



Centro Regional del  
Clima para el Sur de  
América del Sur

Centro Regional do  
Clima para o Sul da  
América do Sul



# Hacia un Sistema de Información sobre Sequías para América del Sur

## *Plan Estratégico*

### *Autores principales*

Guillermo Podestá, *Universidad de Miami, Escuela Rosenstiel, Estados Unidos de América*

Viviane Silva, *Programa de Servicios Climáticos del Servicio Meteorológico Nacional de la Administración Nacional del Océano y de la Atmósfera (NOAA), Estados Unidos de América*

Celeste Saulo, *Servicio Meteorológico Nacional, Argentina*

Julian Báez, *Dirección de Meteorología e Hidrología de la DINAC, Paraguay*

Roger Pulwarty, *Investigación Oceánica y Atmosférica de la NOAA, Estados Unidos de América*

Robert Stefanski, *Organización Meteorológica Mundial, Suiza*

Richard Heim, *Centros Nacionales de Información Ambiental de la NOAA, Estados Unidos de América*

Elaborado en colaboración con la  
Administración Nacional del Océano y de la Atmósfera de los Estados Unidos de América



Fecha de publicación: 15 de febrero de 2018

Serie Reportes Técnicos – Reporte Técnico CRC-SAS-2018-001

Technical Report Series – Technical Report CRC-SAS-2018-001

## Índice

Resumen ejecutivo.....	iii
1 Prólogo.....	1
2 Características de las sequías .....	2
2.1 Evolución de los enfoques para hacer frente a las sequías .....	3
3 Sistema de Información sobre Sequías para América del Sur .....	4
3.1 Primeros pasos hacia un Sistema de Información sobre Sequías para América del Sur.....	5
4 Principales funciones del Sistema de Información sobre Sequías para América del Sur.....	6
4.1 Observaciones y vigilancia.....	6
4.1.1 Plataformas y redes de observación <i>in situ</i> .....	8
4.1.2 Instrumentos satelitales .....	9
4.1.3 Productos de modelos hidrológicos y de la superficie terrestre .....	11
4.1.4 Indicadores e índices de sequía.....	12
4.2 Predicciones, proyecciones y pronósticos de sequías .....	14
4.2.1 Capacidades de predicción climática y de sequías en América del Sur.....	15
4.2.2 Umbrales y “elementos desencadenantes” de las sequías .....	15
4.3 Investigaciones interdisciplinarias: evaluación de riesgos y efectos de las sequías .....	17
4.3.1 Evaluación de los efectos de las sequías.....	20
4.3.2 Vinculación de los indicadores de sequía a los posibles efectos .....	21
4.3.3 Creación de un archivo regional de los efectos y los costos de las sequías..	22
4.4 Fundamentación de la preparación, la mitigación y la respuesta .....	24
4.5 Sensibilización, divulgación y educación .....	25
5 Conformación de un portal de información sobre sequías .....	27
6 Estructura de gobernanza del Sistema de Información sobre Sequías para América del Sur .....	28
6.1 Una política de datos consensuada del Sistema de Información sobre Sequías...	33
6.2 Sostenibilidad financiera .....	34
7 Actividades iniciales propuestas del Sistema de Información sobre Sequías por componente .....	34
7.1 Vigilancia .....	34
7.2 Predicciones y alertas tempranas de sequías: medidas que deben adoptarse .....	35

7.3	Efectos de las sequías y evaluación de riesgos: medidas que deben adoptarse ..	35
7.4	Preparación, mitigación y respuesta.....	35
7.5	Sensibilización, divulgación y educación .....	36
7.6	Creación del portal de información sobre las sequías.....	36
7.7	Gobernanza del Sistema de Información sobre Sequías.....	36
8	Referencias citadas .....	37
9	Agradecimientos .....	45

## Resumen ejecutivo

Las sequías tienen importantes repercusiones sociales, económicas y medioambientales en todo el territorio de América del Sur, región que depende principalmente de las lluvias para mantener su amplia producción agrícola, generar energía hidroeléctrica, transportar bienes a través de sus vías fluviales y satisfacer las necesidades de agua de los hogares, la industria y el medioambiente. Habida cuenta de la importancia de este fenómeno, la Administración Nacional del Océano y de la Atmósfera de los Estados Unidos de América (NOAA), la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Centro Regional del Clima para el Sur de Sudamérica (CRC-SAS) se han asociado para ayudar a definir las medidas necesarias destinadas a implantar un Sistema de Información sobre Sequías para América del Sur. Un paso inicial hacia la consecución de esta meta fue el taller celebrado en Buenos Aires que acogió el Servicio Meteorológico Nacional de la Argentina a principios de agosto de 2017. El taller congregó a 80 expertos de sectores relacionados con el clima y sensibles al clima del continente americano. El presente documento constituye uno de los resultados del taller celebrado en Buenos Aires.

En este documento se presenta el proyecto de Plan Estratégico, en el cual se especifican los requisitos operacionales, así como las funciones y actividades necesarias para el Sistema de Información sobre Sequías para América del Sur. Entre las principales funciones de dicho Sistema, se incluyen las siguientes: i) observaciones y vigilancia de las sequías mediante datos obtenidos *in situ*, por satélite o de modelos; ii) predicciones, proyecciones y pronósticos de sequías; iii) investigaciones interdisciplinarias sobre los vínculos existentes entre las características de las sequías y sus posibles repercusiones en distintos sectores y regiones; iv) la compilación, elaboración y síntesis de información que respalde las medidas de planificación, preparación, mitigación y respuesta en relación con las sequías; v) la divulgación encaminada a profundizar la sensibilización y el conocimiento sobre las sequías, y vi) la puesta en marcha de un portal o repositorio de información sobre sequías en el que la información útil pertinente esté disponible para las instituciones y personas de la región. A través del Plan Estratégico, también se procura determinar la información, los datos y los productos existentes y necesarios en materia de sequías y establecer las prioridades regionales en cuanto a las capacidades deseadas del Sistema de Información sobre Sequías. Se analizan las deficiencias cruciales en materia de conocimientos, personal, equipos o formación. Asimismo, en el plan se estudia una posible estructura de gobernanza para el Sistema y los mecanismos y asociaciones institucionales necesarios. *En definitiva, mediante el plan se procura facilitar la sustitución del enfoque reactivo habitual de gestión de crisis ante sequías por un enfoque más proactivo.*

## 1 Prólogo

A pesar de que las sequías constituyen el peligro natural más dañino, se encuentran entre los menos comprendidos (Pulwarty y Sivakumar, 2014), y las sequías y sus efectos traspasan las fronteras internacionales. Las sequías tienen importantes repercusiones sociales, económicas y medioambientales en todo el territorio de América del Sur, región que depende principalmente de las lluvias para mantener su amplia producción agrícola, generar energía hidroeléctrica, transportar bienes a través de sus vías fluviales y satisfacer las necesidades de agua de los hogares, la industria y el medioambiente. En consecuencia, la Administración Nacional del Océano y de la Atmósfera de los Estados Unidos (NOAA), la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Centro Regional del Clima para el Sur de Sudamérica (CRC-SAS), una institución de la OMM conformada por seis países que tiene por objeto brindar apoyo a los servicios meteorológicos nacionales, se han asociado para definir las medidas necesarias destinadas a implantar un Sistema de Información sobre Sequías para América del Sur.

El objetivo fundamental de este Sistema es ayudar a las personas, las comunidades y los gobiernos de América del Sur a que mitiguen o reduzcan las repercusiones de las sequías a través de la preparación, la mejora de la vigilancia y la predicción. Por otra parte, un sistema de este tipo facilitará la creación de redes de información que vinculen diversas escalas espaciales y jurisdiccionales, desde la esfera supranacional hasta la local. Dichas redes beneficiarán y empoderarán a las iniciativas locales vigentes en la región y posibilitarán el intercambio de experiencias y el aprendizaje mutuo. A través del Sistema de Información sobre Sequías regional, se procura suministrar información de avanzada pertinente y de fuentes autorizadas sobre las sequías, los efectos previstos y las posibles medidas que podrían ejecutarse para mitigar estos efectos. Con esta información, las instituciones de los distintos países sudamericanos podrán diseñar medidas de preparación y mitigación, emitir alertas tempranas sobre sequías y aplicar dichas medidas en regiones y actividades específicas. *En otras palabras, el Sistema de Información sobre Sequías no reemplaza de ningún modo las instituciones nacionales, provinciales o municipales de gestión de riesgos, defensa civil o preparación para casos de desastre. En cambio, su objetivo es generar y difundir la información que esas instituciones necesitan para planificar las medidas pertinentes, prepararse y brindar una respuesta a los efectos negativos de las sequías.*

En este documento se presenta el proyecto de Plan Estratégico, en el cual se especifican los requisitos operacionales, así como las funciones y actividades necesarias para el Sistema de Información sobre Sequías para América del Sur. A través de este plan, también se procura definir la información, los datos y los productos existentes y necesarios en materia de sequías y establecer las prioridades regionales en cuanto a las capacidades deseadas del Sistema. Se analizan las deficiencias cruciales en materia de conocimientos, personal, equipos o formación. Asimismo, en el plan se estudia una posible estructura de gobernanza para el Sistema y los mecanismos y asociaciones institucionales necesarios. Por último, mediante el plan se procura propiciar i) la participación temprana y activa de toda persona de América del Sur y de otros lugares del mundo que se beneficiaría del uso de esta información y conocimientos sobre las sequías, y ii) la creación y la coordinación de un programa activo de investigación interdisciplinaria sobre las diversas dimensiones de las sequías y sus repercusiones de modo que se preste apoyo a las instituciones nacionales, regionales e internacionales correspondientes.

El plan sirve de base para la posterior definición de los pasos específicos necesarios para la implantación del Sistema de Información sobre Sequías, una vez que se haya reunido el

principal órgano rector del Sistema (es decir, su Junta Ejecutiva, véase la [sección 6](#)). La Junta Ejecutiva, que deberá contar con una adecuada representación regional y sectorial, establecerá las prioridades y organizará las funciones y los componentes analizados en este Plan Estratégico a través de un conjunto específico de actividades que tengan objetivos claramente definidos, resultados previstos, plazos y una evaluación de los recursos necesarios. No obstante, para facilitar el proceso posterior de puesta en marcha del Sistema, se propone un posible conjunto de actividades iniciales al final del presente documento. Debido a la variedad de causas, tipos y escalas de sequías, un importante desafío que se enfrenta al planificar el Sistema de Información sobre Sequías es el diseño de un sistema que sea flexible y, a la vez, lo suficientemente genérico e integral como para permitir su adaptación a las distintas necesidades y situaciones de América del Sur, un subcontinente diverso y de grandes dimensiones.

## 2 Características de las sequías

La sequía es un fenómeno perjudicial y subrepticio que se produce a raíz de niveles de precipitación inferiores a lo esperado o a lo normal y que, cuando se prolonga durante una estación o durante períodos más largos, hace que las precipitaciones sean insuficientes para responder a las demandas de la sociedad y del medioambiente (Organización Meteorológica Mundial, 2006). A pesar de la aparente simplicidad de esta definición, el habitual desarrollo lento de una sequía sin un inicio o un final bien definidos (el final de la sequía no se vincula necesariamente al acaecimiento de lluvias), el carácter multifacético y progresivo de sus efectos en el ciclo hidrológico, los ecosistemas y las actividades humanas, así como la extensión espacial difusa de las sequías convierten a este fenómeno en el peligro natural más complejo de definir, analizar, vigilar y gestionar (Bachmair y otros, 2016; Vicente-Serrano y otros, 2012).

En muchos sentidos, la sequía comparte con el cambio climático la distinción de ser un fenómeno de aparición lenta (Sivakumar y otros, 2014). En términos cognitivos, resulta difícil detectar los cambios que tienen una evolución lenta o gradual a lo largo del tiempo y realizar su seguimiento (Weber, 2010; Weber, 2016). El carácter gradual de las sequías obstaculiza el reconocimiento de la real dimensión de sus repercusiones, ya que afecta la economía y el medioambiente, lo que suele atenuar el sentido de urgencia que, en otras circunstancias, iniciaría una respuesta integral y oportuna (Hao y otros, 2017). Además, los efectos de las sequías son de carácter no estructural y, por lo tanto, no son tan “visibles” como los efectos de otros peligros naturales, como los terremotos o las crecidas, por lo cual a los medios de comunicación les resulta difícil informar al público sobre la importancia de una sequía y sus efectos conexos (Bachmair y otros, 2016). La respuesta del público suele ser insuficiente, en comparación con otros peligros naturales que provocan pérdidas de vidas y bienes.

Las sequías, que se consideran un rasgo normal y recurrente del clima, se producen en casi todos los regímenes climáticos y se registran en zonas con un índice de precipitación tanto alto como bajo. Se trata de un fenómeno temporal, a diferencia de la aridez, que constituye una característica permanente del clima y se limita a zonas con un índice de precipitación bajo (Wilhite, 2000). No obstante, es probable que el cambio climático y los cambios conexos previstos en la variabilidad del clima aumenten la frecuencia y la gravedad de las sequías y otros fenómenos climáticos extremos (Dai, 2011; Dai, 2013). Conforme a lo expresado en el Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), en un clima más cálido, con el consiguiente aumento en la variabilidad del clima, aumentará el riesgo de sequías (IPCC, 2007). Todas las dimensiones relativas a la seguridad alimentaria, hídrica y del capital natural resultan

afectadas por los fenómenos climáticos extremos y la variabilidad del clima, y es probable que se vean afectadas por cambios en la distribución, el carácter y la magnitud de los fenómenos, ya que afectan los cultivos, los brotes de enfermedades y la calidad del suelo y del agua (Diogo y otros, 2017; Pulwarty y Sivakumar, 2014; van den Hurk y otros, 2016).

Si bien el tipo más reconocido de sequía es el que evoluciona lentamente, en los últimos años se ha detectado un tipo de sequía diferente, aunque igualmente perjudicial: las sequías repentinas (denominadas de esta forma debido a su similitud a las crecidas repentinas) pueden desarrollarse de manera muy rápida e inesperada. Las sequías repentinas no son necesariamente la consecuencia directa de la falta de precipitaciones (también pueden ser el resultado de la convergencia de varios factores, como una temperatura del aire muy alta, una baja humedad y vientos fuertes, todos los cuales aumentan la evapotranspiración) y de una humedad del suelo inusualmente baja y en disminución (Mo y Lettenmaier, 2016; Otkin y otros, 2013; Otkin y otros, 2015). Si las sequías repentinas coinciden con las etapas fundamentales de crecimiento de los cultivos comerciales, pueden causar pérdidas considerables. Se ha prestado poca atención a este tipo de fenómenos en América del Sur y debe evaluarse su incidencia.

La creciente preocupación por las sequías es el resultado de un mayor conocimiento a nivel mundial de las repercusiones económicas, sociales y medioambientales del clima (incluidos los fenómenos extremos, como las sequías) en las actividades humanas. Esta percepción, junto con la mayor disponibilidad y acceso a observaciones climáticas, diagnósticos sobre el clima y mejoras en la capacidad de predicción del clima (incluida la atención creciente en torno a la predicción climática decenal) ofrecen la oportunidad de planificar y ejecutar medidas tendientes a mitigar los daños y gestionar los riesgos que surgen como consecuencia de este fenómeno. *Por lo tanto, los conocimientos sobre los aspectos de las sequías relacionados con el clima son más útiles cuando se los vincula con una comprensión profunda de las posibles repercusiones de este fenómeno en distintas regiones, intervalos temporales, poblaciones y actividades humanas.*

## 2.1 Evolución de los enfoques para hacer frente a las sequías

En muchas partes del mundo, el enfoque habitual sobre las sequías, que se conoce comúnmente como "gestión de crisis", es *reactivo*, es decir, se responde a una sequía *después de* sufrir sus efectos (Wilhite y otros, 2014). Las respuestas que se adoptan ante una crisis como consecuencia de una sequía en curso suelen incluir programas de ayuda de emergencia que ofrecen desgravación fiscal, dinero u otros tipos específicos de asistencia (por ejemplo, forraje para el ganado, agua o alimentos) a las víctimas. Sin dudas, las operaciones de socorro de emergencia a las zonas afectadas por sequías siguen siendo necesarias, dado que satisfacen necesidades humanitarias urgentes. No obstante, las respuestas reactivas a las crisis con frecuencia llegan a destiempo, están mal coordinadas y son innecesariamente costosas (Wilhite y Pulwarty, 2005). A largo plazo, la asistencia de emergencia no ayuda a reducir la vulnerabilidad a las sequías de las sociedades afectadas. Al contrario, es posible que las respuestas de emergencia *reduzcan* la capacidad de adaptación de las personas y las comunidades al fomentar una mayor dependencia de estas intervenciones, en lugar de aumentar la autosuficiencia. En cambio, muchas medidas preventivas dirigidas a gestionar los riesgos de las sequías pueden aportar beneficios conjuntos sustanciales y generar una rentabilidad social favorable, incluso cuando no hay sequías. De hecho, dichas medidas pueden propiciarse de manera generalizada como estrategias sin perjuicios o poco perjudiciales para el desarrollo sostenible y para fortalecer la resiliencia a diversos impactos medioambientales, económicos y sociales (Organización Meteorológica Mundial (OMM) y Asociación Mundial para el Agua, 2017). *En consecuencia,*



*un enfoque mejorado sobre las sequías debería alejarse de la forma reactiva de gestión de crisis del pasado y adoptar un enfoque más proactivo.*

Para adoptar un enfoque proactivo en relación con las sequías, se necesita un proceso de planificación deliberado que establezca un conjunto bien definido de principios o directrices operativas que rijan la gestión de las sequías y de sus diversos efectos en las distintas escalas espaciales y temporales (Organización Meteorológica Mundial (OMM) y Asociación Mundial para el Agua, 2014). En definitiva, se necesitarán políticas nacionales y planes regionales y sectoriales de preparación o de contingencia en relación con las sequías. Sin dudas, si bien la elaboración de una política nacional sobre las sequías puede resultar una tarea difícil, el resultado de este proceso puede fortalecer considerablemente la resiliencia de la sociedad ante esas perturbaciones climáticas. *Si no se coordinan las políticas nacionales sobre las sequías, los países seguirán respondiendo a estos fenómenos de una manera reactiva, propia de la gestión de crisis. El Sistema de Información sobre Sequías es la "piedra angular" que sustenta una gestión eficaz del riesgo de sequías, con lo cual se convertirá en un elemento esencial de las políticas nacionales sobre las sequías de los países de América del Sur.*

### 3 Sistema de Información sobre Sequías para América del Sur

El objetivo que motiva el presente documento es implantar un Sistema de Información sobre Sequías para América del Sur que proporcione información y herramientas a las partes afectadas con los siguientes fines: i) supervisar y predecir el inicio y la evolución de las sequías, así como la recuperación después de las sequías; ii) evaluar las diversas repercusiones específicas de cada región y sector, y iii) ayudar en la preparación, las respuestas adoptadas y la mitigación de los riesgos de este fenómeno. Lamentablemente, muchos países de la región no cuentan con los recursos adecuados y necesitan apoyo externo para suministrar la información y los conocimientos necesarios para la gestión de los riesgos de las sequías (Pozzi y otros, 2013). En el espíritu de colaboración regional y mundial plasmada en el Marco Mundial para los Servicios Climáticos (MMSC) de la OMM, los países y las organizaciones que participan en la iniciativa que se describe en el presente documento procuran aunar esfuerzos destinados a mejorar la capacidad de los países sudamericanos para gestionar los riesgos relacionados con las sequías de manera proactiva.

