

DROUGHTS IN THE ANTHROPOCENE

SEQUÍAS EN EL ANTROPOCENO



UNESCO
Publishing

United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization



**DROUGHTS IN
THE ANTHROPOCENE**



**SEQUÍAS EN
EL ANTROPOCENO**

Published by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), 7, place de Fontenoy, 75352 Paris 07 SP, France, and GRID-Arendal, P.O. Box 183, N-4802 Arendal, Norway

© UNESCO and GRID-Arendal, 2019

UNESCO ISBN 978-92-3-000089-9
GRID-Arendal ISBN 978-82-7701-192-9



This publication is available in Open Access under the Attribution ShareAlike 3.0 IGO (CC-BY-SA 3.0 IGO) license (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/igo/>). By using the content of this publication, the users accept to be bound by the terms of use of the UNESCO Open Access Repository (<http://www.unesco.org/open-access/terms-use-ccbysa-en>).

The designations employed and the presentation of material throughout this publication do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of UNESCO or GRID-Arendal concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries.

The ideas and opinions expressed in this publication are those of the authors; they are not necessarily those of UNESCO or GRID-Arendal and do not commit these organizations.



Recommended citation:

Gjerdi, H. L., Gunn, T., Mishra, A., Pulwarty, R. S. and Sheffield, J. 2019. *Droughts in the Anthropocene / Sequías en el Antropoceno*. UNESCO and GRID-Arendal.

Authors

Hanna Lønning Gjerdi, GRID-Arendal, Norway
Tobias Gunn, GRID-Arendal, Norway
Anil Mishra, UNESCO, France
Roger S. Pulwarty, NOAA, USA
Justin Sheffield, University of Southampton, UK

Content contributors and reviewers

Wyatt Arnold, California Department of Water Resources, USA
Steve Darby, University of Southampton, UK
Guy Debonnet, UNESCO WHC, France
Harry Dixon, Centre for Ecology & Hydrology, UK
Miguel Doria, UNESCO, Uruguay
David Farrell, Caribbean Institute for Meteorology and Hydrology, Barbados
Renée Gift, UNESCO, France
Verónica González, UNESCO LINKS, France
Jamie Hannaford, Centre for Ecology & Hydrology, UK
Charlotte Hipkiss, University of Southampton, UK
Adelaide Hitchings, University of Southampton, UK
Craig Hutton, University of Southampton, UK
Lisa Hymas, GRID-Arendal, Norway
Hindou Oumarou Ibrahim, AFPAT, Chad
Feng Jing, UNESCO WHC, France
Kasper Johansen, KAUST, Saudi Arabia
Akmal Karimov, TIAME, Uzbekistan
Bakhtiyor Karimov, TIAME, Uzbekistan
Waldo Lavado, Peruvian National Service of Meteorology and Hydrology, Peru
Jessica Lawson, USA
Roland Lin, UNESCO WHC, France
William S. Logan, ICIWaRM, US Army Corps of Engineers, USA
Romani Maendly, California Department of Water Resources, USA
Gabriel Mancilla, CAZALAC, Chile
Matt McCabe, KAUST, Saudi Arabia
Mizuki Murai, IUCN World Heritage Programme, UK
Akane Nakamura, UNESCO WHC, France
Siri Olsson, GRID-Arendal, Norway
Jean-Marie Kileshye Onema, University of

Witwatersrand, South Africa
Jayakumar Ramasamy, UNESCO, Kenya
Steven Robins, Stellenbosch University, South Africa
Abdulkhakim Salokhiddinov, TIAME, Uzbekistan
David Sear, University of Southampton, UK
Vadim Sokolov, IFAS, Uzbekistan
Astrid Vannoppen, Belgium
Koen Verbist, UNESCO, Zimbabwe
Omogbemi Omololu Yaya, RC-IRBM, National Water Resources Institute, Nigeria

Other contributions

Mariela Antonakopoulou, UNESCO, France
Maud Berthelot, UNESCO, France
Patrycja Breskvar, UNESCO, France
Claire Marine Hugon, France
Hong Huynh, UNESCO, France
Runa Lindebjerg, GRID-Arendal, Norway
Barbara Kavuma Lwanga, UNESCO, France
Alexander Otte, UNESCO, France
Tina Schoolmeester, GRID-Arendal, Norway
Marco Vinaccia, GRID-Arendal, Norway

