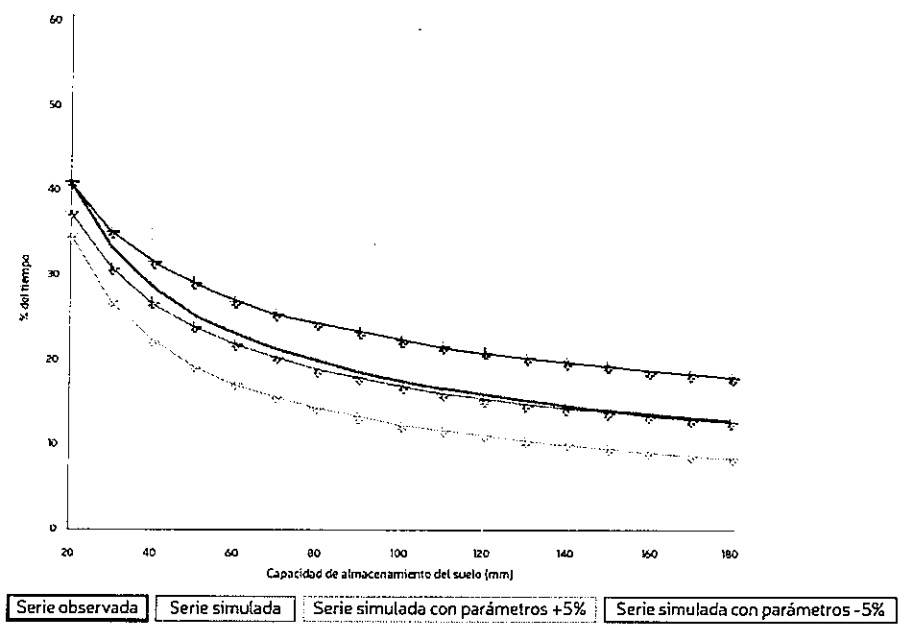
Una vez decidido si el día es o no lluvioso se sortea la cantidad de precipitación a partir de una distribución Gamma de dos parámetros (α y β , parámetros de forma y escala respectivamente).

Los parámetros, además de tener un rol estadístico, son interpretables físicamente, relacionándolos con la naturaleza y frecuencia de los sistemas precipitantes en una región dada. Si se cuenta con una disponibilidad adecuada de datos, los parámetros se pueden entrenar de modo de obtener (lentas) variaciones de los mismos en el tiempo, ya sea para representar mejor el ciclo anual, las variaciones multianuales o las tendencias de largo plazo. De esta manera se pueden observar amplitudes características de las variaciones de los parámetros asociadas a variaciones multianuales del clima. Se encontró que las magnitudes relativas de variación son muy semejantes en los cuatro parámetros de este modelo, aproximadamente +/- 10 % si se consideran ventanas móviles de 8 años. En base a este resultado se tomó como amplitud para el análisis de sensibilidad +/- 5 % en cada parámetro, pero considerando las variaciones simultáneas en todos los parámetros (propiedad que no surge del análisis histórico), lo cual amplifica la señal, por ello la reducción de la amplitud. A modo de ejemplo, una probabilidad de que llueva cuando no llovió el día anterior, puede pasar de 0.20 mm a 0.19 mm o a 0.21 mm en las simulaciones de escenarios.

En primer lugar se repitió el análisis de sensibilidad de la frecuencia de déficit hídrico en función de la capacidad de almacenamiento del suelo pero esta vez dejando ETP fijo y variando los parámetros del generador de tiempo que producen las series de precipitación.