Sobre la base de las iniciativas actuales y previas, la creación de un Sistema de Información sobre Sequías para América del Sur debería aprovechar las experiencias satisfactorias en las que se hayan creado sistemas similares en otros lugares del planeta. En un mundo interconectado, la necesidad de información a nivel mundial es esencial para comprender la posibilidad de que haya una reducción relacionada con las sequías en la productividad agrícola y que se produzcan efectos conexos en materia de precios de los alimentos, seguridad alimentaria y posibles conflictos civiles. En consecuencia, se ha propuesto la creación de un Sistema Mundial de Información sobre las Sequías para mejorar las capacidades nacionales y regionales actuales en materia de vigilancia y predicción de sequías mediante el agregado de un componente mundial, que facilite la vigilancia y las predicciones a escala continental (cuando falten). En varios talleres internacionales se analizó la posibilidad de un Sistema Mundial de Información sobre las Sequías (Pozzi y otros, 2013; Schubert y otros, 2015). En estos talleres se reconoció la necesidad de coordinación del suministro de información para actividades relacionadas con las sequías y actividades de socorro en todo el mundo. Este objetivo reviste particular importancia para las regiones y naciones que disponen de una capacidad relativamente limitada en materia de información y alerta temprana sobre las sequías, tal como ocurre en muchos lugares de América del Sur (Pozzi y otros, 2013).



Durante la etapa de examen del Plan Estratégico surgió una pregunta interesante: ¿debería el Sistema de Información sobre Sequías formarse a partir de la unión de las iniciativas nacionales actuales (es decir, los Sistemas de Información sobre Sequías nacionales)? O, en cambio, ¿debería implantarse primero un Sistema regional al que se encomendaría el apoyo a las iniciativas nacionales en materia de sequías? Como se expuso durante el taller celebrado en Buenos Aires, deben desplegarse todos los esfuerzos posibles para que el Sistema de Información sobre Sequías regional aproveche las iniciativas y experiencias existentes. Por otra parte, los participantes del taller consideraron que se derivarían beneficios concretos a partir de la creación de una institución multinacional con una infraestructura mínima que ayudaría a reunir los talentos regionales y coordinar las iniciativas actuales, a fin de evitar la duplicación del trabajo en un contexto común caracterizado por recursos limitados. Como se subraya en distintas secciones del presente documento, el Sistema de Información sobre Sequías ayudará a que las instituciones nacionales cumplan sus misiones de gestión del riesgo de sequías, pero no asumirá tareas que deberían permanecer a cargo de los Estados Miembros.

### 3.1 Primeros pasos hacia un Sistema de Información sobre Sequías para América del Sur

Debido a la trascendencia regional de la producción agrícola y los recursos hídricos en la región meridional de América del Sur, el tema de las sequías reviste gran importancia para todos los países del Centro Regional del Clima para el Sur de Sudamérica (CRC-SAS). Por este motivo, desde los comienzos de las actividades del CRC-SAS, sus miembros *consideraron las sequías como eje central común* alrededor del cual podrían organizarse las actividades iniciales de colaboración. Con el apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el CRC-SAS organizó una reunión regional en Buenos Aires, en diciembre de 2012, la cual contó con la participación de todos sus miembros y otras instituciones. Si bien la reunión tenía un enfoque más amplio centrado en la prestación de servicios climáticos, las sequías surgieron de manera reiterada como un tema de interés transversal para toda la región meridional de América del Sur. Posteriormente, con el apoyo por separado del BID y a través de una asociación con la Universidad de Miami de los Estados Unidos, el CRC-SAS compiló una base de datos meteorológicos diarios con control de calidad y aplicó herramientas para el cálculo y la visualización de diversos índices de sequía, con lo cual *se sentaron los cimientos para una iniciativa regional de vigilancia de sequías*.

El impulso actual tendiente a coordinar una iniciativa para América del Sur en torno a las sequías se originó en un diálogo que comenzó en 2014 entre el CRC-SAS, la NOAA y la OMM. Este proceso culminó en un taller financiado por la NOAA y la OMM que acogió el Servicio Meteorológico Nacional de la Argentina en Buenos Aires (Argentina), celebrado del 8 al 10 de agosto de 2017 (en adelante, "el taller de Buenos Aires"). A través del taller, se procuró ayudar a precisar las medidas necesarias para la creación y la puesta en marcha de un sistema de información sobre sequías regional y transnacional para América del Sur.

El taller reunió a los interesados sensibles a las sequías de los sectores público y privado de los miembros del CRC-SAS (Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay), así como a expertos de otros países de América del Sur, México y los Estados Unidos. En el siguiente sitio web figura información sobre el taller:

<http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/agm/meetings/sadm17>.

Una firme recomendación que se formuló en el taller de Buenos Aires fue la necesidad de *aprovechar las experiencias y las enseñanzas extraídas por otras instituciones y grupos* que habían obtenido buenos resultados mediante la creación de un sistema nacional o regional de información sobre sequías. Hay varios sistemas de sequías en los ámbitos regional y

nacional de Europa (por ejemplo, el Observatorio Europeo de la Sequía), Australia, África y otras partes del mundo (Heim y Brewer, 2012; Rossi y otros, 2009; Vogt, 2011). En particular, mediante el proceso de planificación que se describe en el presente documento, se procura obtener asesoramiento y asistencia de instituciones del continente americano que ya han puesto en marcha sistemas de sequías, como el Sistema Nacional Integrado de Información sobre la Sequía (NIDIS) y los Centros Nacionales de Información Ambiental de los Estados Unidos, que participaron en la creación del Monitor de Sequía de este país. A título de ejemplo, el Sistema de Información sobre Sequías para América del Sur tendrá en cuenta los pasos o las directrices que originalmente elaboró el Centro Nacional de Mitigación de Sequías (NMDM) de los Estados Unidos, que fue adoptado por el Programa de Gestión Integrada de Sequías durante la elaboración de los principios generales de las políticas nacionales o regionales destinadas a reducir el riesgo de sequías (Organización Meteorológica Mundial (OMM) y Asociación Mundial para el Agua, 2014). En la planificación también participó la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) de México que, junto con el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), pusieron en marcha el Monitor de Sequía de México (Brewer y Heim, 2011; Lobato-Sánchez, 2016) y el reciente Monitor de Persistencia de la Sequía en México (MPSMx). En el Brasil, la Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos do Ceará (Funceme) y la Agência Nacional das Águas (ANA) coordinaron de manera conjunta el "Monitor de Secas" en la región noreste del Brasil (Martins y otros, 2016). Los representantes de todas estas instituciones asistieron al taller de Buenos Aires y se han ofrecido gentilmente a ayudar en las actividades de planificación del Sistema de Información sobre Sequías para América del Sur.

#### 4 Principales funciones del Sistema de Información sobre Sequías para América del Sur

La puesta en marcha del Sistema de Información sobre Sequías para América del Sur debería garantizar el suministro oportuno de información útil, integrada y pertinente sobre sequías a las instancias decisorias, las comunidades vulnerables y las partes interesadas de los distintos sectores con miras a propiciar medidas de preparación y mitigación de sequías (Sivakumar y otros, 2014). Un sistema de este tipo incluye funciones integradas de evaluación de riesgos, comunicación y apoyo a la toma de decisiones que a) respalden la generación de respuestas estratégicas para anticipar crisis y la evolución de las crisis; b) proporcionen capacidades para generar evaluaciones de riesgos y escenarios específicos de los distintos problemas, y c) junto con los usuarios y las partes interesadas fundamentales, elaboren de manera conjunta y difundan medidas proactivas viables para respaldar la adopción de decisiones, la preparación y la mitigación (Pulwarty y Sivakumar, 2014). Entre otros componentes importantes cabe especificar unos procedimientos eficaces de evaluación del impacto y la elaboración de planes de preparación tendientes a aumentar la capacidad de hacer frente a las repercusiones de las sequías (Sivakumar y otros, 2014). En la Figura 1 se muestran los principales componentes o funciones de un sistema de información sobre sequías para América del Sur. En las secciones subsiguientes, se analizará sucintamente cada una de estas funciones.

##### 4.1 Observaciones y vigilancia

Una función central y, a la vez, un resultado de un Sistema de Información sobre Sequías es la vigilancia de los estados físicos actuales y anteriores del medioambiente a través de distintos tipos de observaciones. El sistema de vigilancia debería realizar un seguimiento y una evaluación de las tendencias y condiciones actuales del clima y del abastecimiento de agua, e informar sobre ello. Se debería suministrar esta información de manera oportuna a las instancias decisorias de todos los niveles para mitigar y reducir los riesgos relacionados

con el clima. En ausencia de un sistema de vigilancia completo e integrado que reúna y evalúe información sobre la condición del abastecimiento de agua de manera periódica, no suele detectarse la gravedad de las sequías hasta que la escasez de agua llega a un nivel de crisis para muchos sectores (Wilhite, 2016).

*De manera convencional, el origen básico de las sequías es una disminución de la precipitación. No obstante, no es suficiente observar solamente la cantidad de precipitación o calcular índices basados en las precipitaciones para detectar el inicio y la evolución de una sequía, así como para evaluar las posibles repercusiones y su gravedad. En cambio, los enfoques modernos sobre la vigilancia de las sequías deben incluir variables medioambientales que cumplan una función importante en el balance hidrológico, entre ellas, la precipitación, la evapotranspiración, la corriente superficial y los niveles de agua subterránea, los niveles de embalses y lagos, y la humedad del suelo (Svoboda y otros, 2002). Por otra parte, los participantes del taller de Buenos Aires hicieron hincapié en que, si bien se realizan observaciones de la profundidad de los bancos de nieve y su extensión en la región, es importante prestarles más atención. Muchas de estas variables pueden combinarse en índices que evalúen de manera cuantitativa el estado de la humedad ambiental o el desequilibrio entre el abastecimiento de agua y su demanda (Heim, 2002). Las estimaciones directas o indirectas de todas estas variables están disponibles a través de datos obtenidos *in situ*, por teledetección y de modelos.*

Un prerrequisito para el diseño de un sistema eficiente de vigilancia de las sequías es definir los sectores, los agentes y las decisiones pertinentes que el sistema debe respaldar, lo que permitirá la formulación de objetivos y estrategias de vigilancia claramente definidos. Una vez que se hayan establecido los objetivos, es posible evaluar si los datos necesarios (es decir, las observaciones de que se dispone y los modelos de variables pertinentes) están disponibles y si son de fácil acceso, o si pueden estar disponible con un esfuerzo razonable. *Una de las tareas iniciales del Sistema de Información sobre Sequías para América del Sur sería determinar y priorizar los distintos conjuntos de variables que deben supervisarse a fin de reflejar los diversos efectos de las sequías en sectores sensibles a estos fenómenos, como la agricultura, la generación de energía, el transporte por vías navegables, la recreación y el turismo, y el abastecimiento de los hogares y la industria, entre otros. Es posible definir un conjunto de variables comunes para todos los países participantes.*

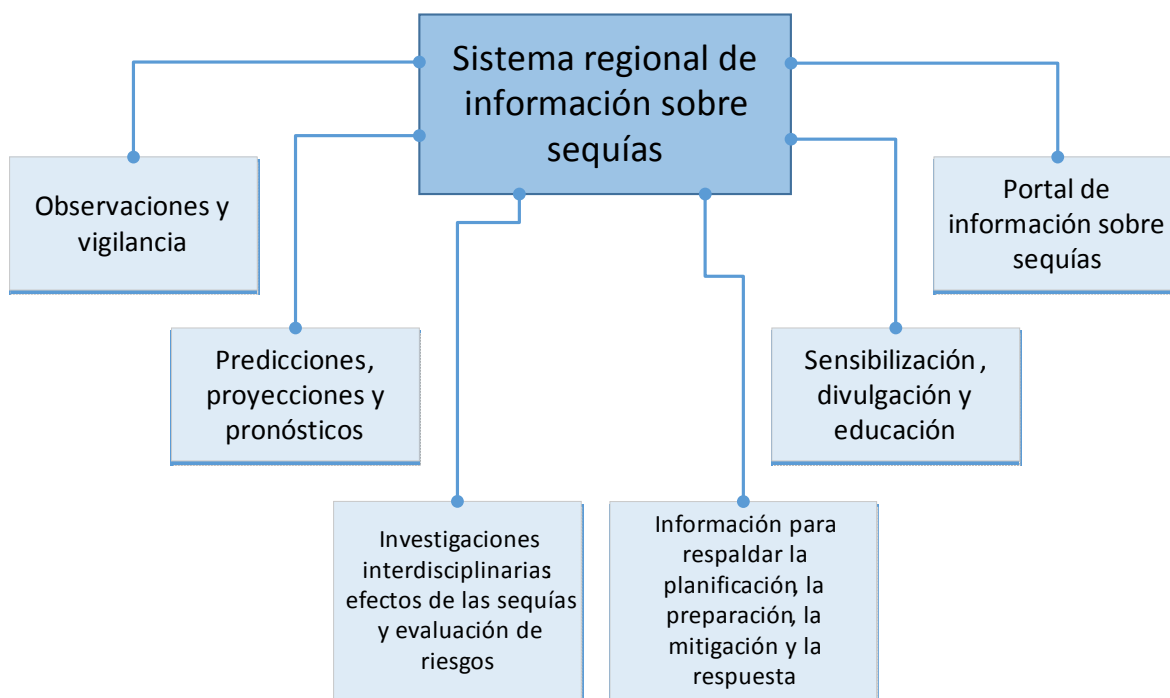


Figura 1: Principales componentes o funciones de un sistema regional de información sobre sequías

#### 4.1.1 Plataformas y redes de observación *in situ*

La recopilación actual de datos climáticos e hidrológicos *in situ* (entre ellos, humedad del suelo, nieve y flujo fluvial) en América del Sur suele estar fragmentada entre distintos organismos o ministerios. Existen muchas redes en toda la región y la mayoría es gestionada por organismos nacionales o estatales/provinciales. La cantidad de estaciones hidrológicas y meteorológicas (convencionales, automáticas, pluviométricas, etc.), la duración de los registros y la cantidad de datos faltantes varían mucho de un país a otro y de una región a otra dentro de cada país. Con frecuencia, no se presta mucha atención a la uniformidad u homogeneidad de los datos (quizás por el nivel limitado de detalles de los metadatos sobre cambios en la ubicación o la instrumentación de las estaciones meteorológicas) (Skansi y otros, 2013). Garantizar la calidad y la homogeneidad de los datos ayuda a mejorar la solidez de los resultados sobre las sequías derivados de ellos.

*En consecuencia, otra medida inicial en relación con el Sistema de Información sobre Sequías para América del Sur debería ser la evaluación de la cantidad y la calidad (incluida la homogeneidad) de los datos disponibles de redes existentes de observación meteorológica e hidrológica en toda la región, así como la accesibilidad de estos datos.*

Los dos Centros Regionales sobre el Clima (CRC) de la OMM (el Centro Regional del Clima para el Sur de Sudamérica (CRC-SAS) y el Centro Regional del Clima para el Oeste de Sudamérica (CRC-OSA)) han expresado su intención de trabajar de forma mancomunada en pos de un Sistema de Información sobre Sequías para América del Sur. Por lo tanto, las observaciones meteorológicas e hidrológicas recopiladas por los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales (SMHN) de los Estados Miembros serán la principal fuente de datos de observación en las zonas que abarcan estos CRC. De hecho, si bien ambos CRC de

América del Sur han realizado importantes avances en la recopilación y el control de calidad de los datos meteorológicos diarios, estas iniciativas deben mantenerse a lo largo del tiempo y mejorarse a fin de, por ejemplo, permitir un acceso más rápido a los datos *in situ*. En contraposición, los participantes del taller de Buenos Aires señalaron que no es tan común que haya protocolos y formatos comunes que faciliten el intercambio y la interoperabilidad de las observaciones hidrológicas. Las instituciones de la región correspondientes al sector hídrico, como el Comité Intergubernamental Coordinador de los Países de la Cuenca del Plata (<http://cicplata.org>) conformado por cinco países o la Agência Nacional das Águas del Brasil, pueden aportar sus conocimientos técnicos para el diseño y la compilación de las bases de datos hidrológicos.

El mantenimiento y, siempre que sea posible, la ampliación de las redes de observación *in situ* continúa siendo una prioridad esencial y un desafío constante para América del Sur. Sin embargo, una grave deficiencia indicada en el taller de Buenos Aires es *la coordinación necesaria para la recopilación de datos de distintas redes in situ y su integración real en el sistema regional integral de vigilancia de las sequías*. Dado que no se suele informar sobre los datos pertinentes de manera oportuna, la automatización o la optimización del proceso de recopilación de datos pueden mejorar de manera sustancial la sincronización y la fiabilidad de los sistemas de vigilancia y alertas tempranas de sequías. Una meta ambiciosa sería disponer de actualizaciones diarias periódicas de las observaciones meteorológicas e hidrológicas *in situ*. Para ello, el Sistema de Información sobre Sequías regional debería colaborar estrechamente con los CRC para elaborar directrices sobre la transmisión, la configuración y el archivo de datos conforme a normas y sistemas internacionales. *Deben crearse repositorios de datos para la distribución en toda la región, siendo los CRC posibles candidatos para albergar dichos repositorios, aunque otras instituciones también podrían ofrecerse para albergar los repositorios. No obstante, debe definirse una política de datos para el Sistema de Información sobre Sequías consensuada; este tema se analiza posteriormente (véase la sección 6.1).*

Además de los datos reunidos por los organismos nacionales y estatales, hay otras redes *in situ* en toda América del Sur (por ejemplo, las administradas por las asociaciones y las cooperativas regionales de comerciantes de granos y agricultores, y los operadores de reservorios o centrales hidroeléctricas) que pueden suministrar información esencial para una región en particular. Por lo general, se desconoce el desempeño de estas redes, ya que no cumplen necesariamente las normas de la OMM. En consecuencia, quizás sea necesario realizar una labor considerable de recopilación, digitalización (si fuera necesario) y evaluación de la fiabilidad de estos datos. Durante las primeras etapas de desarrollo de un Sistema de Información sobre Sequías regional, debe alcanzarse un delicado equilibrio entre a) los intentos por incluir todas las fuentes posibles de observaciones *in situ* para lograr una alta densidad de cobertura espacial y b) los esfuerzos necesarios para velar por el acceso oportuno a datos fiables de estas fuentes adicionales.

#### 4.1.2 Instrumentos satelitales

La baja densidad espacial habitual de las redes de observación *in situ* en América del Sur debe complementarse con la amplia cobertura espacial y los períodos de retorno frecuentes que ofrecen los sensores instalados en los satélites. Se dispone de varios productos satelitales nuevos y confirmados que son prometedores en materia de vigilancia de las sequías (AghaKouchak y otros, 2015; Kogan y otros, 2015; Mishra y otros, 2017; Pozzi y otros, 2013). En particular, se han logrado importantes avances recientes que facilitan el acceso a productos satelitales para la vigilancia de las sequías (Hao y otros, 2017). No obstante, aún deben caracterizarse mejor los errores en las distintas instancias de

recuperación de datos por teledetección para luego reducirlos, y debe garantizarse la uniformidad en el tiempo y entre los productos.

Cada vez más, los datos obtenidos por teledetección proporcionan la capacidad de vigilar las sequías y suministran alertas tempranas a través de los datos recuperados de diversos componentes del ciclo del agua y de la salud de la vegetación. La mejora en la estimación de la precipitación por medio de satélites es la consecuencia del desarrollo de productos generados con técnicas como CMORPH e IMERG de las misiones mundiales de medición de la precipitación, que reemplazaron a TRMM y su producto en tiempo casi real TMPA-RT (Kirschbaum y otros, 2017; Skofronick-Jackson y otros, 2017). Los últimos avances también han demostrado que es posible definir los índices de sequía sobre la base del índice de estrés por evaporación (ESI) obtenido a partir de datos satelitales (Anderson y otros, 2011) que suelen detectar el inicio de las sequías mucho antes que otros índices basados en la precipitación, como el índice de precipitación normalizado (SPI) (McEvoy y otros, 2016). En el Brasil, se ha demostrado el valor agregado que se deriva del control del ESI para la estimación del rendimiento de los principales cultivos y para su uso en el sector hídrico (Anderson y otros, 2016). La humedad del suelo, una variable fundamental no solo para la vigilancia de las sequías, sino también para la predicción de las sequías (dado que la información sobre la humedad del suelo mejora la eficacia de las predicciones estacionales), puede vigilarse mediante instrumentos instalados en los satélites (Carrão y otros, 2016b; Dorigo y otros, 2017; Enekel y otros, 2016). Los índices de vegetación derivados de los satélites, como el índice diferencial normalizado de vegetación (NDVI) o el índice de vegetación mejorado (EVI) suelen utilizarse para la vigilancia de las sequías (Cunha y otros, 2015; Enekel y otros, 2016; Rimkus y otros, 2017; Sierra-Soler y otros, 2016; Zambrano y otros, 2016).