Layout

GRID-Arendal

Copy-editing

Strategic Agenda, London

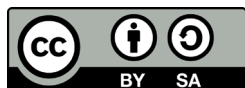
Front cover photo: iStock/Bartosz Hadyniak
Back cover photo: California Department of Water Resources

Publicado por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 7, place de Fontenoy, 75352 París 07 SP, Francia y GRID-Arendal, P.O. Box 183, N-4802 Arendal, Noruega

© UNESCO y GRID-Arendal, 2019

UNESCO ISBN 978-92-3-000089-9

GRID-Arendal ISBN 978-82-7701-192-9



Esta publicación está disponible en acceso abierto bajo la licencia Attribution-ShareAlike 3.0 IGO (CC-BY-SA 3.0 IGO) (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/igo/>). Al utilizar el contenido de la presente publicación, los usuarios aceptan las condiciones de utilización del Repositorio UNESCO de acceso abierto (www.unesco.org/open-access/terms-use-ccbysa-sp).

Los términos empleados en esta publicación y la presentación de los datos que en ella aparecen no implican toma alguna de posición de parte de la UNESCO en cuanto al estatuto jurídico de los países, territorios, ciudades o regiones ni respecto de sus autoridades, fronteras o límites.

Las ideas y opiniones expresadas en esta obra son las de los autores y no reflejan necesariamente el punto de vista de la UNESCO ni comprometen a la Organización.



Cita recomendada:

Gjerdi, H. L., Gunn, T., Mishra, A., Pulwarty, R. S. y Sheffield, J. 2019. *Droughts in the Anthropocene / Sequías en el Antropoceno*. UNESCO y GRID-Arendal.

Autores

Hanna Lønning Gjerdi, GRID-Arendal (Noruega)
Tobias Gunn, GRID-Arendal (Noruega)
Anil Mishra, UNESCO (Francia)
Roger S. Pulwarty, Administración Oceánica y Atmosférica (Estados Unidos de América)
Justin Sheffield, Universidad de Southampton (Reino Unido)

Colaboradores y revisores

Wyatt Arnold, Departamento de Recursos Hídricos de California (Estados Unidos de América)
Steve Darby, Universidad de Southampton (Reino Unido)
Guy Debonnet, UNESCO WHC (Francia)
Harry Dixon, Centro de Ecología e Hidrología (Reino Unido)
Miguel Doria, UNESCO (Uruguay)
David Farrell, Instituto Caribeño de Meteorología e Hidrología (Barbados)
Renée Gift, UNESCO (Francia)
Verónica González, UNESCO LINKS, (Francia)
Jamie Hannaford, Centro de Ecología e Hidrología (Reino Unido)
Charlotte Hipkiss, Universidad de Southampton (Reino Unido)
Adelaide Hitchings, Universidad de Southampton (Reino Unido)
Craig Hutton, Universidad de Southampton (Reino Unido)
Lisa Hymas, GRID-Arendal (Noruega)
Hindou Oumarou Ibrahim, AFPAT (Chad)
Feng Jing, UNESCO WHC (Francia)
Kasper Johansen, KAUST (Arabia Saudita)
Akmal Karimov, TIAME (Uzbekistán)
Bakhtiyor Karimov, TIAME (Uzbekistán)
Waldo Lavado, SENAMHI (Perú)
Jessica Lawson, (Estados Unidos de América)
Roland Lin, UNESCO WHC (Francia)
William S. Logan, ICIWaRM, US Army Corps of Engineers, (Estados Unidos de América)
Romani Maendly, Departamento de Recursos Hídricos de California, (Estados Unidos de América)

Gabriel Mancilla, CAZALAC (Chile)
Matt McCabe, KAUST (Arabia Saudita)
Mizuki Murai, Programa de Patrimonio Mundial de la UICN (Reino Unido)
Akane Nakamura, UNESCO WHC, (Francia)
Siri Olsson, GRID-Arendal (Noruega)
Jean-Marie Kileshye Onema, Universidad del Witwatersrand (Sudáfrica)
Jayakumar Ramasamy, UNESCO (Kenia)
Steven Robins, Universidad de Stellenbosch (Sudáfrica)
Abdulkhakim Salokhiddinov, TIAME (Uzbekistán)
David Sear, Universidad de Southampton (Reino Unido)
Vadim Sokolov, IFAS (Uzbekistán)
Astrid Vannoppen, (Bélgica)
Koen Verbist, UNESCO (Zimbabue)
Omogbemi Omololu Yaya, RC-IRBM, Instituto Nacional de Recursos Hídricos (Nigeria)