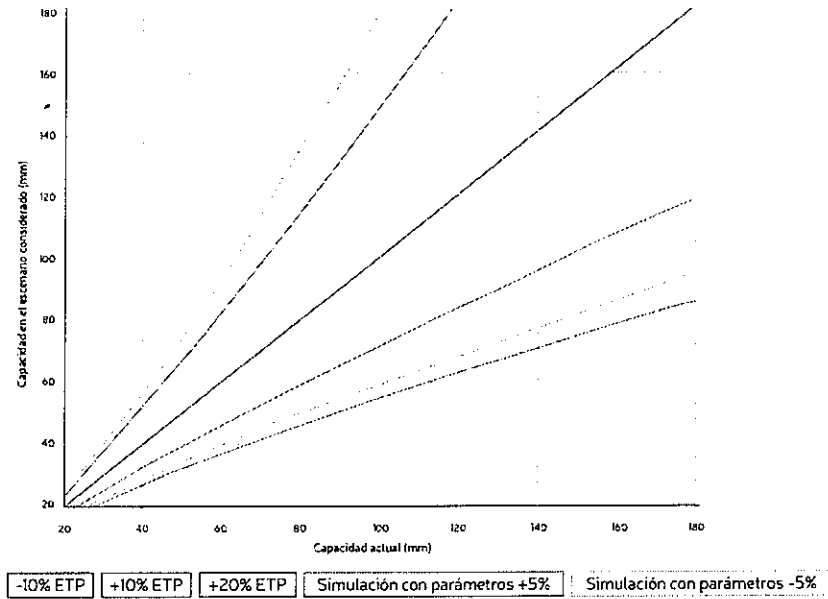
Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 9.58 (a modo de ejemplo para Las Brujas) que, entre otras cosas, valida el modelo en lo que respecta a este parámetro pues la curva sin variaciones en los parámetros es muy similar a la observada. Cabe destacar que para el resto de las estaciones se obtuvo un comportamiento análogo.

Figura 9.58. Frecuencia del déficit máximo en función de la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo para la serie observada, precipitación climatológica y escenarios con generados de tiempo (resultados obtenidos en la estación Las Brujas)



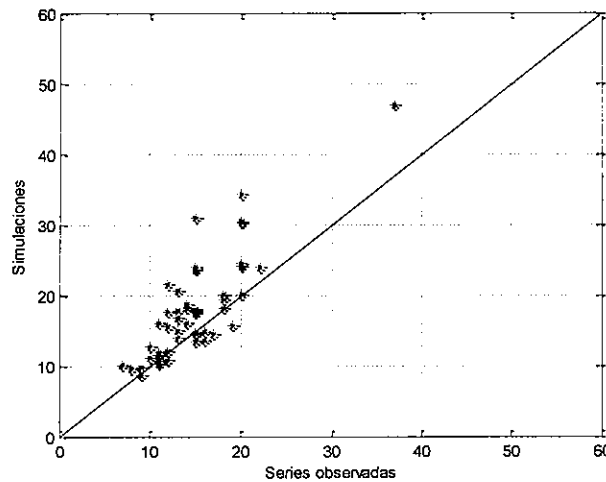
La Figura 9.59, similar a la Figura 9. 57, cuyos resultados también se incluyen, muestra que variaciones de +/- 5 % en los parámetros del generador de tiempo produce un impacto en este estadístico particular mayor al de variaciones de -/+ 10 % en ETP.

Figura 9.59. Funciones que relacionan la capacidad de almacenamiento del suelo de escenarios de precipitación (y ETP) que tienen igual frecuencia de déficit hídrico máximo con respecto al clima actual



A continuación, la Figura 9.60 muestra el período de retorno de rachas secas mayores a 30 días para las series producidas por el generador de clima con parámetros climatológicos en comparación con las series observadas (un punto por estación). Se observa que el generador es capaz de simular razonablemente bien este estadístico, con un leve sesgo para altos períodos de retorno.

Figura 9.60. Nubes de puntos para el período de retorno (meses) de rachas secas mayores a 30 días de las series observadas versus las series sintetizadas con parámetros climatológicos.



Nuevamente se realizó un análisis a sensibilidad de +/- 5 % en los parámetros del generador de clima y se calculó el impacto en el período de retorno de las rachas secas mayores a 30 días.