El Sistema de Información sobre Sequías regional debería evaluar en profundidad el uso actual de los productos de teledetección para la vigilancia de las sequías por parte de los países sudamericanos. A partir de los informes nacionales presentados durante el taller de Buenos Aires, parecería que el uso actual de datos satelitales es relativamente limitado. Por ejemplo, el Centro Nacional de Monitorización y Alertas de Desastres Naturales (CEMADEN) del Brasil utiliza el índice de abastecimiento de agua para la vegetación (VSWI) derivado del radiómetro MODIS (Cunha y otros, 2015). También en el Brasil, el Centro de Previsión de Tiempo y Estudios Climáticos (CPTEC) informó sobre el uso de estimaciones de la precipitación obtenidas por satélites, el NDVI, la vigilancia de incendios y el riesgo de incendios para vigilar las sequías. Por su parte, el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) (Ministerio de Agricultura) de Chile cuenta con el índice de la condición de la vegetación (VCI) (Kogan y Sullivan, 1993; Rimkus y otros, 2017). En el Uruguay se informó sobre el uso de los índices NDVI, EVI y el índice diferencial de agua normalizado (NDWI) para vigilar el estado de la vegetación. Por otra parte, ningún país informó sobre el uso operacional actual de las estimaciones de la precipitación o la humedad del suelo obtenidas a partir de satélites para vigilar las sequías, a pesar de que Zambrano y otros (2017) compararon recientemente distintos productos para realizar estimaciones de la precipitación obtenidas a partir de satélites para Chile. Los participantes del taller de Buenos Aires también destacaron las posibles dificultades o errores que se producen en los datos obtenidos mediante teledetección como consecuencia de la compleja topografía de ciertas regiones de América del Sur (por ejemplo, en Bolivia y en el Perú).

Como nueva fuente prometedora de diversos productos, la región debería aprovechar plenamente la posición orbital beneficiosa del satélite GOES-16 (sobre los 75° W) y la facilidad de acceso a sus productos (Schmit y otros, 2016). Otra fuente futura de datos útiles es la constelación de dos satélites SAOCOM que planifica utilizar la Comisión Nacional



de Actividades Espaciales (CONAE) de la Argentina. Los satélites SAOCOM transportarán radares de apertura sintética con banda L que suministrarán estimaciones de la humedad del suelo. En el momento de la redacción del presente documento, estaba programado el lanzamiento del primer satélite SAOCOM para mediados de 2018. Por otra parte, para respaldar la elaboración de algoritmos y las tareas de calibración y validación, la CONAE también ha instalado una red de mediciones de la humedad del suelo *in situ* en la zona central de la Argentina, a la que podría tener acceso el Sistema de Información sobre Sequías.

El Sistema de Información sobre Sequías para América del Sur debe adoptar los procedimientos necesarios para recuperar y fusionar datos obtenidos por satélites e *in situ* de manera sistemática y en tiempo casi real. Además, deben determinarse las deficiencias en cuanto a la formación y los equipos necesarios para analizar e interpretar los productos de datos satelitales actuales y para desarrollar nuevos. El Sistema de Información sobre Sequías debe colaborar con los organismos sudamericanos e internacionales que administran o usan de manera activa sensores instalados en satélites para consolidar la capacidad de teledetección mediante satélites. Un ejemplo de iniciativa útil es el Programa de Capacitación de Teledetección Aplicada (ARSET, <https://arset.gsfc.nasa.gov>) de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA), que ofrece formación que permite desarrollar las habilidades necesarias para integrar los datos obtenidos mediante teledetección en las actividades del Sistema de Información sobre Sequías. Los programas de formación gratuita de ARSET se ofrecen como seminarios web o presenciales, y algunos de los programas se imparten en español. La Agencia Espacial Europea (ESA) también ofrece una amplia gama de actividades de educación, formación y creación de capacidad centradas en los datos suministrados por los instrumentos que la Agencia administra ([earth.esa.int/web/guest/eo-education-and-training](http://earth.esa.int/web/guest/eo-education-and-training)).

#### 4.1.3 Productos de modelos hidrológicos y de la superficie terrestre

Los modelos hidrológicos y de la superficie terrestre cumplen una función fundamental para la vigilancia de las sequías. Estos modelos incluyen representaciones de los balances energético e hídrico de la superficie terrestre que se obtienen mediante la utilización del conocimiento más actualizado sobre los procesos físicos de la tierra y la atmósfera y las parametrizaciones que mejor las representan. Los modelos de la superficie terrestre que reciben las observaciones *in situ* y satelitales pueden ayudar a suministrar productos relacionados con la humedad del suelo y, en algunos casos, el agua subterránea y otros productos de importancia para las sequías. Las condiciones iniciales de la superficie terrestre también constituyen una fuente importante de predicciones acertadas de sequías para uno o dos meses, por lo que sigue siendo fundamental que continúen las mejoras en la inicialización de los estados de la superficie terrestre en los sistemas operativos. Los resultados de los modelos de la superficie terrestre también pueden compararse con ejecuciones de modelos retrospectivas tendientes a obtener estimaciones de la gravedad actual relativa de las sequías (McRoberts y Nielsen-Gammon, 2012).

Los sistemas de asimilación de datos terrestres (LDAS) utilizan varios modelos hidrológicos y de la superficie terrestre con la finalidad de reducir los errores que se producen cuando a) se identifican las mejores observaciones disponibles y b) se forman conjuntos a partir de los distintos modelos (véase, por ejemplo, el sitio web de NLDAS: <https://ldas.gsfc.nasa.gov/nldas/NLDASgoals.php>). No obstante, continúa habiendo grandes diferencias entre los modelos y sesgos relacionados con las observaciones, especialmente en regiones con baja densidad de precipitaciones. La fusión de datos satelitales en modelos de la superficie terrestre mediante métodos de asimilación resulta prometedora para eliminar los sesgos en



los modelos y armonizar los datos entre los distintos productos y variables (Pozzi y otros, 2013).

Se ha informado sobre prototipos de sistemas experimentales de vigilancia de las sequías que se basan en el sistema LDAS y sobre sus limitaciones (Sheffield y otros, 2013). Si bien algunos de estos sistemas no están en funcionamiento o ni siquiera están vinculados a instituciones en funcionamiento, pueden servir como orientaciones útiles para proporcionar un diagnóstico de interés para los usuarios y las partes interesadas. Rodell y otros (2004) y Fang y otros (2009) dan cuenta de que la NASA ha creado un Sistema Mundial de Asimilación de Datos de la Superficie Terrestre (GLDAS) que se basa en cuatro modelos de la superficie terrestre (CLM, Mosaic, Noah y VIC) para generar estimaciones a nivel mundial de los flujos y estados de la superficie (por ejemplo, la humedad del suelo, la temperatura en superficie, la evaporación y el flujo térmico sensible). Los productos del GLDAS se usan ampliamente en América del Sur con fines de vigilancia y en estudios de la intensidad del acoplamiento entre la atmósfera y la tierra. Spennemann y otros (2015) compararon las anomalías simuladas de la humedad del suelo en la región meridional de América del Sur obtenidas mediante el sistema GLDAS, el SPI y un producto de la humedad del suelo de la superficie obtenido mediante varios satélites, y llegaron a la conclusión de que los productos del GLDAS son buenos indicadores de los estados de la humedad del suelo y resultan convenientes para generar nuevos índices de vigilancia de la humedad del suelo.

Se han dado a conocer algunas actividades iniciales del CPTEC del Brasil sobre la creación de un sistema LDAS sudamericano, aunque no se ejecutó en tiempo real (de Goncalves y otros, 2009). No obstante, el Sistema de Asimilación de Datos de la Superficie Terrestre de América del Sur (SALDAS) se ha mantenido en modo de investigación y se ha actualizado periódicamente de manera que se ajuste a las últimas versiones del Sistema de Información de la Superficie Terrestre (LIS) de la NASA, el cual constituye la infraestructura computacional troncal del NLDAS y el GLDAS en los Estados Unidos. A través del LIS/SALDAS, el CPTEC puede suministrar representaciones con gran resolución de la superficie terrestre continental de América del Sur que provienen de las mediciones disponibles *in situ*, el forzamiento atmosférico derivado de modelos y la asimilación de datos de la superficie terrestre de múltiples variables a partir de datos locales y datos obtenidos por teledetección. Actualmente, en el CPTEC se prevé dar a conocer una instancia operacional en tiempo casi real del SALDAS que se basa en el forzamiento atmosférico a partir de los análisis y datos de precipitación desglosados por hora del Sistema Mundial de Asimilación de Datos del CPTEC (Vila y otros, 2009).

En diferentes instituciones de la región se llevan a cabo actividades similares sobre modelización de la superficie terrestre a través de modelos únicos o múltiples de la superficie terrestre. Sgroi (2017) aplicó el modelo hidrológico VIC en la cuenca del Plata con el objetivo de evaluar el ciclo hidrológico de la superficie terrestre y elaborar la climatología de episodios de sequías correspondiente al período 1980-2010. Muller y Berbery (2017) también emplearon modelos individuales (Noah y Noah-MP, un modelo que se basa en el primero y que incluye el agua subterránea y el tratamiento de la vegetación dinámica) forzados mediante observaciones. Si bien ninguno de estos modelos se está ejecutando de forma sistemática en tiempo real, todos podrían ayudar a crear un nuevo LDAS para América del Sur en el marco del Sistema de Información sobre Sequías para esta región, en el que se reuniría la mejor información disponible de cada país.

#### 4.1.4 Indicadores e índices de sequía

Las sequías se diferencian entre sí por tres características fundamentales: la intensidad, la duración y la extensión espacial. La intensidad refleja el déficit de precipitación o la

gravedad de los efectos asociados a ese déficit. Su magnitud suele determinarse en términos de la desviación respecto de las pautas normales de ciertos índices climáticos, y la determinación de sus efectos se vincula estrechamente a la duración (Wilhite y otros, 2000). A pesar de que hay varias metodologías que permiten caracterizar las sequías, es habitual el uso de indicadores o índices de sequía.

Los *indicadores de sequía* son variables o parámetros que se utilizan para describir las condiciones de las sequías. Cabe citar, por ejemplo, la precipitación, la temperatura, los caudales fluviales, los niveles de las aguas subterráneas y de los embalses, la humedad del suelo y el manto de nieve. Los *índices de sequía* son medidas cuantitativas que se utilizan para caracterizar los niveles de sequía mediante la asimilación de uno o más indicadores de sequía (por ejemplo, las variables climáticas, como la precipitación y la evapotranspiración) en un único valor numérico. Un índice de este tipo es más fácil de usar que los valores brutos de las variables climáticas. No obstante, es importante tener en cuenta que los índices son también indicadores desde una perspectiva técnica (Organización Meteorológica Mundial (OMM) y Asociación Mundial para el Agua, 2016). Hay varios índices de sequía disponibles, y estos han sido examinados en distintas publicaciones (Heim, 2002; Keyantash y Dracup, 2002; Organización Meteorológica Mundial (OMM) y Asociación Mundial para el Agua, 2016; Penalba y Rivera, 2015; Quiring, 2009; Zargar y otros, 2011). Sin embargo, las directrices sobre la utilización de estos índices continúan siendo insuficientes. Como señalaron los participantes del taller de Buenos Aires, la necesidad de contar con índices de sequía claramente documentados y generados por una fuente autorizada reviste particular importancia cuando se utilizan dichos índices como parte de un programa de seguros basados en índices; este tipo de seguros puede constituir un enfoque beneficioso para la gestión de los riesgos de las sequías.

Es posible que la definición de las sequías sobre la base de una única variable o índice de sequía (por ejemplo, la precipitación, la humedad del suelo o la escorrentía) no sea suficiente para lograr un proceso fiable de evaluación de riesgos y de adopción de decisiones. Además del uso de un único indicador o índice de sequía, hay dos métodos alternativos para vigilar las sequías y orientar las alertas tempranas y la evaluación, a saber: i) el uso de varios indicadores o índices y ii) el uso de indicadores mixtos o híbridos, como los del Monitor de Sequía de América del Norte o el Monitor de Sequía del Nordeste del Brasil. Debido a la compleja naturaleza de las sequías, un enfoque actual habitual es la vigilancia de varios índices de manera simultánea. No obstante, el uso de varios índices de sequía puede resultar confuso para una instancia decisoria en particular, que suele desconocer las características de cada indicador (Mizzell, 2008).

Un método alternativo al uso de varios índices de sequía es el uso de indicadores combinados o de múltiples variables que combinan los individuales (AghaKouchak, 2015; Azmi y otros, 2016; Bachmair y otros, 2015; Erhardt y Czado, en prensa; Farahmand y otros, 2015; Hao y AghaKouchak, 2013; Hao y Singh, 2015; Reddy y Singh, 2013; Waseem y otros, 2015; Zhang y otros, 2017). El argumento que respalda el uso de índices mixtos es que un único índice no puede captar la diversidad y la complejidad de las condiciones de las sequías a través de las distintas dimensiones temporales y espaciales que revisten importancia para los distintos sectores afectados por las sequías (Hao y AghaKouchak, 2013). Además, la combinación de varios indicadores puede mejorar la posibilidad que tienen los usuarios de los sistemas de interpretarlos, dado que la diversidad de la información que brindan posibles indicadores contradictorios se canaliza y se simplifica a través de una única respuesta. Por otra parte, todo método de combinación supone la elección subjetiva de indicadores, pesos y umbrales para describir las distintas clases de intensidad que podrían hacer que la interpretación sea menos intuitiva o pertinente

(Bachmair y otros, 2016). Si se utilizan índices mixtos, los niveles utilizados para definir las sequías deben ser estadísticamente uniformes para todos los índices que contribuyen a dicho índice mixto. Si bien los distintos indicadores reflejarían naturalmente los distintos niveles que se observan durante una sequía, la falta de uniformidad surge del nivel que define un episodio de sequía (Steinemann, 2014). Un “método habitual” útil para la comparación y la combinación de diversos índices consiste en utilizar los cuantiles de la distribución de cada índice para un lugar y momento dados.

Se deberá evaluar y comprender de manera minuciosa las ventajas y desventajas de cada índice de sequía propuesto, e informar sobre ello con claridad a los posibles usuarios. Lamentablemente, continúa habiendo poco consenso en torno a cuáles índices son más significativos para medir los efectos de las sequías en la sociedad y el medioambiente (Bachmair y otros, 2016). *Una posible actividad inicial del Sistema de Información sobre Sequías para América del Sur es propiciar el consenso en torno a un conjunto mínimo de indicadores e índices de sequía que compartan todos los países participantes.* A través de un conjunto consensuado de indicadores junto con protocolos comunes e incluso herramientas comunes para el cálculo y la presentación de informes, los productos de distintos países podrían combinarse sin problemas en un mapa regional.

#### 4.2 Predicciones, proyecciones y pronósticos de sequías

Un importante componente de todo Sistema de Información sobre Sequías es la elaboración y la difusión de pronósticos y proyecciones útiles y fiables sobre las sequías, así como la adopción de herramientas y modelos de predicción que los sustenten. El problema de la predicción de las sequías esencialmente se reduce al pronóstico de variables meteorológicas fundamentales, como la precipitación y la temperatura (Hao y otros, 2017). En las últimas décadas, las inversiones nacionales e internacionales en observación, investigación y modelización climáticas han generado importantes avances en la predicción experimental y práctica del clima, así como mejoras considerables de los conocimientos científicos sobre la variabilidad del clima y el cambio climático. Estos avances aportan una sólida base científica que permite generar productos de predicción del clima (Organización Meteorológica Mundial, 2016). Específicamente, se han logrado importantes avances con los distintos métodos de predicción de las sequías desde el punto de vista estadístico y dinámico (Mishra y Singh, 2011; Mishra y otros, 2015; Quan y otros, 2012; Schubert y otros, 2007). Dado que los enfoques estadísticos y dinámicos tienen ventajas y limitaciones específicas, la integración de ambos métodos (es decir, un método estadístico-dinámico híbrido) puede generar mejores pronósticos de sequías (Hao y otros, 2017). Otro enfoque respecto de la predicción de sequías supone el uso de técnicas de aprendizaje automático, como las redes neuronales artificiales (RNA) y la regresión de vectores soporte (SVR) (Belayneh y Adamowski, 2012; Belayneh y otros, 2014; Belayneh y otros, 2016; Deo y otros, 2017; Deo y Şahin, 2015; Mishra y Desai, 2006; Rhee e Im, 2017).

El Sistema de Información sobre Sequías tiene por objeto detectar el inicio de una sequía o la probabilidad de que sobrevenga, y su posible gravedad. Un sistema de alerta temprana de sequías puede reducir la vulnerabilidad ante este peligro natural, ya que proporciona a los usuarios, como los organismos de socorro, las autoridades nacionales o intereses privados, el tiempo máximo posible de previsión que permita poner en marcha estrategias de mitigación (Pozzi y otros, 2013). Un componente necesario del Sistema de Información sobre Sequías es el componente de predicción con tiempos de previsión mensuales y estacionales (y también posiblemente interanuales y decenales) y resoluciones espaciales de algunas decenas de kilómetros, como mínimo. *De todos modos, un sistema de alerta temprana de sequías es más que una predicción: también constituye un sistema vinculado*

*de información y comunicación de riesgos que fundamenta las medidas de preparación y respuesta ante las sequías.*

#### 4.2.1 Capacidades de predicción climática y de sequías en América del Sur

Conforme a lo indicado en los informes presentados durante el taller de Buenos Aires, la mayoría de los países de América del Sur generan pronósticos o predicciones de la temperatura y la precipitación en escalas que varían de un mes a tres meses. Estas predicciones suelen generarse mediante métodos estadísticos; la herramienta usada con mayor frecuencia es el programa informático de la herramienta de predicción del clima (CPT) que desarrolló la Universidad de Columbia (Mason y Tippet, 2017). En otros casos, se obtienen resultados a partir de modelos dinámicos de centros internacionales de modelización del clima y se utilizan para elaborar predicciones nacionales o regionales. Aparentemente, el producto del modelo archivado que la OMM facilitó se utiliza poco y debería estudiarse este recurso en mayor profundidad. En general, los países sudamericanos no realizan predicciones específicas de los indicadores de sequía, aunque existen algunas excepciones dignas de mencionar: la FUNCEME del Brasil emite predicciones del SPI y el índice normalizado de precipitación y evapotranspiración (SPEI), así como del índice normalizado de escorrentía y un índice basado en series de días secos.