Otras contribuciones

Mariela Antonakopoulou, UNESCO (Francia)
Claire Marine Hugon, UNESCO (Francia)
Maud Berthelot, UNESCO (Francia)
Patrycja Breskvar, UNESCO (Francia)
Joan Fabres, GRID-Arendal (Noruega)
Claire Marine Hugon, (Francia)
Hong Huynh, UNESCO (Francia)
Runa Lindebjerg, GRID-Arendal (Noruega)
Barbara Kavuma Lwanga, UNESCO (Francia)
Alexander Otte, UNESCO (Francia)
Tina Schoolmeester, GRID-Arendal (Noruega)
Marco Vinaccia, GRID-Arendal (Noruega)

Diseño

GRID-Arendal

Traducción y revisión

Strategic Agenda, London

Fotografía de la portada: iStock/Bartosz Hadyniak
Fotografía de la contracubierta: Departamento de Recursos Hídricos de California

TABLE OF CONTENTS

Introduction	8
Cape Town – Countdown to Day Zero and the way forward	10
Lake Chad – Tackling drought through cooperation	14
Sub-Saharan Africa – Knowledge to overcome water and food challenges	18
Zambia – Managing multiple objectives in a changing environment	22
Morocco – Harvesting fog in the mountains	26
Saudi Arabia – Sustainable solutions for making the desert bloom	30
Aral Sea – Conserving and rehabilitating a lost sea	34
Keoladeo National Park – A World Heritage site threatened by drought	38
Marshall Islands –Addressing water scarcity in a changing climate	42
Vietnam – The impact of drought in the Lower Mekong	46
California – Mitigating the socioeconomic impacts of drought	50
United Kingdom – Understanding the complexities of drought	54
The Caribbean – Navigating through changing risks	58
Chile – The Mega Drought	62
Peru – Diverse landscapes and monitoring challenges	66
References	70
Photo credits	74

ÍNDICE

Introducción	9
Ciudad del Cabo: la cuenta regresiva hasta el día cero y formas de proceder	13
El Lago Chad: combatiendo la sequía a través de la cooperación	17
África Subsahariana: conocimientos para superar los desafíos relacionados con el agua y los alimentos	21
Zambia: gestionando múltiples objetivos en un entorno cambiante	25
Marruecos: captura de niebla en las montañas	29
Arabia Saudita: soluciones sostenibles para que el desierto florezca	33
El mar de Aral: conservación y rehabilitación de un mar desaparecido	37
El Parque Nacional de Keoladeo: un sitio del Patrimonio Mundial amenazado por la sequía	41
Islas Marshall: dando respuesta al problema de la escasez de agua en un clima cambiante	45
Vietnam: las consecuencias de la sequía en el Bajo Mekong	49
California: mitigando las secuelas socioeconómicas de la sequía	53
Reino Unido: entender la complejidad de las sequías	57
El Caribe: avanzar en un contexto de riesgos cambiantes	61
Chile: la megasequía	65
Perú: paisajes diversos y seguimiento de situaciones problemáticas	69
Bibliografía	70
Créditos fotográficos	74

Introduction

Droughts are slow-onset natural hazards that can last from a few months to decades and affect anything from small watersheds to hundreds of thousands of square kilometres. In addition to their direct impacts on water resources, agriculture and ecosystems, droughts are potential catalysts for fires, heatwaves and invasive incursions, thereby creating multi-hazard environments and furthering the impact on and vulnerability of ecosystems and societies. Though droughts are natural events, there is an increasing understanding of how humans have amplified their severity and worsened their effects on both the environment and human populations. Humans have altered both meteorological droughts through human-induced climate change and hydrological droughts through management of water movement and processes within a landscape, such as by diverting rivers or changing land use. In the Anthropocene (the ongoing period in which humans are the dominant influence on climate and the environment), droughts are closely entwined with human actions, cultures and responses.

Droughts affect economies (causing economic damage in the range of tens of billions of US\$ each year) as well as ecosystems and societies, particularly in arid and subtropical regions and in developing countries. Between 1995 and 2015, drought-related natural disasters affected 1.1 billion people and caused about 22,000 fatalities [1]. Women and girls are typically the hardest affected by drought due to gender inequalities, unequal power distribution and limited control over resources, making them even more vulnerable to drought impacts.

Addressing water scarcity in transboundary basins is a complex challenge: climate change and human influences put pressure on freshwater supplies, while lakes and rivers that cross international

borders require coordinated interventions that take into consideration the basin as a whole. Droughts in the Anthropocene will therefore require us to take new approaches and share knowledge to find sustainable solutions. To mitigate the effects of droughts, we must increase human and institutional capacity, provide access to relevant early warning information that supports decision-making and completes the ‘last mile’ in communication and response, identify vulnerable communities and integrate these components into proactive drought management policies [2].

The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) has been involved in water management and science for over 70 years, supporting research, capacity-building and management of water resources. Between 1948 and 1964, the Arid Zone Initiatives helped draw attention to the importance of hydrology and water management within arid landscapes. The following International Hydrological Decade of 1965–1974 enabled significant progress at the regional level in terms of research, training, capacity-building and hydrological investigations, which laid the foundation for the establishment of the International Hydrological Programme (IHP) in 1975. This programme gave UNESCO a more active role across the global, regional and local levels of governance to enhance water sustainability. Since its establishment, IHP has expanded through initiatives, associated programmes and the development of regional and global centres and focal points with UNESCO chairs. IHP’s activities, as well as its initiatives such as the Global Network on Water and Development Information for Arid Lands (G-WADI) and the International Drought Initiative (IDI), continue to support countries in identifying and addressing drought management gaps and needs by strengthening global, regional and local capacities to manage water resources

and by providing access to data and policy recommendations to ensure more integrated drought management. Furthermore, IHP’s From Potential Conflict to Cooperation Potential (PCCP) initiative aims to promote the collaborative and sustainable management of transboundary waters as a means of enabling peace and water security.

This publication has been produced as part of the digital interactive exhibition Droughts in the Anthropocene, prepared for the fortieth session of the UNESCO General Conference, and for the UNFCCC COP 25. The exhibition uses a number of case studies from around the world to showcase the social, environmental and cultural impacts of droughts and water scarcity. It highlights solutions offered by collaboration between scientists and local communities, and the important work of IHP and partners in bridging science with society and policymakers to better address the impact of droughts. The exhibition also features youth action on climate change and the work of young water scientists and professionals. In preparation for the exhibition, young scientists have helped compile case studies and been involved in developing an interactive web-based platform that provides real-time forecast information on weather and drought conditions. This publication and the exhibition are the result of the work of UNESCO IHP in partnership with GRID-Arendal, the University of Southampton and the U.S. National Integrated Drought Information System (NIDIS).

Introducción

Las sequías son riesgos naturales de evolución lenta que pueden durar desde unos meses a decenios, y afectar desde pequeñas cuencas hidrográficas hasta áreas de cientos de miles de kilómetros cuadrados. Además de sus consecuencias directas sobre los recursos hídricos, la agricultura y los ecosistemas, las sequías son catalizadores de incendios, olas de calor o penetración de especies invasoras, con lo que generan situaciones de múltiples riesgos y agravan su impacto en los ecosistemas y sociedades, así como la vulnerabilidad de estos. Si bien las sequías son fenómenos naturales, existe una creciente conciencia de que el ser humano ha amplificado su gravedad y empeorado sus efectos en el medio ambiente y las poblaciones humanas. La humanidad ha alterado tanto las sequías meteorológicas —a través del cambio climático antropogénico— como las sequías hidrológicas —debido a la gestión del movimiento del agua y los procesos hídricos de un paisaje—, por ejemplo al desviar los ríos o cambiar los usos del suelo. En el Antropoceno (período en curso, en el cual el ser humano constituye la influencia predominante en el clima y el medio ambiente), las sequías están estrechamente relacionadas con las acciones, culturas y respuestas humanas.