Hay una amplia variedad de capacidades de predicción del clima y las sequías entre los países de América del Sur. Estas capacidades varían desde el CPTEC del Brasil, que genera predicciones climáticas de manera operacional y que fue designado por la OMM como uno de los Centros Mundiales de Producción de Predicciones a Largo Plazo hasta capacidades mínimas en la mayoría de los países. El Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA, [www.cima.fcen.uba.ar](http://www.cima.fcen.uba.ar)) de la Argentina se encuentra entre las pocas instituciones de la región que genera predicciones climáticas subestacionales (de 15 a 40 días). Para mejorar la capacidad regional de generar, utilizar y traducir las predicciones sobre el clima y las sequías, el Sistema de Información sobre Sequías para América del Sur debe crear asociaciones iniciales con organismos climáticos regionales e internacionales (por ejemplo, los Centros Mundiales de Producción de la OMM) e instituciones científicas sectoriales que se ocupan de este tema. Un objetivo de estas asociaciones sería profundizar los conocimientos actuales sobre la forma en que los modos de variabilidad regional o mundial del clima pueden influir en las condiciones de sequía en todo el territorio de América del Sur, y si estos modos pueden servir como posibles fuentes de predictibilidad de las sequías. *Por este motivo, durante el taller de Buenos Aires se consideró que la mejora de la capacidad humana para la predicción del clima y las sequías constituía una deficiencia o necesidad de envergadura. Una necesidad específica de investigación que se mencionó fue la mejora de las predicciones subestacionales del clima y las sequías.*

#### 4.2.2 Umbrales y “elementos desencadenantes” de las sequías

El principal objetivo de un sistema de alerta temprana de sequías es facilitar el inicio de distintos tipos de respuesta a las sequías. Sin embargo, la emisión de alertas tempranas está supeditada a la existencia de definiciones jurídicas u operacionales sobre el inicio de una sequía y su gravedad. La definición “jurídica” de una sequía es una declaración explícita en una norma a través de la cual se establece cuándo el Estado considera que se inicia dicho episodio y se vincula a una respuesta pública (Núñez y otros, 2014). En la mayoría de los países, los umbrales para declarar una sequía (cuando existen) son arbitrarios (es decir, no están vinculados a efectos específicos previstos en lugares o sectores económicos fundamentales). Esta arbitrariedad suele ser el resultado de una confusión en torno al concepto por parte de los que formulan las definiciones. Por otro lado, se presta poca atención a la forma en que eventualmente los encargados de la gestión de recursos o de

desastres deberán aplicar la definición en situaciones reales de sequía (por ejemplo, la evaluación de las repercusiones en distintos sectores económicos, una declaración o revocación de una situación de sequía para determinar si se reúnen los requisitos para un programa de ayuda en caso de sequías). Es de fundamental importancia para este trabajo que haya coherencia entre las distintas definiciones de sequía, ya que la ambigüedad propia del concepto de sequía constituye uno de los principales obstáculos que afecta la elaboración de políticas en materia de sequías (Núñez y otros, 2014). *El Sistema de Información sobre Sequías regional debería estudiar y documentar los criterios utilizados en las distintas regiones de América del Sur para declarar el inicio de una sequía desde el punto de vista administrativo o jurídico.*

Un "elemento desencadenante" de una sequía es un valor umbral específico de un índice (o varios índices) que activa los distintos niveles de respuesta a la sequía (Botterill y Hayes, 2012). Los elementos desencadenantes se vinculan a la sincronización de las respuestas de los encargados de la gestión en un sector o actividad específicos y pueden utilizarse para responder a la siguiente pregunta: "¿Cuándo adoptamos medidas?" (Steinemann, 2014). La detección de los desencadenantes de sequías con tiempos de previsión adecuados es necesaria para formular planes de mitigación de sequía eficaces (Maity y otros, 2013). Si no se utilizan elementos desencadenantes, las respuestas a las sequías suelen demorarse o no llegan al público al que están dirigidos los planes de respuesta. Si se adoptan elementos desencadenantes en las decisiones de gestión o en las políticas en materia de sequías, deben ser uniformes de un episodio a otro y equitativos para las personas afectadas (Steinemann y otros, 2005). Un "buen" elemento desencadenante debe contar con la aceptación de las partes interesadas, ser integral e incluir un proceso transparente que involucre diversos conocimientos disciplinares especializados (Botterill y Hayes, 2012). Además, los elementos desencadenantes seleccionados deben i) ser de fácil comprensión para las instancias decisorias y el público, ii) tener una base científica y objetiva, y iii) ser susceptibles de evaluación en cuanto a su eficacia para relacionar la gravedad de la sequía con sus repercusiones.

En América del Sur es imperioso mejorar el proceso de determinación y análisis de indicadores y elementos desencadenantes diseñados de modo colaborativo en torno a prioridades de gestión y umbrales de sistemas específicos. Un ejemplo mencionado durante el taller de Buenos Aires fue el proyecto de protocolo interinstitucional de gestión de información ante la amenaza de sequías meteorológicas y agrícolas en el territorio argentino ([www.mincyt.gob.ar/adjuntos/archivos/000/043/0000043540.pdf](http://www.mincyt.gob.ar/adjuntos/archivos/000/043/0000043540.pdf)). Este protocolo, que fue coordinado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Argentina y que contó con los aportes de diversas instituciones del país, establece los elementos que activan las alertas "amarilla" y "roja" sobre la base de la combinación de distintos indicadores. Lamentablemente, en el protocolo publicado no se incluyeron los fundamentos para la elección de los valores que separan los distintos niveles de alerta.

El uso creciente de varios índices en la vigilancia de las sequías significa que los valores de los elementos desencadenantes elegidos para los distintos índices deben ser coherentes entre sí. Por ejemplo, una probabilidad de "sequía grave" es del 6,7 % para el índice normalizado de precipitación (SPI), del 14 % en promedio para el índice del abastecimiento de las aguas superficiales (SWSI) y del 10 % en promedio para el índice de severidad de sequía de Palmer (PDSI). Además, si se usan varios índices como parte de un elemento desencadenante, debe quedar claro cuándo se aduce o se revoca un nivel de sequía: ¿debería la declaración de sequía basarse en el valor de un índice, en una mayoría o en todos los indicadores?



Actualmente hay fuertes argumentos que favorecen ya sea los “elementos desencadenantes rigurosos” (es decir, umbrales numéricos definidos para los niveles de sequía y las medidas conexas) o bien “elementos desencadenantes subjetivos” (evaluaciones menos objetivas y más matizadas de las sequías). Los elementos desencadenantes rigurosos ofrecen una base cuantitativa y justificable para la adopción de decisiones, pero es posible que las cifras no reflejen la realidad de una sequía. Los episodios de sequías no suelen ser similares: algunos son prolongados pero menos intensos, mientras que otros son efímeros pero extremadamente graves. En consecuencia, un desencadenante que tuvo sentido durante un episodio puede no ser adecuado durante el siguiente (Finnessey y otros, 2016). Por otra parte, los elementos desencadenantes subjetivos ofrecen flexibilidad sin estar vinculados a cifras, pero podrían dificultar las explicaciones sobre las evaluaciones o declaraciones en torno a las sequías en entornos políticos controvertidos donde se registran intereses en conflicto (Steinemann, 2014). *Los planes sobre las sequías para América del Sur deben equilibrar las ventajas y las desventajas de ambos métodos.*

#### 4.3 Investigaciones interdisciplinarias: evaluación de riesgos y efectos de las sequías

La evaluación del riesgo de sequía sirve de fundamento para los planes de preparación y mitigación, y ayuda a definir algunas medidas *ex ante* y *ex post* específicas (Hayes y otros, 2004). El riesgo de sequía es la probabilidad de que se produzcan consecuencias perjudiciales o la probabilidad de pérdidas como consecuencia de las interacciones entre los siguientes aspectos: i) el peligro de sequía (es decir, un posible episodio futuro de sequía), ii) la exposición a las sequías (es decir, la población total, sus medios de subsistencia y activos en una zona donde podría producirse una sequía), y iii) la vulnerabilidad a las sequías (es decir, la propensión de los elementos expuestos a sufrir efectos adversos como consecuencia de una sequía) (Bernal y otros, 2017; Cardona y otros, 2012; Hayes y otros, 2004). Varios autores han advertido que se despliegan más esfuerzos para estudiar y cuantificar las sequías como un peligro natural que para brindar un marco coherente y equitativo de gestión del riesgo de sequía para diversas regiones, grupos de población y sectores económicos (Carrão y otros, 2016a; Pulwarty y Sivakumar, 2014). Carrão y otros (2016a) ofrecen asesoramiento práctico útil sobre los modelos y los recursos disponibles destinados a caracterizar los patrones de riesgo de sequías. Bernal y otros (2017) presentan un enfoque integral que procura asimilar el peligro, la exposición y la vulnerabilidad en estimaciones cuantitativas del riesgo de sequías (por ejemplo, la probabilidad de superar un umbral de pérdida determinado en los sistemas agrícolas).

**Análisis de peligros.** Este componente (el primer paso de una evaluación de riesgos de sequía) supone conocer la frecuencia, la intensidad, la duración y la extensión espacial de las sequías, y también si estos factores cambian con el paso del tiempo (Finnessey y otros, 2016; Hayes y otros, 2004). El análisis de peligros debe realizarse como parte del componente planificado de vigilancia y observaciones del Sistema de Información sobre Sequías. El análisis de peligros más sencillo entrañaría análisis de las series temporales de los indicadores e índices de sequía en todos los registros disponibles de los distintos lugares de la región en cuestión. Es posible que los análisis incluyan no solo mediciones *in situ*, sino también observaciones satelitales.

Posteriormente, los análisis de peligros pueden incluir otros componentes según lo sugieren Finnessey y otros (2016), a saber: i) la estimación del período de retorno de las sequías de distinta intensidad, duración y extensión espacial; ii) la búsqueda de patrones uniformes en las características temporales y espaciales de las sequías (estacionalidad del inicio de las sequías, huella espacial distintiva); iii) la evaluación de las tendencias temporales de las

sequías, que es importante porque los planificadores pueden basar las medidas que adoptan en episodios de sequías más frecuentes y menos graves, en sequías extremas o la peor sequía registrada en su respectiva región; iv) la determinación de modos de variabilidad climática (por ejemplo, la fase de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS)) asociada a un mayor o menor riesgo de sequía, y v) la determinación de la "peor sequía registrada" que representa el escenario pesimista durante el período de registros instrumentales. La presencia de tendencias temporales reviste especial importancia para la planificación respecto de las sequías, ya que los planificadores pueden basar sus medidas en las sequías más frecuentes y menos graves, en las sequías extremas o en la peor sequía registrada en su respectiva región.

Una limitación de los análisis de peligros basados en observaciones históricas es que este registro representa solo una verificación del proceso meteorológico. Pueden generarse varios episodios meteorológicos que tengan las mismas probabilidades de ocurrir mediante generadores meteorológicos estocásticos que simulan datos con propiedades estadísticas similares a las de los registros históricos (Wilby y otros, 1998). Por lo tanto, un análisis de peligros que utiliza modelos probabilísticos de peligros no se limita al período de registros instrumentales y puede incluir condiciones extremas que pueden surgir en el futuro en la región objeto de análisis (Bernal y otros, 2017). Asimismo, pueden generarse series sintéticas en una retícula espacial densa (que acate la estructura espacial y temporal inherente de los datos reales) necesaria para el ingreso de datos mediante modelos de procesos (por ejemplo, un modelo hidrológico). La serie simulada también puede supeditarse a escenarios climáticos hipotéticos (es decir, reflejarlos), por ejemplo, una posible tendencia plurianual en la precipitación o las condiciones de sequedad asociadas a una predicción estacional (Bernal y otros, 2017; Podestá y otros, 2009; Verdin y otros, 2018).

**Análisis de la exposición.** Para evaluar las posibles repercusiones del peligro de sequía, el primer paso es realizar un inventario y analizar la *exposición* de un sistema a este tipo de fenómeno. El análisis de la exposición define los distintos tipos de entidades que pueden sufrir daños como consecuencia del efecto de una sequía, entre ellos, los activos tangibles, la infraestructura, la tierra y las personas, entre otros. Por ejemplo, una región agrícola cuya superficie total está cubierta de cultivos de secano está completamente expuesta a las sequías, independientemente de la presencia de otros elementos en riesgo. En una región, como la de América del Sur, donde la producción agrícola y ganadera tiene una enorme importancia económica, social y medioambiental, los indicadores de exposición a las sequías pueden obtenerse a partir de mapas que indiquen las superficies cultivadas, la cantidad de cabezas de ganado, los costos de producción por actividad agrícola y la densidad demográfica, entre otros aspectos (Bernal y otros, 2017; Carrão y otros, 2016a). Asimismo, deben caracterizarse los activos de otros sectores importantes sensibles a las sequías (por ejemplo, la generación hidroeléctrica en el Brasil) que pueden sufrir daños como consecuencia de una sequía.

**Análisis de la vulnerabilidad.** El objetivo de una evaluación de la vulnerabilidad a las sequías es determinar cuáles son las personas y los bienes que corren peligro y por qué (Organización Meteorológica Mundial (OMM) y Asociación Mundial para el Agua, 2014). Es decir, los análisis de la vulnerabilidad deberían reflejar las personas y los sectores que pueden verse más afectados por una sequía, la razón por la que se producen estos efectos y si estas relaciones cambian con el paso del tiempo.

Al igual que lo que ocurre con el término "sequía", no hay un consenso entre los investigadores sobre la definición de vulnerabilidad (Núñez y otros, 2017). En el contexto de una sequía, la vulnerabilidad hace referencia a la capacidad de una persona, un grupo o una



sociedad de anticipar y afrontar los efectos de una sequía, resistirse a ellos y recuperarse de ellos (Wilhite, 2016). Otra definición de vulnerabilidad a las sequías que tiene cada vez más aceptación es la siguiente: “las características y circunstancias de una comunidad, sistema o activo que hace que sea susceptible a efectos perjudiciales como consecuencia de este peligro”. A pesar de su importancia, la cuantificación de la vulnerabilidad a las sequías puede resultar bastante difícil debido a la complejidad del sistema que se analiza y al hecho de que la vulnerabilidad no es un fenómeno directamente observable (Ren y otros, 2012).

Los análisis de causalidad de la vulnerabilidad a las sequías se centran en las causas básicas de la vulnerabilidad a las sequías, como la insuficiencia de estructuras, el marco de gestión y la tecnología o los factores sociales, medioambientales y económicos, en lugar de centrarse en los resultados, es decir, las repercusiones negativas. Naumann y otros (2014) proporcionan un ejemplo de este enfoque en África, por ejemplo, un efecto directo de la falta de precipitación puede ser una reducción en el rendimiento de los cultivos. No obstante, la causa básica o subyacente de esta vulnerabilidad puede ser la falta de uso por parte de los agricultores de prácticas de gestión del riesgo agronómico (por ejemplo, genotipos resistentes a las sequías) o financiero (por ejemplo, seguros) debido a inquietudes relativas a su eficacia o el alto costo, la falta de conocimientos sobre estas prácticas o las creencias culturales (Naumann y otros, 2014). El análisis de causalidad permite realizar un trazado, a partir de cada uno de los efectos, de los diversos factores medioambientales, sociales y económicos subyacentes que contribuyen a los efectos resultantes. En un proceso de este tipo, los fenómenos climáticos se encuentran entre los diversos factores que acentúan las consecuencias negativas de una sequía, pero también deben considerarse los desencadenantes humanos, como la captación de agua superficial o subterránea, la urbanización y la deforestación. Es decir, en las investigaciones sobre las sequías ya no debería considerarse que la disponibilidad de agua es un fenómeno exclusivamente natural e impuesto por el clima y que el uso del agua es un fenómeno puramente socioeconómico. En cambio, deberían analizarse atentamente las diversas interacciones entre estos dos aspectos (Van Loon y otros, 2016). Por último, los análisis deben tener en cuenta la evolución temporal de la vulnerabilidad a las sequías en relación con los cambios en la tecnología, el comportamiento de las poblaciones y los factores demográficos, las políticas y otros factores. Este objetivo puede alcanzarse mediante un examen de la forma en que los efectos que produce una sequía y los factores causales han cambiado en los últimos decenios, así como su proyección en el futuro (Hayes y otros, 2004).

Se suele estimar la vulnerabilidad a las sequías mediante la agregación de diversos factores de la vulnerabilidad pertinentes, ponderados de manera subjetiva. Estos factores deberían ser condiciones directamente observables o medibles de los elementos de los sistemas o de las características de las perturbaciones a las que está expuesto el sistema (Ren y otros, 2012). Por lo general, se han seleccionado indicadores que intentan reflejar las siguientes vulnerabilidades: i) la vulnerabilidad social, vinculada al nivel de bienestar de las personas, las comunidades y la sociedad; ii) la vulnerabilidad económica, muy dependiente de la situación económica de las personas, las comunidades y las naciones, y iii) la vulnerabilidad de la infraestructura, es decir, la infraestructura básica necesaria para brindar apoyo a la producción de bienes y la sostenibilidad de los medios de subsistencia. La situación ideal es que haya datos públicos disponibles para los indicadores propuestos de modo que los análisis de la vulnerabilidad puedan validarse, reproducirse y mejorarse a medida que haya más datos disponibles. Bakkensen y otros (2017) presentan un examen reciente de las limitaciones de los indicadores mixtos. En particular, las iniciativas tendientes a generar indicadores de vulnerabilidad a las sequías no han logrado alcanzar un consenso en cuanto

a las variables que pueden caracterizar este complejo concepto; otro aspecto polémico es la elección subjetiva de los pesos de las variables contribuyentes.

Ha habido pocos intentos por caracterizar la vulnerabilidad a las sequías en América del Sur. En una obra reciente, Núñez y otros (2017) procuraron evaluar la vulnerabilidad de la seguridad del abastecimiento de agua a las sequías entre los usuarios de agua de la cuenca del río Elqui, ubicada en el límite meridional del desierto de Atacama, en la región árida de la zona centroseptentrional de Chile. México definió el concepto de vulnerabilidad a las sequías en el marco de su Programa Nacional contra la Sequía (PRONACOSE) (Meza-González y Ibáñez-Hernández, 2016). Ortega-Gaucin y otros (2018) ejemplifican este enfoque para las cuencas del Alto Noroeste, una región muy árida que abarca 71 municipios en los estados de Sonora y Chihuahua. Se recopilaron valores de distintos indicadores que contribuyen a la vulnerabilidad a las sequías, se normalizaron y se fusionaron en un único índice de vulnerabilidad para cada municipio que posteriormente podría representarse en mapas.

#### 4.3.1 Evaluación de los efectos de las sequías

La evaluación de los efectos de las sequías es fundamental para determinar las actividades y los sectores sociales, económicos y medioambientales que son sensibles a las sequías en una región en particular. A pesar de su importancia, una perspectiva centrada en los efectos es la pieza faltante en la vigilancia de las sequías (Lackstrom y otros, 2013). Un efecto de las sequías es “una pérdida o alteración observable en un momento específico debida a la sequía”. Un tema que ha estado relativamente relegado no solo en América del Sur, sino también en todo el mundo es el vínculo entre los indicadores de sequía y los efectos (Bachmair y otros, 2016).

*Una tarea útil durante las primeras etapas de creación del Sistema de Información sobre Sequías para América del Sur es la compilación de una lista categorizada o priorizada de efectos de las sequías pertinentes para cada lugar o actividad.* Entre las preguntas que deben abordarse se incluyen las siguientes: a) ¿cuáles son las regiones y los sectores económicos y sociales más vulnerables a las sequías en un país o región?; b) históricamente, ¿cuáles han sido los impactos más destacados de las sequías en ese país?; c) históricamente, ¿cómo ha sido la respuesta del gobierno a las sequías?, y d) ¿qué tendencias actuales (por ejemplo, clima, uso de tierras, agua y energía, crecimiento de la población) podrían aumentar la vulnerabilidad a las sequías y los conflictos en el futuro? Para que la clasificación sea eficaz y equitativa, deberá tener en cuenta cuestiones como el costo de las medidas de mitigación, la zona o el grado de cada tipo de impacto, las tendencias a lo largo del tiempo, la opinión pública y la equidad.