Las sequías afectan las economías (causando perjuicios económicos valorados en decenas de miles de millones de dólares al año), los ecosistemas y las sociedades, sobre todo en las regiones áridas y subtropicales, así como en los países en desarrollo. Entre 1995 y 2015, las catástrofes naturales relacionadas con las sequías afectaron a 1.100 millones de personas y provocaron alrededor de 22.000 muertes [1]. Las mujeres y las niñas suelen estar más severamente afectadas por la sequía a causa de las desigualdades de género, la distribución dispar de poder y las limitaciones en el control de los recursos, que aumentan su vulnerabilidad a las consecuencias de la sequía.

Hacer frente a la escasez de agua en las cuencas transfronterizas plantea un reto complejo: el cambio

climático y la influencia humana ejercen presión sobre el suministro de agua dulce, mientras que los lagos y ríos que cruzan las fronteras internacionales requieren intervenciones coordinadas que consideren la cuenca en su conjunto. Por tanto, las sequías en el Antropoceno exigen enfoques novedosos y la puesta en común de conocimientos con vistas a hallar soluciones sostenibles. Para mitigar los efectos de las sequías hay que aumentar la capacidad humana e institucional, facilitar el acceso a información de alerta temprana adecuada que fundamente las decisiones y ayude a recorrer el último tramo de comunicación y respuesta, determinar cuáles son las comunidades vulnerables e integrar estos componentes en políticas proactivas para la gestión de la sequía [2].

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) participa en la gestión y el estudio de los recursos hídricos desde hace más de 70 años; en este sentido, ha apoyado la investigación, el fomento de la capacidad y la gestión de los recursos hídricos. Entre 1948 y 1964, las Iniciativas sobre las Zonas Áridas llamaron la atención sobre la importancia de la hidrología y la gestión del agua en los paisajes áridos. El posterior Decenio Hidrológico Internacional, entre 1965 y 1974, posibilitó avances significativos a nivel regional en las esferas de la investigación, la educación, el fomento de la capacidad y los estudios hidrológicos, con lo que se sentaron las bases para la creación en 1975 del Programa Hidrológico Internacional (PHI). Con este programa, la UNESCO asumió un papel más activo en la gobernanza internacional, regional y local con ánimo de mejorar la sostenibilidad de los recursos hídricos. Desde que se puso en marcha, el PHI se ha ido ampliando mediante iniciativas, programas asociados y el desarrollo de centros y coordinadores regionales y mundiales con cátedras UNESCO. Las actividades e iniciativas del PHI —como la Red Mundial de Información sobre los Recursos Hídricos y el Desarrollo en las Zonas Áridas (G-WADI) y la Iniciativa Internacional sobre Sequías (IDI)— siguen ayudando a los países a detectar y corregir

deficiencias y necesidades en la gestión de sequías mediante el fortalecimiento de las capacidades mundiales, regionales y locales para gestionar los recursos hídricos, así como el acceso a datos y recomendaciones sobre políticas que favorezcan una gestión de las sequías más integrada. De manera simultánea, la iniciativa «Desde el potencial conflicto a la potencial cooperación» tiene por objeto promover la gestión conjunta y sostenible de las aguas transfronterizas como vehículo hacia la paz y seguridad hídrica.

Esta publicación se ha elaborado en el marco de la muestra digital interactiva Las sequías en el Antropoceno, preparada con motivo de la 40ª reunión de la Conferencia General de la UNESCO y de la 25ª Conferencia de las Partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. La muestra se sirve de varios estudios sobre casos alrededor del mundo para dar a conocer las consecuencias sociales, ambientales y culturales de las sequías y la escasez de agua. Destaca las soluciones que aporta la colaboración entre la comunidad científica y las comunidades locales, así como la importante labor del PHI de la UNESCO de cara a acercar el conocimiento científico a la sociedad y a los encargados de formular políticas con vistas a dar una mejor respuesta a los efectos de las sequías. En la muestra también se plasman la acción de los jóvenes en relación con el cambio climático y el trabajo de los jóvenes hidrólogos y profesionales de este ámbito. Al preparar la muestra, jóvenes científicos han ayudado a recopilar los estudios de casos y han participado en la elaboración de una plataforma web interactiva que facilita pronósticos en tiempo real de condiciones meteorológicas y de sequía. Esta publicación y la muestra son el fruto de la colaboración del PHI de la UNESCO con GRID-Arendal, la Universidad de Southampton y el Sistema Nacional Integrado de Información sobre la Sequía (NIDIS) de los Estados Unidos.