En la evaluación del impacto se examinan las consecuencias de una sequía en particular. Los efectos de las sequías pueden clasificarse como económicos, medioambientales o sociales, aunque muchos podrían abarcar más de una categoría. Por ejemplo, la sequía suele asociarse a diversos resultados que se derivan de la escasez de agua, ya sea directa o indirectamente. Las evaluaciones del impacto de las sequías comienzan con la determinación de las *consecuencias directas* de la sequía, por ejemplo, una reducción en el rendimiento de los cultivos, pérdidas de ganado y la disminución en los niveles de los embalses. Estos resultados directos pueden vincularse posteriormente a *consecuencias secundarias* (que suelen ser efectos sociales), como la venta forzada de activos, la menor seguridad alimentaria, una reducción en la generación de energía, desplazamientos involuntarios, o estrés físico y emocional.

#### 4.3.2 Vinculación de los indicadores de sequía a los posibles efectos

La sociedad necesita conocer cuándo las condiciones de una sequía (expresadas mediante algún indicador) se traducen en efectos y dónde. La traducción de la vigilancia de las sequías y las alertas tempranas en posibles efectos es primordial para que las medidas de preparación y mitigación sean eficaces. La presentación de la probabilidad de un efecto específico como consecuencia de condiciones de sequía previstas puede ser mucho más pertinente y útil para los encargados de la gestión de recursos y las instancias normativas que la mera indicación de los valores de los índices de sequía. Es fundamental saber cuándo y dónde las condiciones de una sequía (expresadas mediante algún indicador, como el déficit de precipitación, o bajos niveles de los flujos fluviales o del agua subterránea) se traducirán en efectos para la sociedad, la economía y los ecosistemas. Por ejemplo, si el componente de vigilancia del sistema advierte que, en varios lugares de las pampas argentinas, el índice normalizado de precipitación (SPI) para un período de tres meses registra valores  $< -1$  durante los meses de agosto, septiembre y octubre de un año dado, ¿cuáles son las posibles repercusiones en los rendimientos de los principales cultivos estivales de esa región? ¿Qué ocurriría si los pronósticos del SPI prevén que las condiciones de sequía terminarán después de octubre? ¿Se revertirían los efectos previstos? Como queda claro con este ejemplo, comprender y cuantificar los vínculos entre los índices de sequía y los efectos sectoriales es un paso de suma importancia para evaluar la resiliencia de los sistemas afectados a las condiciones de sequía y generar medidas de mitigación adecuadas. Este conocimiento puede ayudar a definir el momento en que se inician los distintos niveles de aviso de sequías y el momento en que se ponen en marcha las medidas de mitigación (Steinemann, 2014; Steinemann y otros, 2005). *En consecuencia, es imperioso que se investiguen los vínculos entre las sequías meteorológicas y los efectos de las sequías en los distintos sectores de la sociedad.*

Una importante limitación de la mayoría de los índices de sequía actuales es que solo describen anomalías generales de las condiciones meteorológicas o hidrológicas. Con frecuencia, no hay un gran consenso en torno al indicador que representa mejor la probabilidad de efectos considerables de una sequía para un sector determinado. No obstante, los umbrales se aplican de manera generalizada a los índices de sequía, pero hasta la fecha se dispone de pocos datos empíricos sobre qué umbrales se vinculan a claras repercusiones en la sociedad, la economía y los ecosistemas. El principal obstáculo al evaluar los indicadores de sequía habituales es la escasez de información sobre los efectos de las sequías (Bachmair y otros, 2015; Lackstrom y otros, 2013). La definición de los elementos desencadenantes de las alertas tempranas guarda una estrecha relación con el estudio de los vínculos entre los indicadores de sequía y los posibles efectos en el sector afectado (véase la [sección 4.3.2](#)). Los valores de los índices que indican cuando la probabilidad de ciertos efectos es mucho mayor pueden usarse como factores desencadenantes en los planes de mitigación de las sequías (Finnessey y otros, 2016). *El Sistema de Información sobre Sequías para América del Sur debería fundamentar, guiar y facilitar los debates con un amplio abanico de partes interesadas pertinentes, en aras de definir los indicadores fundamentales y los elementos desencadenantes de decisiones operacionales y de planificación sobre las sequías.*

Un ejemplo de este tipo de investigación es la de Blauhut y otros (2015), en la que se utiliza un modelo de regresión logística para estimar la probabilidad regional de que se produzca un impacto como consecuencia de una sequía en función de un índice de sequía. Este modelo permite estimar la probabilidad de que ocurra un impacto como consecuencia de una sequía, el cual depende de un indicador de peligro de sequía (en este ejemplo, el SPEI para un período de 12 meses). Gracias a este modelo probabilístico, el acaecimiento de los

efectos de la sequía no se predice como “impacto” o “sin impacto”, sino que se estima la probabilidad de que ocurra un impacto como consecuencia de una sequía. Posteriormente, Stagge y otros (2015) ampliaron este modelo y utilizaron enfoques estadísticos más flexibles (modelos aditivos generalizados, GAM) para estudiar la forma de explicar el acaecimiento de un impacto como consecuencia de una sequía mediante índices meteorológicos de sequía y analizaron cuáles de estos índices eran pertinentes para distintos tipos de efectos y regiones. Madadgar y otros (2017) vincularon los índices de sequía a datos del rendimiento de los cultivos a fin de suministrar una distribución conjunta en forma de un espacio de probabilidad bidimensional. Posteriormente, esta distribución conjunta (obtenida mediante un modelo de cópula bivariada) se utilizó para estimar la distribución de los rendimientos de los cultivos para cualquier conjunto dado de condiciones medioambientales (por ejemplo, distintos percentiles de precipitación o humedad del suelo). Bachmair y otros (2017) recientemente comprobaron la posibilidad de desarrollar “funciones del efecto de las sequías” mediante el uso de indicadores de sequía como predictores, así como informes basados en textos sobre los efectos de la sequía como variable sustituta para el daño causado por las sequías. Determinaron que los informes basados en textos proporcionan información útil para la gestión del riesgo de sequías y demostraron distintos enfoques metodológicos basados en datos para desarrollar las funciones del efecto de las sequías. *Una tarea fundamental que debe cumplir el Sistema de Información sobre Sequías para América del Sur es determinar los vínculos o las asociaciones entre los valores de los distintos índices e indicadores de sequía, y sus escalas temporales cuando corresponda, y el acaecimiento de efectos específicos en sectores sensibles a las sequías.*

#### 4.3.3 Creación de un archivo regional de los efectos y los costos de las sequías

Es probable que el establecimiento de vínculos entre los índices de sequía y sus efectos ayude de manera considerable a la difusión de los riesgos de las sequías y el apoyo a la adopción de decisiones. Sin embargo, una limitación importante que se observa en estos análisis es la dificultad para obtener información fiable sobre los efectos de las sequías. Incluso en regiones donde abundan los datos, como Europa, la falta de datos suficientes suele obstaculizar la definición de modelos sólidos que vinculen los indicadores de sequía y sus efectos (Blauhut y otros, 2015).

*Una función deseable del Sistema de Información sobre Sequías para América del Sur previsto debería ser la recopilación de información sobre los efectos y los costos de las sequías procedente de todos los sectores y grupos importantes afectados por este fenómeno.* Dicho Sistema debe compilar un archivo regional bien conservado de información cuantitativa y cualitativa sobre los efectos históricos y recientes de las sequías. Deberían aprovecharse plenamente los avances en la tecnología de las comunicaciones para facilitar la extracción de información sobre los efectos y los costos de las sequías a partir de diversas fuentes. Por ejemplo, deben realizarse búsquedas periódicas en los archivos electrónicos de los periódicos, los sitios web y las publicaciones en las redes sociales (“scraping”) para detectar informes de sequías y sus efectos.

Algunos ejemplos de los tipos de efectos de las sequías que deberían registrarse para América del Sur incluyen los siguientes: i) la reducción de la productividad de los cultivos perennes o anuales; ii) enfermedades o infestaciones causadas por plagas como consecuencia de las sequías, etc.; iii) la escasez regional de pienso/agua para el ganado; iv) la escasez en el abastecimiento de agua municipal y perturbaciones en la extracción del agua; v) la reducción de la generación de energía hidroeléctrica, y vi) trastornos en la navegabilidad de los cursos y vías de agua (reducción de cargas, aumento de la necesidad de almacenamiento temporal de los bienes en los puertos). Lo ideal es que el archivo regional incluya también estimaciones de los costos asociados a las sequías en toda la

región. Desafortunadamente, la naturaleza de las sequías que depende de cada lugar y momento suele dar lugar a diversos métodos divergentes para evaluar de manera integral y exacta los efectos y costos de las sequías. Las estimaciones de los costos deben incluir tanto los efectos directos de las sequías (por ejemplo, la reducción de la productividad de los cultivos) como los indirectos (por ejemplo, el aumento de la inseguridad alimentaria y la pobreza). En definitiva, cualquier enfoque propuesto debería posibilitar las comparaciones de los costos y los efectos de las sequías entre distintos lugares y a lo largo del tiempo (Organización Meteorológica Mundial (OMM) y Asociación Mundial para el Agua, 2017). No obstante, como ocurre con otros desastres naturales, las tendencias temporales en materia de frecuencia o costo de los efectos de las sequías deben interpretarse con precaución, ya que el aumento en las tendencias puede ser el resultado del mayor número de informes presentados en años recientes, por ejemplo, debido al aumento de la población o la mejora en las comunicaciones. Por otra parte, una disminución en las tendencias de los efectos informados puede estar vinculada a las mejoras en la tecnología; por ejemplo, al analizar el desempeño del índice de estrés hídrico de los cultivos, los investigadores tuvieron que tener en cuenta las mejoras en la tecnología ecológica (como el desarrollo de cultivos resistentes a las sequías, cambios en las prácticas agrícolas) y su repercusión en el rendimiento de los cultivos con el correr del tiempo (Heim y otros, 2003).

Una plantilla útil para realizar una recopilación normalizada y categorizada de los informes sobre los efectos de las sequías es el *European Drought Impact Report Inventory* (Inventario de Informes sobre los Efectos de las Sequías de Europa, EDII) ([www.geo.uio.no/edc/droughtdb/](http://www.geo.uio.no/edc/droughtdb/)). El objetivo del EDII es compilar los conocimientos sobre los efectos de sequías históricas y recientes a partir de distintas fuentes de información para facilitar las investigaciones interdisciplinarias sobre las sequías (Stahl y otros, 2016). En los Estados Unidos, el Centro Nacional de Mitigación de la Sequía (NDMC) administra la herramienta *Drought Impact Reporter* (DIR, [droughtreporter.unl.edu](http://droughtreporter.unl.edu)), que permite que los usuarios ingresen datos y describan un impacto que estén sufriendo. También suministra información resumida de fuentes de noticias sobre las sequías en los Estados Unidos (Brewer y Heim, 2011). Un ejemplo valioso para América del Sur es el archivo DesInventar (<https://online.desinventar.org/>) que se inició en la década de 1990 para brindar datos reunidos de manera sistemática para estudios sobre los riesgos de los desastres y la vulnerabilidad ante ellos en América Latina (Aguilar Muñoz y otros, 2017). Lamentablemente, los datos de DesInventar no abarcan al Brasil.

El archivo regional propuesto de efectos de las sequías permitirá conocer las similitudes y las diferencias de las características y los efectos de las sequías en todo el territorio de América del Sur. A su vez, esos conocimientos pueden ayudar a definir posibles medidas comunes para toda la región y la necesidad de tener soluciones adecuadas a las situaciones o circunstancias específicas. La recopilación de conjuntos de datos comunes mínimos debería facilitar la comparación de la vulnerabilidad a las sequías entre países y sectores (Sivakumar y otros, 2014). El archivo facilitará la definición de los sectores, las áreas y los grupos demográficos que son más sensibles a las sequías, un componente importante de la evaluación de los riesgos de estos fenómenos (véase la [sección 4.3.1](#)). La información recabada también ayudará a que los científicos y los encargados de la gestión de los recursos detecten y modelen asociaciones entre valores o umbrales de distintos índices e indicadores de sequía y el acaecimiento de efectos específicos (Blauhut y otros, 2015; Stagge y otros, 2015). Por último, un archivo regional bien conservado de información sobre los efectos y los costos de las sequías ayudará a que las instancias normativas muestren el nivel en que las inversiones en medidas de mitigación son redituables a más



largo plazo a través de la reducción de la vulnerabilidad, medida mediante la reducción de los impactos y los gastos del gobierno destinados a la asistencia en casos de sequía.

#### 4.4 Fundamentación de la preparación, la mitigación y la respuesta

El principio general de las políticas relativas a las sequías es la atención que se presta a la gestión de riesgos a través de la aplicación de medidas de preparación y mitigación (Wilhite, 2016). En este contexto, la *mitigación* hace referencia a medidas proactivas que se definen y se instrumentan a fin de fortalecer la resiliencia de las personas, las poblaciones, las comunidades o las naciones y, por lo tanto, pueden reducir los efectos negativos de las sequías. Los países no pueden protegerse por completo de las sequías, ya que se trata de un fenómeno natural. No obstante, las sociedades pueden adoptar medidas destinadas a velar por que las sequías no socaven el crecimiento económico y los avances en materia de desarrollo conseguidos a costa de grandes esfuerzos.

Una vez i) priorizados los efectos de las sequías y ii) detectadas las causas fundamentales correspondientes de vulnerabilidad, el siguiente paso lógico sería determinar los tipos y la secuencia de las medidas que son adecuadas para reducir los riesgos de las sequías. En otras palabras, el proceso de planificación debería centrarse en la determinación de las medidas de mitigación viables que puedan adoptarse con antelación o durante las primeras fases de las sequías. No obstante, esta etapa debería constituir un proceso, y no una medida puntual: a medida que se evalúan los resultados de las medidas iniciales adoptadas, se profundizan los conocimientos, lo que, a su vez, propicia la adopción de mejores o nuevas medidas. Este ciclo de aprendizaje y acción continúa y se traduce en un fortalecimiento progresivo de la resiliencia a las sequías.

Los planes de reducción de los riesgos de las sequías deberían basarse en una profunda comprensión de la puntualidad y el carácter de las decisiones, así como de las instancias que las adoptan (y cómo) en sectores y lugares específicos. Este enfoque establece el cronograma previsto de una crisis provocada por sequías mediante el trazado de la secuencia y los plazos de las decisiones, junto con las estrategias en materia de respuesta y de medios de subsistencia que las personas generalmente adoptan, así como las distintas opciones disponibles en función de las condiciones climáticas actuales y pronosticadas. Si se comprenden las necesidades relativas a las decisiones, los contextos y los protocolos vigentes, debería ser posible determinar si las intervenciones elegidas son adecuadas y si pueden ponerse en práctica a tiempo. La siguiente serie de preguntas puede resultar valiosa para determinar las posibles medidas de mitigación:

- ¿Puede mitigarse la causa fundamental de un efecto concreto derivado de una sequía (es decir, es posible modificar esta causa antes de que se produzca una sequía)? En caso afirmativo, ¿de qué manera?
- ¿Pueden modificarse las causas básicas de un efecto durante una sequía o después de la sequía? En caso afirmativo, ¿de qué manera?
- ¿Existe una causa básica, o un aspecto de esta, que *no pueda* modificarse y que, por lo tanto, deba aceptarse como un riesgo relacionado con las sequías para esta actividad o área?

De acuerdo con los informes presentados durante el taller de Buenos Aires, las medidas de planificación y otras medidas específicas destinadas a mitigar los riesgos de las sequías son relativamente poco comunes en toda la región de América del Sur. Una excepción constituyó la disponibilidad de instrumentos de seguros agrícolas informados en el Brasil, el Uruguay y Venezuela. En general, la mayoría de los planes de contingencia o las medidas de mitigación actuales en la región están comprendidos ya sea en el ámbito de las políticas

públicas generales (por ejemplo, la diversificación de las fuentes de energía para reducir la vulnerabilidad del sector hidroeléctrico del Uruguay) o bien en la gestión de crisis o las respuestas de emergencia a corto plazo, en vez de la gestión de riesgos o las medidas de mitigación a largo plazo. Las respuestas de emergencia constituyen un componente importante de la planificación en casos de sequía, pero solo debería ser una parte de una estrategia de mitigación más integral y proactiva. En el taller de Buenos Aires también se destacó que algunos países de la región cuentan con protocolos de emergencia adecuados, pero suelen aplicarse a los desastres naturales en general, y no específicamente a las sequías. Por ejemplo, Chile que es propenso a los terremotos dispone de una sólida Oficina Nacional de Emergencia, pero no se centra específicamente en las sequías. Por último, varios participantes del taller hicieron hincapié en la doble necesidad de contar con i) un conjunto bien definido de normas y el empoderamiento de los organismos principales encargados de dar respuesta a las sequías, y ii) la voluntad política y un sólido liderazgo para iniciar y orientar la elaboración y la aplicación de planes oficiales de gestión de riesgos de las sequías.

Durante el taller de Buenos Aires, se dedicó una sesión al análisis del diseño de las actividades de preparación y mitigación de las sequías. Uno de los siete grupos de trabajo confeccionó una lista muy detallada de las posibles actividades de preparación para diversos sectores sensibles a las sequías. Esta lista figura en el cuadro 1 para dos importantes sectores de la región (la agricultura y la generación de energía hidroeléctrica) como un excelente ejemplo de los tipos de medidas preparatorias que este componente del Sistema de Información sobre Sequías planificado debería determinar. Las posibles medidas encaminadas a fortalecer la resiliencia de los sistemas a las sequías (la mejora de la calidad del suelo, la eficiencia del riego y las políticas sobre el agua) y la preparación en casos de sequía deberían analizarse como parte de todos los textos educativos y de divulgación elaborados por dicho Sistema.

#### 4.5 Sensibilización, divulgación y educación

*Los sistemas de información sobre las sequías deben centrarse en las personas, los lugares y los sectores.* Ello implica que la información elaborada debe ser significativa para las personas y las actividades que corren riesgos, lo que propiciará una adopción de decisiones mejor fundamentadas y más oportunas. Por lo tanto, este componente del Sistema de Información sobre Sequías tiene dos objetivos principales. El primero es subsanar las conocidas deficiencias entre los datos científicos y la adopción de políticas y decisiones (McNie, 2007) y fomentar un diálogo fructífero entre los productores y los usuarios de la información y los conocimientos sobre los riesgos de las sequías. El segundo objetivo es crear y poner en marcha un programa amplio de sensibilización y educación que dote a los responsables de la toma de decisiones de los sectores sensibles a las sequías de las competencias y los recursos necesarios que los ayuden a prepararse mejor y a dar mejores respuestas a estos fenómenos.



En relación con el primer objetivo, a los expertos en sequías se les pide cada vez más que asuman nuevas funciones y responsabilidades en la elaboración conjunta de conocimientos con los usuarios para reforzar la adopción y el uso práctico de los datos científicos. Desafortunadamente, la mayoría de los científicos suelen realizar diversos supuestos sobre lo que ellos consideran que los usuarios necesitan, sin comprender totalmente las necesidades, las limitaciones, los factores contextuales o las presiones que afrontan las instancias decisorias. Asimismo, los científicos y los usuarios con frecuencia tienen ideas muy diferentes de lo que constituye información utilizable o pertinente (Lemos, 2015; Porter y Dessai, 2017; Stalker Prokopy y otros, 2017). Por otra parte, las instancias normativas y decisorias de los sectores sensibles a las sequías suelen contar con un entendimiento relativamente restringido de las capacidades y las limitaciones científicas actuales necesarias para hacer frente a los riesgos relacionados con este peligro. Es posible que los usuarios de la información sobre las sequías ignoren la información nueva porque no

*Cuadro 1. Ejemplos de medidas de planificación y preparación que podrían adoptarse con antelación a episodios de sequías para mitigar los efectos negativos de este fenómeno. Las posibles medidas se especifican para dos de los principales sectores sensibles a las sequías (la agricultura y la energía hidroeléctrica) en la zona meridional de América del Sur.*

<b>Producción agrícola</b>
Perforar nuevos pozos de riego. Mejorar la captación del excedente de agua a través de reservorios en las explotaciones agrícolas u otros medios. Aumentar la eficiencia de los sistemas de riego. Impulsar políticas que fomenten un uso eficiente del agua. Crear programas de seguros. Modificar la asignación de tierras (por ejemplo, utilizar cultivos más resistentes a las sequías). Almacenar piensos. Controlar las tasas de densidad del ganado (número de animales por superficie).
<b>Generación de energía hidroeléctrica</b>
Supervisar el estado de los reservorios y la batimetría. Aumentar el porcentaje de energías renovables (solar y eólica). Examinar los procedimientos operacionales en las plantas hidroeléctricas, en especial las de usos combinados. Poner en marcha campañas de divulgación para fomentar la reducción del consumo de energía. Alentar el uso de electrodomésticos más eficientes y nuevos (por ejemplo, aires acondicionados). Crear plantas de energía más pequeñas y autónomas para el abastecimiento energético en pueblos pequeños o zonas rurales.

se ajusta a las prácticas de trabajo vigentes, a pesar de su posible utilidad. Como resultado, ambas partes pueden resultar decepcionadas. Los usuarios se ven frustrados porque los científicos no los escuchan, mientras que los científicos se frustran porque los esfuerzos que despliegan para satisfacer las necesidades de los usuarios no son (en gran medida) valorados (Porter y Dessai, 2017). *En consecuencia, uno de los principales desafíos del proceso de ejecución del Sistema de Información sobre Sequías para América del Sur es ayudar a que las instituciones nacionales integren los aspectos científicos, normativos y decisorios de la gestión de las sequías. Este desafío solo puede superarse mediante interacciones permanentes con las partes interesadas y la evaluación frecuente de las necesidades y las capacidades, aprovechando todas las tecnologías y medios de comunicación disponibles. El Sistema de Información sobre Sequías para América del Sur debería fundamentar y facilitar ese diálogo.*

*Mejorar la educación, garantizar un acceso oportuno y equitativo a la información y fomentar la participación de los ciudadanos son los principales factores que determinan el fortalecimiento de la resiliencia a las sequías* (Aldunce y otros, 2016). Por ese motivo, el segundo objetivo de este componente del Sistema de Información sobre Sequías es crear y ejecutar un programa amplio que aumente la conciencia sobre la importancia de la preparación y la reducción de los riesgos en la gestión de las sequías. De acuerdo con las últimas investigaciones, si bien la gravedad de las sequías es el indicador más importante para predecir la sensibilización sobre estos fenómenos, las variables ideológicas y demográficas también constituyen factores que deben tenerse en cuenta (Switzer y Vedlitz, 2017). Asimismo, el programa de sensibilización también debería ayudar a velar por que las personas sepan cómo gestionar las sequías cuando se producen y que las actividades de preparación conexas no se dejen de lado durante los años sin sequía. Además, en esta tarea deberían abordarse los requisitos fundamentales para lograr la aceptación del público y la aplicación de una política proactiva sobre las sequías. La sensibilización sobre las sequías es, de hecho, un mejor indicador para predecir la preocupación por la escasez de agua y el apoyo a la política sobre el agua que la gravedad de las sequías, lo que demuestra que la comprensión de lo que determina la sensibilización sobre las sequías puede ser fundamental para generar apoyo a las políticas (Switzer y Vedlitz, 2017).

Los participantes del taller de Buenos Aires indicaron que los textos de divulgación o formación elaborados por el Sistema de Información sobre Sequías deberían adaptarse a las necesidades de los grupos y actividades específicos (por ejemplo, pequeñas empresas, industria, directores hídricos, productores agrícolas, educadores y operadores de servicios públicos). Asimismo, hicieron hincapié en que las actividades de comunicación de dicho Sistema deberían mantenerse a lo largo del tiempo (aunque podrían intensificarse antes de la sequía o durante el fenómeno) y aprovechar plenamente los diversos medios y formatos de difusión (incluidas las redes sociales). Por sobre todas las cosas, las iniciativas de divulgación deberían expresar mensajes claros y uniformes a las audiencias de los sectores sensibles a las sequías.

## 5 Conformación de un portal de información sobre sequías

La última función del Sistema de Información sobre Sequías para América del Sur que se analiza en el presente documento es la creación de un portal en el que se incluya la información pertinente más avanzada y de fuentes autorizadas sobre las sequías y sus efectos previstos. Esta información incluirá la mayoría de los puntos que se describen en las secciones anteriores, como la vigilancia de las sequías y los productos de predicción, la probabilidad de los efectos previstos y las causas fundamentales de los riesgos de las sequías en diferentes regiones y actividades. Esta información se actualizará periódicamente

en el portal del Sistema de Información sobre Sequías, desde el cual los Centros Regionales sobre el Clima o cualquier otra institución gubernamental, no gubernamental o del sector privado interesada podrán recuperarla y difundirla. A fin de fomentar el envío frecuente y continuo de comentarios sobre los materiales incluidos en el portal, se alentará a todas las instituciones y partes interesadas que accedan a la información para que participen en el Sistema en calidad de instituciones afiliadas.

La finalidad de la información provista en el portal es fundamentar el diseño y la aplicación de medidas de preparación y mitigación que limiten los efectos negativos de las sequías y brinden indicadores objetivos de la situación de escasez de agua en toda la región de América del Sur. Esta información podrá posteriormente dar lugar a la declaración jurídica de un episodio de sequía, la emisión de alertas tempranas o la puesta en marcha de respuestas planificadas en regiones y actividades específicas. No obstante, las instituciones y autoridades nacionales serán las únicas responsables de estas medidas. *Por lo tanto, cabe señalar que el Sistema de Información sobre Sequías propuesto respaldará (y no reemplazará) las actividades de las instituciones nacionales, provinciales o municipales de gestión de riesgos, defensa civil o preparación para casos de desastre.*

## 6 Estructura de gobernanza del Sistema de Información sobre Sequías para América del Sur

Un paso fundamental en la ejecución del Sistema de Información sobre Sequías para América del Sur es alcanzar un consenso sobre un conjunto de principios globales de gobernanza y posibles modelos institucionales. Para que dicho Sistema tenga resultados satisfactorios, se requiere de un sistema de instituciones, procedimientos operativos, políticas y un marco jurídico que orienten, gestionen, coordinen y supervisen la ejecución. Los principios de buena gobernanza (inclusión, transparencia, rendición de cuentas, eficiencia y capacidad de respuesta) deben orientar el proceso de ejecución del Sistema de Información sobre Sequías. Los principales requisitos incluyen los siguientes: i) claridad y acuerdo sobre la división de funciones y responsabilidades entre todas las partes interesadas; ii) legitimidad o mandato político/institucional, y iii) recursos suficientes. Además, para que funcione con eficacia, en la estructura de gobernanza del Sistema deben reconocerse las funciones legítimas y particulares de un amplio abanico de participantes.

El modelo institucional elegido para el Sistema de Información sobre Sequías para América del Sur debería tener en cuenta las diversas necesidades y contextos de los numerosos sectores y grupos sensibles a las sequías de esta región. Sin dudas, solo pueden lograrse avances reales en la elaboración y la difusión de información útil sobre las sequías por medio de la participación de aquellos que desean beneficiarse del uso de dicha información para mitigar los efectos negativos de esos fenómenos. Por este motivo, el diseño institucional elegido para dicho Sistema no solo debería fomentar la participación de una amplia gama de partes interesadas de diferentes sectores y niveles jurisdiccionales, sino también debería ofrecer una estructura que promueva los esfuerzos colectivos y compartidos, facilitando la participación y la colaboración de diversos grupos de forma descentralizada. En consecuencia, cabría prever que la estructura de dicho Sistema regional no sea una única institución centralizada que lleve adelante todas las funciones necesarias, sino, en cambio, una red amplia de conocimientos que abarque varias subredes superpuestas de instituciones o agentes centrados en distintos sectores o grupos sensibles a las sequías.

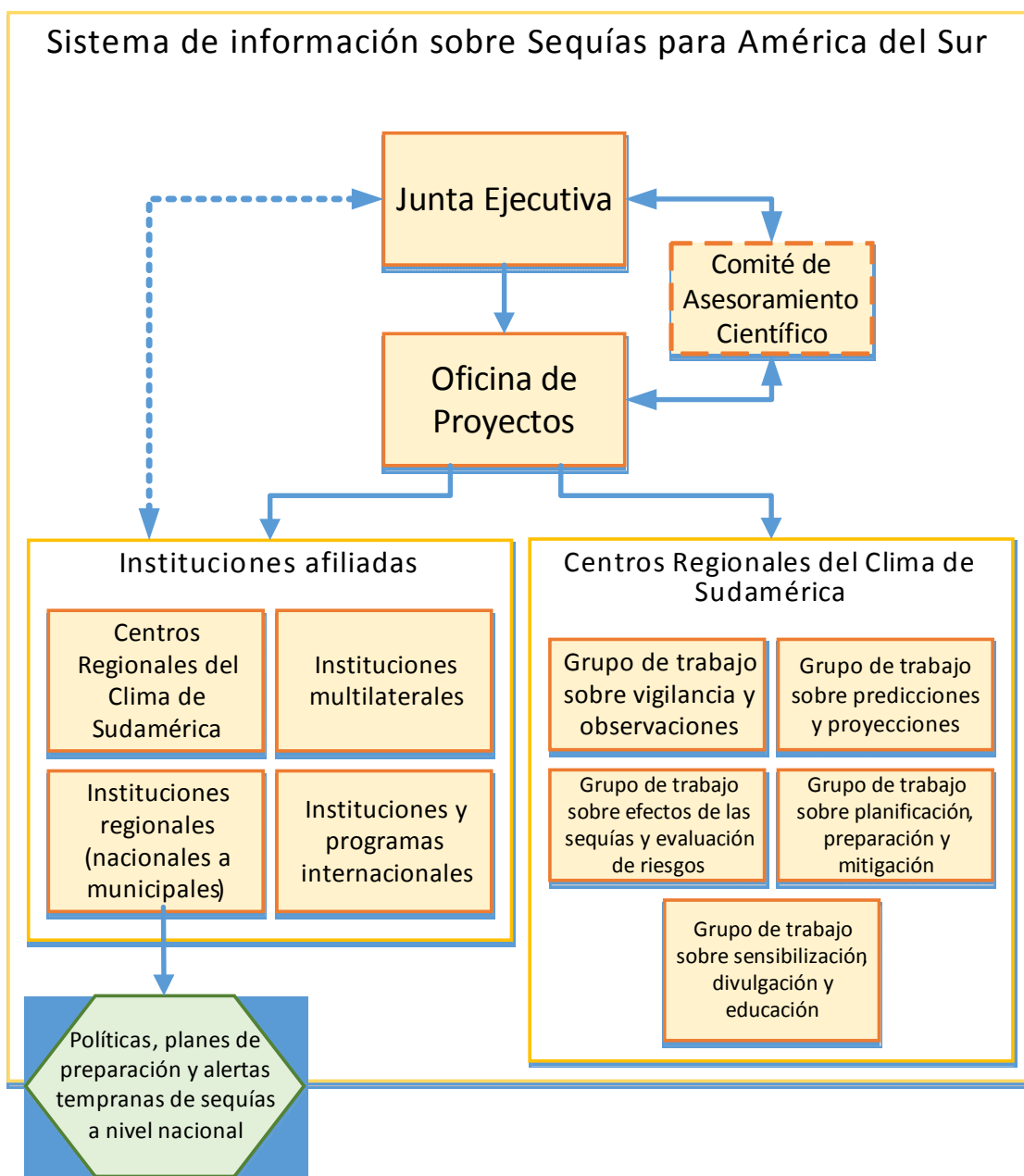


Figura 2: Estructura propuesta de un sistema regional de información sobre sequías

Durante el taller de Buenos Aires, se estudió un modelo institucional conformado por una institución virtual que dependería principalmente de las estructuras actuales para elaborar y difundir la mayor parte de la información necesaria. En la Figura 2, se muestra una posible estructura del Sistema de Información sobre Sequías. Una pequeña Junta Ejecutiva (de seis a diez miembros) brindaría asesoramiento estratégico y supervisaría los proyectos. Los miembros de la Junta Ejecutiva deberían representar a las principales instituciones o grupos que participan en el Sistema. Las orientaciones estratégicas de la Junta Ejecutiva podrían estar complementadas por un Comité de Asesoramiento Científico (CAC) que proporcionaría

conocimientos técnicos específicos sobre las funciones del Sistema. Este componente se muestra en el recuadro de líneas discontinuas de la Figura 2 para indicar que podría reunirse en etapas posteriores de la ejecución. Tanto la Junta como el Comité colaborarían con la Oficina de Proyectos del Sistema de Información sobre Sequías (véase a continuación) para llevar a cabo evaluaciones periódicas de las actividades del Sistema. Es fundamental que el proceso de evaluación sea riguroso para determinar y documentar las enseñanzas extraídas, con miras a mejorar las diversas etapas de la ejecución del Sistema y reforzar el uso de los conocimientos elaborados.

La Oficina de Proyectos coordinaría todas las actividades e interacciones y realizaría la gestión general del Sistema. Dicha oficina debería ofrecer funciones de liderazgo y apoyo que sean pertinentes para todo el Sistema, por ejemplo, la gestión y el desembolso de los fondos del Sistema, la organización de actividades de formación y divulgación, la dirección de la creación del portal web del Sistema, la coordinación de reuniones, la elaboración de informes para los miembros y organismos de financiación, y la representación del Sistema en diversos foros regionales e internacionales.

Habida cuenta del carácter virtual de la organización con poca estructura más allá de una oficina de coordinación, el Sistema para América del Sur planificado debe depender necesariamente de las instituciones existentes para llevar a cabo las labores requeridas de investigación y ejecución. Dado que es posible que las instituciones afiliadas no puedan realizar las tareas necesarias con sus propios recursos, el Sistema podría asignar sus fondos (obtenidos de diversos donantes o contribuyentes, véase la [sección 6.2](#)) a través de un proceso de contratos o subvenciones competitivas. Los protocolos para solicitar, adjudicar y realizar el seguimiento de los avances de las labores contratadas por el Sistema deberían definirse claramente mediante un proceso consensuado en el que participen todas las instituciones miembros. Todas las partes interesadas deberían conocer dichos protocolos, los cuales deberían ser completamente transparentes. La Junta Ejecutiva debería supervisar los protocolos y garantizar su cumplimiento en la adjudicación de los contratos del Sistema. La Oficina de Proyectos debería estar a cargo de la supervisión proactiva de todos los trabajos realizados por conducto de los contratos del Sistema, a fin de velar por su oportuna finalización.

Tal como se indicó durante el taller de Buenos Aires, el Sistema de Información sobre Sequías regional debería basarse en los puntos fuertes conocidos y las redes ya establecidas de los dos Centros Regionales sobre el Clima existentes y de otro planificado (en la región septentrional sudamericana) en América del Sur. Para ello, los Centros Regionales sobre el Clima (CRC) pueden proporcionar la estructura troncal correspondiente a la información de vigilancia y predicción de sequías. No obstante, la gestión eficaz de los riesgos de las sequías y las actividades de preparación para este fenómeno requieren del arco disciplinario o sectorial provisto por otros tipos de instituciones, organismos y programas en los ámbitos internacional, nacional o local. En el recuadro de las "instituciones afiliadas" de la Figura 2 se muestran varios tipos de instituciones y grupos que deberían formar parte del Sistema desde el inicio. El Sistema de Información sobre Sequías debería establecer de forma temprana todas las asociaciones y acuerdos de colaboración necesarios para velar por el intercambio de conocimientos y de recursos entre los agentes y organismos de diversos niveles, sectores y escalas.

El objetivo fundamental de dicho Sistema regional planificado es proporcionar información pertinente de fuentes autorizadas sobre las sequías para ayudar a las instituciones nacionales y locales encargadas de la gestión de riesgos de desastres naturales en América del Sur a que diseñen medidas de preparación y mitigación, emitan alertas tempranas de

sequías y pongan en marcha respuestas adecuadas en regiones y actividades específicas. En otras palabras, a través del Sistema se elaborará y se difundirá la información y las herramientas que las instituciones nacionales necesitan para prepararse para los efectos negativos de las sequías y dar respuesta a dichos efectos. Tanto la aplicación de políticas de preparación en casos de sequía como la puesta en marcha de medidas de respuesta específicas (desde la emisión de alertas tempranas hasta el suministro de socorro de emergencia) están comprendidas en la competencia de las instituciones nacionales, provinciales o municipales de gestión de riesgos, defensa civil o preparación para casos de desastre. Para hacer hincapié en este punto, en la Figura 2 se muestra que las instituciones nacionales y subnacionales elaboran las políticas, los planes y las alertas. Sin embargo, el Sistema elaborará información y orientaciones que ayudarán a las instituciones de gestión de riesgos de los Estados Miembros a desempeñar sus funciones correspondientes.

Sin lugar a dudas, los CRC y las instituciones nacionales a cargo de la gestión de riesgos de desastres naturales deberían ser importantes participantes del Sistema, aunque también debería invitarse a participar a un amplio abanico de instituciones afiliadas. Entre las instituciones afiliadas cabe mencionar las organizaciones de investigación académicas y gubernamentales, organizaciones no gubernamentales, organismos y programas científicos internacionales e instituciones multilaterales que podrían prestar apoyo a las actividades iniciales del Sistema (Figura 2). Un tipo importante de instituciones afiliadas al Sistema deberían ser las organizaciones intermediarias, como los organismos de extensión agrícola o las asociaciones de productores que pueden ayudar a conectar los eslabones más distantes de la red de conocimientos del Sistema (Agrawala y otros, 2001; Church y otros, 2017; Stalker Prokopy y otros, 2017). Estas instituciones representarían una útil alternativa a un modelo lineal y unidireccional de transferencia de datos científicos, lo que facilitaría el flujo multidireccional de información entre instituciones, científicos y responsables de la adopción de decisiones (Cash y Buizer, 2005; Kirchhoff y otros, 2013). Mediante un estudio exhaustivo del panorama institucional en los países participantes, podrán determinarse las posibles afiliadas que sean adecuadas para el Sistema.

Como parte de los mecanismos para planificar y llevar a cabo las tareas relacionadas con el Sistema, deberían crearse varios grupos de trabajo. En la Figura 2 se muestran los posibles grupos de trabajo, cada uno de los cuales está vinculado a una función importante del Sistema. Una de las misiones fundamentales de los grupos de trabajo sería la detección de deficiencias en materia de conocimientos y la determinación de oportunidades para aprovechar las investigaciones y prácticas pertinentes que profundicen los conocimientos sobre las sequías, la gestión de los riesgos conexos y las medidas de preparación en todo el territorio de América del Sur. Los grupos de trabajo deberían, además, evaluar las actividades, los productos y los recursos de que se dispone en otros lugares y que el Sistema sudamericano podría adoptar y posteriormente difundir a sus miembros. Es decir, los grupos de trabajo deberían esmerarse continuamente por facilitar la transición de los resultados de investigación a su utilización operacional.