Cape Town – Countdown to Day Zero and the way forward

In 2018, the world watched as Cape Town, South Africa's second largest city, edged towards becoming the first major city to run out of water. Three consecutive years of low rainfall starting in 2015 had led to one of the worst droughts in Cape Town's history. Water use outstripped the rate of replenishment in the reservoirs behind Cape Town's six dams, causing the capacity to rapidly decline from 97 per cent in 2014 [1] to just 21 per cent in 2018 [2]. Facing a complete collapse of its water system, the city introduced a countdown to Day Zero, the day when dam water reserves would hit just 13.5 per cent capacity [3]. Day Zero would trigger the restriction of water to only critical services, causing the taps of just over 4 million residents to run dry [3]. The drought affected the everyday lives of Cape Town's residents, including schooling, recreation and Government services, and caused large disruptions to agriculture, industry and tourism, resulting in a considerable loss of jobs.

Impacts of climate change, rapid population growth and a comparatively high water consumption rate within Cape Town left the city exposed to the effects of drought. Two years before the crisis, officials had declared there was no need to increase water supplies until 2020, a decision made at a time when the reservoirs were at full capacity after receiving the highest rainfall in decades [1]. The failure to implement adequate responses to curb water consumption in the early stages of the drought was a core factor that led to the crisis. The failure to diversify Cape Town's water supply made the city particularly vulnerable to droughts, as it relied on surface water run-off from rain for 95 per cent of its water needs [4]. Climate change is increasing this vulnerability as rainfall has been declining and temperatures have been rising in the region, resulting in the likelihood of drought tripling [5].

The drought brought to light existing inequalities, which some water crisis management strategies exacerbated. If Day Zero had been reached, residents of Cape Town would have been required to collect their 25-litre allocation of water per day from one of 200 planned distribution points throughout the city [6]. But for the tens of thousands of residents in informal settlements, Day Zero would have had little impact; they were already living in a constant state of water crisis. Residents within informal settlements account for 13.5 per cent of Cape Town's population [7], but only use 4.7 per cent of the city's water, compared with wealthier areas which consume over 70 per cent [8]. As the crisis evolved, further burdens were placed on poorer populations via the fitting of water management devices, removal of free water allocations and tariff increases. In contrast, among rich populations the drilling of private bore holes rapidly increased, as they had the financial means to adapt.

Ultimately, Cape Town was able to avoid a complete failure of its water systems by drastically reducing water consumption. Throughout the Day Zero countdown, officials communicated with the public about dam levels, consumption rates and the importance of water-conserving behaviours. In the most acute stages of the drought, water was restricted to just 50 litres per person [9]. Agricultural water use was also restricted. An overall reduction in water use was achieved through a broad range of measures including restrictions, improved monitoring, education, communication and the improvement of water infrastructure and management. These water-saving interventions were highly effective: the city's average daily consumption dropped from 1,200 ML (million litres) in 2015 to just 500 ML in 2018 [9]. Conserving existing supplies allowed time for new supplies to be added through

desalination plants, water recycling and increasing groundwater extraction. The crisis was finally ended by rainfall that replenished reservoir levels.

IHP and partners organized a training workshop on Climate Risk Informed Decision Analysis (CRIDA) in Cape Town in May 2019, in collaboration with the Alliance for Global Water Adaptation (AGWA), the U.S. Army Corps of Engineers (USACE), Deltares, the Dutch Ministry of Water and Infrastructure and the International Center for Integrated Water Resources Management (ICIWaRM) [10]. The workshop trained key stakeholders on the different aspects of the CRIDA approach and identified potential case studies and causes of the crisis faced by Cape Town.