En las primeras etapas de la ejecución del Sistema de Información sobre Sequías, se consultará a las instituciones regionales sobre posibles miembros de los grupos de trabajo. Los actuales grupos de trabajo de la OMM para la Región III (América del Sur) pueden constituir una fuente inicial valiosa de expertos, pero deberían desplegarse esfuerzos constantes para seleccionar a expertos y agentes de diversos sectores sensibles a las sequías. Para ello, algunas organizaciones regionales, como el Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI) que ha respaldado las ciencias sobre el cambio global en el continente americano durante los últimos 25 años, pueden desempeñar una función importante para ayudar a que el Sistema aproveche su red consolidada de expertos



de diversas disciplinas. Los grupos de trabajo deberían estar compuestos por una cantidad controlable de miembros (de 12 a 18) y tener un equilibrio adecuado en cuanto a los conocimientos especializados, la distribución geográfica, el tipo de instituciones (académicas, no gubernamentales y gubernamentales) y el nivel de competencia de los organismos de gobierno. Cada grupo de trabajo debería designar a un coordinador del grupo (o tal vez a dos coordinadores) durante un período lo suficientemente prolongado (por ejemplo, 24 meses) para facilitar el aprendizaje y brindar continuidad a la supervisión del grupo. La coordinación, la comunicación y la transferibilidad de información y medidas entre los distintos grupos de trabajo del Sistema serán fundamentales para el proceso general de creación de un sistema de información colaborativo. La comunicación y el intercambio de información periódicos entre dichos grupos de trabajo y las instituciones afiliadas deberían estar respaldados por la Oficina de Proyectos a fin de lograr un compromiso significativo y una colaboración eficaz en torno a las medidas adoptadas.



Figura 3: Flujo de información y conocimientos sobre las sequías entre las instituciones miembros del Sistema de Información sobre Sequías en diversos niveles espaciales o jurisdiccionales. En la figura se muestran ejemplos de los tipos de entidades pertinentes en cada escala o nivel.



En la Figura 3 se muestra una perspectiva diferente, en la que distintos tipos de instituciones afiliadas se organizan por escala espacial o nivel jurisdiccional. En la figura se hace hincapié en el flujo de la información y los conocimientos sobre las sequías entre las diferentes escalas y niveles. En el plan de ejecución del Sistema deberían determinarse los agentes principales en cada uno de estos niveles y elaborar procedimientos o protocolos de modo que comiencen a participar desde las primeras etapas del proceso.

Los Foros Regionales sobre la Evolución Probable del Clima (FREPC) de la OMM deberían formar parte del diseño institucional del Sistema regional, dado que ofrecen vías valiosas para crear conciencia y fomentar la participación en las actividades de preparación y mitigación de las sequías. Los foros reúnen a expertos nacionales, regionales e internacionales que examinan las condiciones y elaboran predicciones sobre la evolución probable del clima ([www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcasp/clips/outlooks/climate\\_forecasts.html](http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcasp/clips/outlooks/climate_forecasts.html)) que se basan principalmente en la teleconexión y las predicciones del fenómeno El Niño – Oscilación del Sur (ENOS). Estos foros son ahora fundamentales para la ejecución del Marco Mundial para los Servicios Climáticos (MMSC), por lo que pueden resultar beneficiosos en el contexto del Sistema de Información sobre Sequías. A medida que se desarrollan las condiciones del ENOS en un año específico, la OMM coordina la generación de un consenso científico mundial que incluye un proceso de colaboración para examinar las mejores pruebas y predicciones disponibles. Si bien en los Foros sobre la Evolución Probable del Clima se suele procurar la participación de intereses sensibles al clima, en muchas ocasiones esta participación es mínima y solo se produce durante un foro. En cambio, muchas de las funciones principales del Sistema descritas anteriormente (por ejemplo, la cuantificación de asociaciones entre los índices de sequía y los posibles efectos o el diseño de respuestas viables de mitigación) requerirán de la participación constante de las partes afectadas por las sequías.

### 6.1 Una política de datos consensuada del Sistema de Información sobre Sequías

El propósito fundamental del Sistema de Información sobre Sequías para América del Sur es elaborar y difundir información valiosa que ayude en las actividades de preparación y mitigación de los efectos negativos de las sequías. Un principio esencial de dicho Sistema debería ser el libre acceso a cualquiera de los productos derivados o información generada por el Sistema. El Sistema generará información y productos específicos sobre sequías (por ejemplo, diversos índices o indicadores de sequía) para la región, y reunirá, sintetizará e interpretará información procedente de diversas fuentes. No obstante, el Sistema no administrará ninguna de las redes de observación y se basará exclusivamente en los datos recopilados por las instituciones asociadas, como los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales, los organismos hidrológicos y agrícolas, y colaboradores internacionales, entre otros. Debería establecerse un protocolo común de intercambio de datos para facilitar la recopilación de datos de diversos países y organismos. Además, un formato común también posibilitaría el fácil intercambio de herramientas de proceso y análisis (por ejemplo, lenguajes R y Python para estimar una cantidad específica).

Una cuestión delicada es el hecho de que es posible que algunas de las instituciones que proporcionen datos al Sistema sudamericano hayan establecido limitaciones a la distribución abierta de los datos que recopilan. *Para resolver estas limitaciones y, a la vez, garantizar el acceso libre y sin restricciones a los productos generados por el Sistema de Información sobre Sequías para América del Sur, debe definirse con claridad una política de difusión de datos consensuada para el Sistema.* La necesidad de contar con una política de datos uniforme, transparente y bien articulada para dicho Sistema fue un tema que se planteó en varias ocasiones durante el taller de Buenos Aires. Para respetar las restricciones de algunos

países relativas a la libre difusión de observaciones brutas *in situ*, una política de datos viable podría respetar el protocolo actualmente acordado por los CRC sudamericanos. Las cantidades derivadas o calculadas a partir de los datos (por ejemplo, los índices de sequía) y las estadísticas climáticas globales (por ejemplo, el número de días de lluvias por mes en una estación determinada) podrían distribuirse libremente, mientras que el acceso a los datos diarios brutos debería solicitarse a las instituciones que recopilan los datos.

## 6.2 Sostenibilidad financiera

En la planificación debería garantizarse la sostenibilidad financiera a largo plazo del Sistema. De acuerdo con las experiencias de otras regiones (como los Estados Unidos), las inversiones en los sistemas científicos, tecnológicos y de información relacionados con las sequías han sido fundamentales para mejorar y ampliar la calidad y el alcance de los productos de vigilancia y predicción de sequías. Las actividades de investigación se beneficiarán de la participación de todas las instituciones del Sistema, pero será necesario contar con respaldo financiero para prestar apoyo a las actividades que no están incluidas actualmente en las operaciones de las instituciones participantes (un ejemplo importante es la necesidad de mantener las comunicaciones e interacciones entre las instituciones para el diseño, la elaboración conjunta y la difusión de la información sobre las sequías).

## 7 Actividades iniciales propuestas del Sistema de Información sobre Sequías por componente

### 7.1 Vigilancia

- Establecer un inventario de la cantidad y la calidad de los datos obtenidos de las redes de observaciones meteorológicas e hidrológicas actuales en toda la región. Definir conjuntos de datos mínimos comunes.
- Estudiar los productos derivados de satélites que actualmente se utilizan en toda la región para supervisar las sequías o sus efectos.
- Confeccionar una lista priorizada de variables o indicadores derivados de satélites que no se utilicen actualmente, pero que podrían formar parte del Sistema de Información sobre Sequías. Definir las responsabilidades relativas al proceso y la difusión de cada uno de los conjuntos de datos enumerados. Determinar las capacidades institucionales y las necesidades de formación para gestionar estos datos.
- Estudiar el uso actual de los modelos de la superficie terrestre para realizar la vigilancia de las sequías en toda la región.
- Estudiar los diversos índices de sequía (obtenidos *in situ*, de modelos y de satélites) que se utilizan actualmente en toda la región para realizar la vigilancia de las sequías o sus efectos.
- Confeccionar una lista priorizada de índices de sequía que no se utilicen actualmente, pero que deberían formar parte del Sistema de Información sobre Sequías.
- Definir los protocolos y las responsabilidades para la elaboración y la difusión de cada uno de estos índices.
- Elaborar una política de datos consensuada en la que se definan las directrices relativas al acceso a todos los datos recopilados y elaborados por el Sistema regional.
- Establecer una red de observadores que reúnan información sobre los efectos de las sequías procedente de todos los sectores importantes afectados por estos fenómenos y crear un archivo con estos datos.

## 7.2 Predicciones y alertas tempranas de sequías: medidas que deben adoptarse

- Estudiar los métodos estadísticos y dinámicos empleados en la región para las predicciones climáticas subestacionales a estacionales.
- Establecer un marco riguroso para la evaluación del grado de adecuación y acierto de los diferentes métodos de predicción climática en distintas regiones o momentos del año.
- Estudiar los procedimientos vigentes para predecir los índices de sequía en toda la región.
- Estudiar los procedimientos y criterios administrativos o jurídicos vigentes que se utilizan para declarar una sequía en la región.
- Recomendar procedimientos para definir criterios específicos de cada emplazamiento o sector para declarar las emergencias de sequías y activar distintos niveles de actividades de mitigación y respuesta.
- Facilitar y fundamentar las colaboraciones e interacciones con las partes interesadas para diseñar elementos desencadenantes adecuados para cada región y sector, sobre la base de prioridades de gestión y umbrales específicos de los sistemas.
- Garantizar la uniformidad entre los valores de dichos elementos desencadenantes para distintos índices.
- Evaluar las ventajas o las desventajas de los elementos desencadenantes “rigurosos” o “subjetivos” para los diversos contextos de la región.

## 7.3 Efectos de las sequías y evaluación de riesgos: medidas que deben adoptarse

- Estudiar todos los mecanismos utilizados actualmente para comunicar los episodios de sequías a las partes interesadas en los distintos países de la región.
- Confeccionar una lista categorizada o priorizada de los efectos importantes de las sequías en los distintos lugares y actividades en toda la región.
- Estudiar los vínculos o las asociaciones entre los valores de los índices e indicadores de sequía disponibles y previstos, así como la incidencia de efectos específicos en los sectores sensibles a las sequías. Si no se dispone de dichos estudios, efectuar investigaciones para evaluar los vínculos.
- Establecer una red de observadores que reúnan y comuniquen información sobre los efectos en curso de las sequías. Crear y mantener un archivo de estos datos con los efectos normalizados y geolocalizados.
- Definir los pasos necesarios para realizar un análisis inicial de los riesgos de sequías en sectores o regiones importantes de América del Sur. Incluir evaluaciones de los requisitos de datos para todos los componentes de riesgos: peligro, exposición y vulnerabilidad.
- Evaluar los diversos modelos de evaluación de los riesgos de las sequías, sus requisitos y escalas de datos, así como su importancia para la adopción de decisiones y la planificación para las sequías.

## 7.4 Preparación, mitigación y respuesta

- En estrecha colaboración con las partes interesadas de una región o actividad, determinar las medidas de mitigación viables, es decir, las medidas que pueden adoptarse con antelación o durante las primeras etapas de una sequía con miras a reducir los efectos del fenómeno.

- Elaborar cronogramas de decisiones específicos de cada región y sector, es decir, una lista de los plazos y el carácter de las decisiones.
- Emplear los cronogramas de decisiones para definir los momentos adecuados para intervenciones concretas durante una crisis en curso y si estas intervenciones pueden efectuarse a tiempo.
- Elaborar planes de contingencia específicos de cada sistema y sector, por ejemplo, cada sistema de abastecimiento de agua contará con su propio plan de contingencia, en el que se establecerán las medidas que deben adoptarse de acuerdo con los elementos desencadenantes definidos para ese sistema puntual.
- Si no están disponibles, llevar a cabo investigaciones para determinar los factores que definen la vulnerabilidad de una región o sector a las sequías (incluidos los factores socioeconómicos).
- Evaluar la eficacia de los seguros basados en índices para mitigar los efectos de las sequías en los pequeños agricultores de la región u otros grupos o actividades muy vulnerables.

### 7.5 Sensibilización, divulgación y educación

- Determinar los asociados para la divulgación, las organizaciones pertinentes (incluidos los contactos adecuados) y los "paladines" del Sistema para establecer colaboraciones tempranas con los sectores y agentes afectados por las sequías.
- Formalizar las asociaciones necesarias; dejar en claro las expectativas mutuas y las responsabilidades de cada parte.
- Diseñar una estrategia de sensibilización que incluya la presencia activa en las redes sociales.
- Determinar las necesidades de formación y elaborar una estrategia conexas (incluida la determinación de los recursos financieros).
- Elaborar procedimientos o protocolos objetivos para evaluar el éxito de las actividades de sensibilización y divulgación.

### 7.6 Creación del portal de información sobre las sequías

- Elaborar prototipos iniciales del contenido y el diseño de un portal de información sobre sequías del Sistema. Reproducir diseños piloto con diversos tipos de partes interesadas.
- Elaborar documentos, ejemplos y tutoriales para todos los datos y productos incluidos en dicho portal.

### 7.7 Gobernanza del Sistema de Información sobre Sequías

- Convocar a la Junta Ejecutiva y definir el diseño y los procedimientos iniciales de gobernanza.
- Estudiar y determinar las instituciones de cada país sudamericano que sean pertinentes para las cuestiones relacionadas con las sequías.
- Alentar a instituciones regionales importantes para que sean afiliadas al Sistema. Establecer los acuerdos necesarios para oficializar su participación.
- Determinar los posibles miembros de los distintos grupos de trabajo.

## 8 Referencias citadas

- AghaKouchak, A., 2015. "A multivariate approach for persistence-based drought prediction: Application to the 2010–2011 East Africa drought", en *Journal of Hydrology*, 526: 127-135.
- AghaKouchak, A. y otros, 2015. "Remote sensing of drought: Progress, challenges and opportunities", en *Reviews of Geophysics*, 53(2): 452-480.
- Agrawala, S., Broad, K. y Guston, D. H., 2001. "Integrating climate forecasts and societal decision making: challenges to an emergent boundary organization", en *Science, Technology & Human Values*, 26(4): 454-477.
- Aguilar Muñoz, V., Marchezini, V., Bacelar, L., Jimenez, N. y Velásquez, A., 2017. "DesInventar: ferramenta conceitual e plataforma computacional para sistematização de dados e suporte à pesquisa de risco e desastres", en V. Marchezini, B. Wiesner, S. Saito y L. Londe (editores), *Agricultural Drought Risk Assessment in Northern Brazil: An Innovative Fully Probabilistic Approach*, págs. 311-334.
- Aldunce, P., Bórquez, R., Adler, C., Blanco, G. y Garreaud, R., 2016. "Unpacking Resilience for Adaptation: Incorporating Practitioners' Experiences through a Transdisciplinary Approach to the Case of Drought in Chile", en *Sustainability*, 8(9): 905.
- Anderson, M. C. y otros, 2011. "Evaluation of Drought Indices Based on Thermal Remote Sensing of Evapotranspiration over the Continental United States", en *Journal of Climate*, 24(8): 2025-2044.
- Anderson, M. C. y otros, 2016. "The Evaporative Stress Index as an indicator of agricultural drought in Brazil: An assessment based on crop yield impacts", en *Remote Sensing of Environment*, 174: 82-99.
- Azmi, M., Rüdiger, C. y Walker, J. P., 2016. "A data fusion-based drought index", en *Water Resources Research*, 52(3): 2222-2239.
- Bachmair, S., Kohn, I. y Stahl, K., 2015. "Exploring the link between drought indicators and impacts", en *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15(6): 1381-1397.
- Bachmair, S. y otros, 2016. "Drought indicators revisited: the need for a wider consideration of environment and society", en *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 3(4): 516-536.
- Bachmair, S., Svensson, C., Prosdociimi, I., Hannaford, J. y Stahl, K., 2017. "Developing drought impact functions for drought risk management", en *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2017: 1-22.
- Bakkensen, L. A., Fox-Lent, C., Read, L. K. y Linkov, I., 2017. "Validating Resilience and Vulnerability Indices in the Context of Natural Disasters", en *Risk Analysis*, 37(5): 982-1004.
- Belayneh, A. y Adamowski, J., 2012. "Standard Precipitation Index Drought Forecasting Using Neural Networks, Wavelet Neural Networks, and Support Vector Regression", en *Applied Computational Intelligence and Soft Computing*, 2012: 13.
- Belayneh, A., Adamowski, J., Khalil, B. y Ozga-Zielinski, B., 2014. "Long-term SPI drought forecasting in the Awash River Basin in Ethiopia using wavelet neural network and wavelet support vector regression models", en *Journal of Hydrology*, 508(0): 418-429.
- Belayneh, A., Adamowski, J., Khalil, B. y Quilty, J., 2016. "Coupling machine learning methods with wavelet transforms and the bootstrap and boosting ensemble approaches for drought prediction", en *Atmospheric Research*, 172-173: 37-47.

- Bernal, G. A., Escovar, M. A., Zuloaga, D. y Cardona, O. D., 2017. "Agricultural Drought Risk Assessment in Northern Brazil: An Innovative Fully Probabilistic Approach", en V. Marchezini, B. Wiesner, S. Saito y L. Londe (editores), *Reduction of Vulnerability to Disasters: from Knowledge to Action*, págs. 331-356.
- Blauhut, V., Gudmundsson, L. y Stahl, K., 2015. "Towards pan-European drought risk maps: quantifying the link between drought indices and reported drought impacts", en *Environmental Research Letters*, 10(1): 014008.
- Botterill, L. C. y Hayes, M. J., 2012. "Drought triggers and declarations: science and policy considerations for drought risk management", en *Natural Hazards*, 64(1): 139-151.
- Brewer, M. J. y Heim, R. R., 2011. "International Drought Workshop Series", en *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92(7): E29-E31.
- Cardona, O. y otros, 2012. "Determinants of risk: exposure and vulnerability", en C. Field y otros (editores), *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, págs. 65-108.
- Carrão, H., Naumann, G. y Barbosa, P., 2016a. "Mapping global patterns of drought risk: An empirical framework based on sub-national estimates of hazard, exposure and vulnerability", en *Global Environmental Change*, 39: 108-124.
- Carrão, H., Russo, S., Sepulcre-Canto, G. y Barbosa, P., 2016b. "An empirical standardized soil moisture index for agricultural drought assessment from remotely sensed data", en *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 48(Supplement C): 74-84.
- Cash, D. W. y Buizer, J., 2005. "Knowledge-action systems for seasonal to interannual climate forecasting. Summary of a workshop". Report to the Roundtable on Science and Technology for Sustainability, Policy and Global Affairs. The National Academies Press, Washington, D. C.
- Church, S. P. y otros, 2017. "Do advisors perceive climate change as an agricultural risk? An in-depth examination of Midwestern U.S. Ag advisors' views on drought, climate change, and risk management", en *Agriculture and Human Values*.
- Cunha, A. P. M., Alvalá, R. C., Nobre, C. A. y Carvalho, M. A., 2015. "Monitoring vegetative drought dynamics in the Brazilian semiarid region", en *Agricultural and Forest Meteorology*, 214(Supplement C): 494-505.
- Dai, A., 2011. "Drought under global warming: a review", en *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2(1): 45-65.
- Dai, A., 2013. "Increasing drought under global warming in observations and models", en *Nature Climate Change*, 3(1): 52-58.
- de Goncalves, L. G. G. y otros, 2009. "The South American Land Data Assimilation System (SALDAS) 5-Yr Retrospective Atmospheric Forcing Datasets", en *Journal of Hydrometeorology*, 10(4): 999-1010.
- Deo, R. C., Kisi, O. y Singh, V. P., 2017. "Drought forecasting in eastern Australia using multivariate adaptive regression spline, least square support vector machine and M5Tree model", en *Atmospheric Research*, 184: 149-175.
- Deo, R. C. y Şahin, M., 2015. "Application of the Artificial Neural Network model for prediction of monthly Standardized Precipitation and Evapotranspiration Index using hydrometeorological parameters and climate indices in eastern Australia", en *Atmospheric Research*, 161-162: 65-81.



- Diogo, V., Reidsma, P., Schaap, B., Andree, B. P. J. y Koomen, E., 2017. "Assessing local and regional economic impacts of climatic extremes and feasibility of adaptation measures in Dutch arable farming systems", en *Agricultural Systems*, 157(Supplement C): 216-229.
- Dorigo, W. y otros, 2017. "ESA CCI Soil Moisture for improved Earth system understanding: State-of-the art and future directions", en *Remote Sensing of Environment*, 203: 185-215.
- Enenkel, M. y otros, 2016. "A Combined Satellite-Derived Drought Indicator to Support Humanitarian Aid Organizations", en *Remote Sensing*, 8(4): 340.
- Erhardt, T. M. y Czado, C., en prensa. "Standardized drought indices: a novel univariate and multivariate approach", en *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*: n/a-n/a.
- Fang, H., Beaudoin, H., Rodell, M., Teng, W. L. y Vollmer, B. E., 2009. "Global Land Data Assimilation System (GLDAS) Products, Services and Application from NASA Hydrology Data and Information Services Center (HDISC)", ASPRS 2009 Annual Conference, Baltimore, Maryland.
- Farahmand, A., AghaKouchak, A. y Teixeira, J., 2015. "A Vantage from Space Can Detect Earlier Drought Onset: An Approach Using Relative Humidity", en *Scientific Reports*, 5: 8553.
- Finnessey, T., Hayes, M., Lukas, J. y Svoboda, M., 2016. "Using climate information for drought planning", en *Climate Research*, 70(2-3): 251-263.
- Hao, Z. y AghaKouchak, A., 2013. "Multivariate Standardized Drought Index: A parametric multi-index model", en *Advances in Water Resources*, 57(0): 12-18.
- Hao, Z. y Singh, V. P., 2015. "Drought characterization from a multivariate perspective: A review", en *Journal of Hydrology*, 527: 668-678.
- Hao, Z., Yuan, X., Xia, Y., Hao, F. y Singh, V. P., 2017. "An Overview of Drought Monitoring and Prediction Systems at Regional and Global Scales", en *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(9): 1879-1896.
- Hayes, M. J., Wilhelmi, O. V. y Knutson, C. L., 2004. "Reducing Drought Risk: Bridging Theory and Practice", en *Natural Hazards Review*, 5(2): 106-113.
- Heim, R. R., Lawrimore, J. H., Wuertz, D. B., Waple, A. M. y Wallis, T. W. R., 2003. "The REDTI and MSI: Two New National Climate Impact Indices", en *Journal of Applied Meteorology*, 42(10): 1435-1442.
- Heim, R. R., 2002. "A Review of Twentieth-Century Drought Indices Used in the United States", en *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8): 1149-1165.
- Heim, R. R. y Brewer, M. J., 2012. "The Global Drought Monitor Portal: The Foundation for a Global Drought Information System", en *Earth Interactions*, 16(15): 1-28.
- Keyantash, J. y Dracup, J. A., 2002. "The Quantification of Drought: An Evaluation of Drought Indices", en *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8): 1167-1180.
- Kirchhoff, C. J., Lemos, M. C. y Engle, N. L., 2013. "What influences climate information use in water management? The role of boundary organizations and governance regimes in Brazil and the U.S.", en *Environmental Science & Policy*, 26(0): 6-18.
- Kirschbaum, D. B. y otros, 2017. "NASA's Remotely Sensed Precipitation: A Reservoir for Applications Users", en *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(6): 1169-1184.

- Kogan, F., Goldberg, M., Schott, T. y Guo, W., 2015. "Suomi NPP/VIIRS: improving drought watch, crop loss prediction, and food security", en *International Journal of Remote Sensing*, 36(21): 5373-5383.
- Kogan, F. y Sullivan, J., 1993. "Development of global drought-watch system using NOAA/AVHRR data", en *Advances in Space Research*, 13(5): 219-222.
- Lackstrom, K. y otros, 2013. "The Missing Piece: Drought Impacts Monitoring". Informe del taller elaborado por el programa Carolinas Integrated Sciences & Assessments y Climate Assessment for the Southwest.
- Lemos, M. C., 2015. "Usable climate knowledge for adaptive and co-managed water governance", en *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 12(0): 48-52.
- Lobato-Sánchez, R., 2016. "El monitor de la sequía en México", en *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7: 197-211.
- Madadgar, S., AghaKouchak, A., Farahmand, A. y Davis, S. J., 2017. "Probabilistic estimates of drought impacts on agricultural production", en *Geophysical Research Letters*, 44: n/a-n/a.
- Maity, R., Ramadas, M. y Govindaraju, R. S., 2013. "Identification of hydrologic drought triggers from hydroclimatic predictor variables", en *Water Resources Research*, 49(7): 4476-4492.
- Martins, E. S. P. R. y otros, 2016. "The Technical and Institutional Case: The Northeast Drought Monitor as the Anchor and Facilitator of Collaboration", en E. De Nys, N. Engle y A. Rocha Magalhães (editores), *Drought in Brazil: Proactive Management and Policy*. CRC Press, Boca Raton, Florida, págs. 239.
- Mason, S. J. y Tippett, M. K., 2017. *Climate Predictability Tool version 15.5.10*. Columbia University Academic Commons.
- McEvoy, D. J. y otros, 2016. "The Evaporative Demand Drought Index. Part II: CONUS-Wide Assessment against Common Drought Indicators", en *Journal of Hydrometeorology*, 17(6): 1763-1779.
- McNie, E. C., 2007. "Reconciling the supply of scientific information with user demands: an analysis of the problem and review of the literature", en *Environmental Science & Policy*, 10(1): 17-38.
- McRoberts, D. B. y Nielsen-Gammon, J. W., 2012. "The Use of a High-Resolution Standardized Precipitation Index for Drought Monitoring and Assessment", en *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 51(1): 68-83.
- Meza-González, R. y Ibáñez-Hernández, O. F., 2016. "Análisis de propuestas metodológicas sobre vulnerabilidad contenidas en los Programas de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía de México", en *Tecnociencia*, 9(3): 180-191.
- Mishra, A., Vu, T., Veettil, A. V. y Entekhabi, D., 2017. "Drought monitoring with soil moisture active passive (SMAP) measurements", en *Journal of Hydrology*, 552(Supplement C): 620-632.
- Mishra, A. K. y Desai, V. R., 2006. "Drought forecasting using feed-forward recursive neural network", en *Ecological Modelling*, 198(1-2): 127-138.
- Mishra, A. K. y Singh, V. P., 2011. "Drought modeling – A review", en *Journal of Hydrology*, 403(1-2): 157-175.
- Mishra, A. K., Sivakumar, B. y Singh, V. P., 2015. "Drought processes, modeling, and mitigation", en *Journal of Hydrology*, 526: 1-2.

- Mizzell, H. P., 2008. "Improving drought detection in the Carolinas: Evaluation of local, state and federal drought indicators", tesis doctoral, University of South Carolina, 149 págs.
- Mo, K. C. y Lettenmaier, D. P., 2016. "Precipitation Deficit Flash Droughts over the United States", en *Journal of Hydrometeorology*, 17(4): 1169-1184.
- Muller, O. y Berbery, E. H., 2017. "Estimación de humedad de suelo con modelos de suelo acoplados y no-acoplados", quinto taller de la iniciativa Joint Assessment of Soil Moisture Indicators (JASMIN), Tandil, Argentina.
- Naumann, G., Barbosa, P., Garrote, L., Iglesias, A. y Vogt, J., 2014. "Exploring drought vulnerability in Africa: an indicator based analysis to be used in early warning systems", en *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(5): 1591-1604.
- Núñez, J., Rivera, D., Oyarzún, R. y Arumí, J. L., 2014. "On the use of Standardized Drought Indices under decadal climate variability: Critical assessment and drought policy implications", en *Journal of Hydrology*, 517(0): 458-470.
- Núñez, J. y otros, 2017. "Reconciling Drought Vulnerability Assessment Using a Convergent Approach: Application to Water Security in the Elqui River Basin, North-Central Chile", en *Water*, 9(8): 589.
- Organización Meteorológica Mundial, 2006. Vigilancia y alerta temprana de la sequía: conceptos, progresos y desafíos futuros, Ginebra, Suiza.
- Organización Meteorológica Mundial, 2016. *Use of Climate Predictions to Manage Risks*, Ginebra, Suiza.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM) y Asociación Mundial para el Agua, 2014. *Directrices de política nacional para la gestión de sequías: modelo para la adopción de medidas*, Ginebra, Suiza, y Estocolmo, Suecia.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM) y Asociación Mundial para el Agua, 2016. *Manual de indicadores e índices de sequía*, en M. Svoboda y B. A. Fuchs (editores), "Serie de herramientas y directrices para la gestión integrada de sequías 2". Programa de Gestión Integrada de Sequías, Ginebra, Suiza.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM) y Asociación Mundial para el Agua, 2017. *Benefits of action and costs of inaction: Drought mitigation and preparedness – a literature review*, OMM, Ginebra, Suiza, y Asociación Mundial para el Agua, Estocolmo, Suecia.
- Ortega-Gaucin, D., Castellano, H. V. y Jesús, D. I. C., 2018. "Economic, social and environmental vulnerability to drought in the Northwest River Basin System, Mexico", en *International Journal of Environmental Impacts*, 1(3): 240-253.
- Otkin, J. A. y otros, 2013. "Examining Rapid Onset Drought Development Using the Thermal Infrared-Based Evaporative Stress Index", en *Journal of Hydrometeorology*, 14(4): 1057-1074.
- Otkin, J. A. y otros, 2015. "Facilitating the Use of Drought Early Warning Information through Interactions with Agricultural Stakeholders", en *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96(7): 1073-1078.
- Penalba, O. C. y Rivera, J. A., 2015. "Comparación de seis índices para el monitoreo de sequías meteorológicas en el sur de Sudamérica", en *Meteorológica*, 40(2): 33-57.
- Podestá, G. P. y otros, 2009. "Decadal climate variability in the Argentine Pampas: regional impacts of plausible climate scenarios on agricultural systems", en *Climate Research*, 40: 199-210.

- Porter, J. J. y Dessai, S., 2017. "Mini-me: Why do climate scientists' misunderstand users and their needs?", en *Environmental Science & Policy*, 77(Supplement C): 9-14.
- Pozzi, W. y otros, 2013. "Toward Global Drought Early Warning Capability: Expanding International Cooperation for the Development of a Framework for Monitoring and Forecasting", en *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94(6): 776-785.
- Pulwarty, R. S. y Sivakumar, M. V. K., 2014. "Information systems in a changing climate: Early warnings and drought risk management", en *Weather and Climate Extremes*, 3(0): 14-21.
- Quan, X. W. y otros, 2012. "Prospects for Dynamical Prediction of Meteorological Drought", en *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 51(7): 1238-1252.
- Quiring, S., M., 2009. "Monitoring Drought: An Evaluation of Meteorological Drought Indices", en *Geography Compass*, 3(1): 64-88.
- Reddy, M. J. y Singh, V., 2013. "Multivariate modeling of droughts using copulas and meta-heuristic methods", en *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*: 1-15.
- Ren, X., Xu, W. y Smith, A., 2012. "Remote Sensing, Crop Yield Estimation and Agricultural Vulnerability Assessment: a Case of Southern Alberta", en *The Open Hydrology Journal*, 6: 68-77.
- Rhee, J. e Im, J., 2017. "Meteorological drought forecasting for ungauged areas based on machine learning: Using long-range climate forecast and remote sensing data", en *Agricultural and Forest Meteorology*, 237-238: 105-122.
- Rimkus, E., Stonevicius, E., Kilpys, J., Maciulyte, V. y Valiukas, D., 2017. "Drought identification in the eastern Baltic region using NDVI", en *Earth System Dynamics*, 8(3): 627-637.
- Rodell, M. y otros, 2004. "The Global Land Data Assimilation System", en *Bulletin of the American Meteorological Society*, 85(3): 381-394.
- Rossi, S., Weissteiner, C. J. y Niemeier, S., 2009. "Remote Sensing drought indicators within the European Drought Observatory", Proceedings, 33rd International Symposium on Remote Sensing of Environment, ISRSE 2009, págs. 910-913.
- Schmit, T. J. y otros, 2016. "A Closer Look at the ABI on the GOES-R Series", en *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(4): 681-698.
- Schubert, S. y otros, 2007. "Predicting Drought on Seasonal-to-Decadal Time Scales", en *Bulletin of the American Meteorological Society*, 88(10): 1625-1630.
- Schubert, S. y otros, 2015. *GDIS Workshop Report*, NASA, Greenbelt, Maryland.
- Sgroi, L. C., 2017. Modelación de Variables Hidroclimáticos de Superficie y Evolución de su Comportamiento Eventos Extremos Secos, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina.
- Sheffield, J. y otros, 2013. "A Drought Monitoring and Forecasting System for Sub-Sahara African Water Resources and Food Security", en *Bulletin of the American Meteorological Society*, 95(6): 861-882.
- Sierra-Soler, A. y otros, 2016. "Assessing agricultural drought at a regional scale using LULC classification, SPI, and vegetation indices: case study in a rainfed agro-ecosystem in Central Mexico", en *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(4): 1460-1488.
- Sivakumar, M. V. K. y otros, 2014. "High Level Meeting on National Drought Policy: Summary and Major Outcomes", en *Weather and Climate Extremes*, 3(0): 126-132.

- Skansi, M. M. y otros, 2013. "Warming and wetting signals emerging from analysis of changes in climate extreme indices over South America", en *Global and Planetary Change*, 100: 295-307.
- Skofronick-Jackson, G. y otros, 2017. "The Global Precipitation Measurement (GPM) Mission for Science and Society", en *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(8): 1679-1695.
- Spennemann, P. C., Rivera, J. A., Saulo, A. C. y Penalba, O. C., 2015. "A Comparison of GLDAS Soil Moisture Anomalies against Standardized Precipitation Index and Multisatellite Estimations over South America", en *Journal of Hydrometeorology*, 16(1): 158-171.
- Stagge, J. H., Kohn, I., Tallaksen, L. M. y Stahl, K., 2015. "Modeling drought impact occurrence based on meteorological drought indices in Europe", en *Journal of Hydrology*, 530: 37-50.
- Stahl, K. y otros, 2016. "Impacts of European drought events: insights from an international database of text-based reports", en *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(3): 801-819.
- Stalker Prokopy, L. y otros, 2017. "Useful to Usable: Developing usable climate science for agriculture", en *Climate Risk Management*, 15: 1-7.
- Steinemann, A., 2014. "Drought Information for Improving Preparedness in the Western States", en *Bulletin of the American Meteorological Society*, 95(6): 843-847.
- Steinemann, A. C., Hayes, M. J. y Cavalcanti, L. F. N., 2005. "Drought Indicators and Triggers", en D. A. Wilhite (editor), *Drought and Water Crises: Science, Technology, and Management Issues*. CRC Press, págs. 71-92.
- Svoboda, M. y otros, 2002. "The Drought Monitor", en *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83(8): 1181-1190.
- Switzer, D. y Vedlitz, A., 2017. "Investigating the Determinants and Effects of Local Drought Awareness", en *Weather, Climate, and Society*, 9(4): 641-657.
- van den Hurk, B. J. J. M. y otros, 2016. "Improving predictions and management of hydrological extremes through climate services: [www.impres.eu](http://www.impres.eu)", en *Climate Services*, 1: 6-11.
- Van Loon, A. F. y otros, 2016. "Drought in the Anthropocene", en *Nature Geoscience*, 9(2): 89-91.
- Verdin, A., Rajagopalan, B., Kleiber, W., Podestá, G. y Bert, F., 2018. "A conditional stochastic weather generator for seasonal to multi-decadal simulations", en *Journal of Hydrology*, 556(Supplement C): 835-846.
- Vicente-Serrano, S. M. y otros, 2012. "Challenges for drought mitigation in Africa: The potential use of geospatial data and drought information systems", en *Applied Geography*, 34(0): 471-486.
- Vila, D. A., De Goncalves, L. G. G., Toll, D. L. y Rozante, J. R., 2009. "Statistical Evaluation of Combined Daily Gauge Observations and Rainfall Satellite Estimates over Continental South America", en *Journal of Hydrometeorology*, 10(2): 533-543.
- Vogt, J., 2011. "The European drought observatory", 2011 GEOSS Workshop XL - Managing Drought through Earth Observation, págs. 1-16.
- Waseem, M., Ajmal, M. y Kim, T. W., 2015. "Development of a new composite drought index for multivariate drought assessment", en *Journal of Hydrology*, 527(0): 30-37.



- Weber, E. U., 2010. "What shapes perceptions of climate change?", en *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 9999(9999): n/a.
- Weber, E. U., 2016. "What shapes perceptions of climate change? New research since 2010", en *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 7(1): 125-134.
- Wilby, R. L. y otros, 1998. "Statistical downscaling of general circulation model output: A comparison of methods", en *Water Resources Research*, 34(11): 2995-3008.
- Wilhite, D. A., 2000. "Drought as a natural hazard: concepts and definitions", en D. A. Wilhite (editor), *Drought: a global assessment*. Routledge, Nueva York, págs. 1-18.
- Wilhite, D. A., 2016. "Managing drought risk in a changing climate", en *Climate Research*, 70(2-3): 99-102.
- Wilhite, D. A., K., S. M. V. y Wood, D. A., 2000. *Early Warning Systems for Drought Preparedness and Drought Management*, Lisboa, Portugal.
- Wilhite, D. A. y Pulwarty, R. S., 2005. "Lessons learned and the road ahead", en D. A. Wilhite (editor), *Drought and Water Crisis: Science, Technology, and Management Issues*. CRC Press (Taylor and Francis), Nueva York, págs. 389-398.
- Wilhite, D. A., Sivakumar, M. V. K. y Pulwarty, R., 2014. "Managing drought risk in a changing climate: The role of national drought policy", en *Weather and Climate Extremes*, 3(0): 4-13.
- Zambrano, F., Lillo-Saavedra, M., Verbist, K. y Lagos, O., 2016. "Sixteen Years of Agricultural Drought Assessment of the BioBío Region in Chile Using a 250 m Resolution Vegetation Condition Index (VCI)", en *Remote Sensing*, 8(6): 530.
- Zambrano, F., Wardlow, B., Tadesse, T., Lillo-Saavedra, M. y Lagos, O., 2017. "Evaluating satellite-derived long-term historical precipitation datasets for drought monitoring in Chile", en *Atmospheric Research*, 186: 26-42.
- Zargar, A., Sadiq, R., Naser, B. y Khan, F. I., 2011. "A review of drought indices", en *Environmental Reviews*, 19: 333-349.
- Zhang, X., Chen, N., Li, J., Chen, Z. y Niyogi, D., 2017. "Multi-sensor integrated framework and index for agricultural drought monitoring", en *Remote Sensing of Environment*, 188: 141-163.



## 9 Agradecimientos

El Centro Regional del Clima para el Sur de Sudamérica, la Administración Nacional del Océano y de la Atmósfera de los Estados Unidos y la Organización Meteorológica Mundial expresan su agradecimiento a todos los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales de América del Sur, así como a los expertos de las diversas instituciones que participaron en el taller de Buenos Aires y que contribuyeron posteriormente al examen del presente Plan Estratégico. Vaya nuestro agradecimiento especial al grupo de asesores que ayudaron a orientar el proceso de planificación inicial del Sistema de Información sobre Sequías para América del Sur.

### *Asesores*

- Hugo Berbery, Universidad de Maryland (ESSIC/CICS)
- José Camacho, Organización Meteorológica Mundial
- Clyde Fraisse, Universidad de Florida
- David Green, NASA
- Mario López, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
- Rodney Martínez, Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño (CIIFEN)
- Eduardo Martins, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
- James Peronto, NOAA/Servicio Meteorológico Nacional
- María de los Milagros Skansi, Servicio Meteorológico Nacional, Argentina

En los siguientes enlaces figuran el programa, las presentaciones y una lista de participantes del taller de Buenos Aires, celebrado en agosto de 2017:

<http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/agm/meetings/sadm17>

<http://www.crc-sas.org/es/cursos.php>.