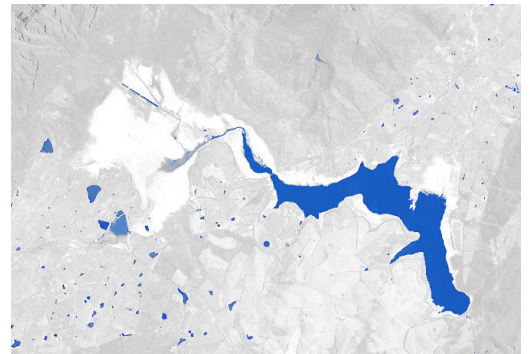
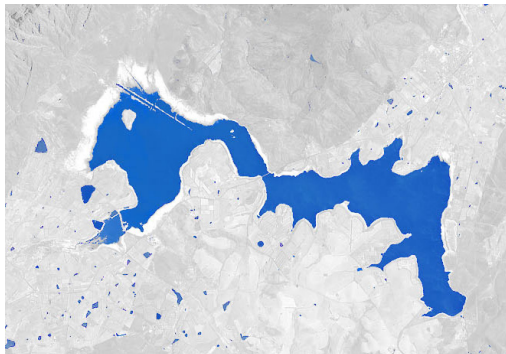
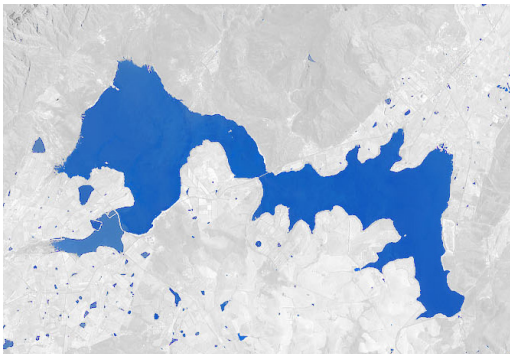
*Decreasing water levels in
the Theewaterskloof Dam.
Disminución de los niveles
de agua de la presa de
Theewaterskloof.*



Many people of Cape Town collected water from natural springs daily during the drought crisis.

Numerosas personas de Ciudad del Cabo extrajeron agua a diario de manantiales naturales durante la crisis de la sequía.

*Water levels in Theewaterskloof Dam in 2014, 2016 and 2018.
Niveles de agua en la presa de Theewaterskloof en 2014, 2016 y 2018.*



Ciudad del Cabo: la cuenta regresiva hasta el día cero y formas de proceder

En 2018, el mundo observó cómo Ciudad del Cabo, la segunda ciudad más grande de Sudáfrica, estaba a punto de convertirse en la primera gran ciudad que se quedaba sin agua. Tres años consecutivos de precipitaciones escasas desde 2015 habían provocado una de las peores sequías de su historia. El consumo de agua superaba la tasa de reabastecimiento de los embalses creados por las seis presas de la ciudad, de modo que la capacidad descendió rápidamente del 97% en 2014 [1] a solo un 21% en 2018 [2]. Ante el riesgo de que el sistema hidrológico se derrumbara por completo, la ciudad inició una cuenta regresiva hasta el día cero, es decir, aquel en el que las reservas de agua de las presas se situarían en el 13,5% de capacidad [3]. En el día cero, el consumo de agua se restringiría a los servicios fundamentales, de modo que los grifos de más de 4 millones de residentes dejarían de correr [3]. La sequía afectó a la vida cotidiana de los residentes de Ciudad del Cabo —por ejemplo a la educación, el ocio y los servicios públicos— y provocó graves trastornos en la agricultura, la industria y el turismo que propiciaron la pérdida de numerosos empleos.

Las consecuencias del cambio climático, el rápido crecimiento demográfico y un consumo de agua relativamente más alto en Ciudad del Cabo expusieron a la ciudad a los efectos de la sequía. Dos años antes de la crisis, una serie de oficiales habían afirmado que no sería preciso aumentar los suministros de agua hasta 2020, una decisión que se adoptó cuando los embalses estaban a su máxima capacidad debido a la precipitación más abundante de los últimos decenios [1]. No aplicar respuestas adecuadas para reducir el consumo de agua en las primeras etapas de la sequía fue un factor decisivo de la crisis posterior. Al no diversificarse el abastecimiento de agua, Ciudad del Cabo resultaba especialmente vulnerable a las sequías, pues el 95% de sus necesidades se cubrían con la escorrentía superficial procedente de la lluvia [4]. Esta vulnerabilidad se está exacerbando a causa del

cambio climático: las precipitaciones disminuyen y las temperaturas suben en la región, lo que triplica las probabilidades de sequía [5].

Con la sequía salieron a la luz las desigualdades existentes, que ciertas estrategias para la gestión de los recursos hídricos durante la crisis agravaron. De haber llegado el día cero, los habitantes de Ciudad del Cabo habrían tenido que recoger los 25 litros asignados por día en uno de los 200 puntos de distribución previstos en la ciudad [6]. Sin embargo, el día cero apenas habría afectado a las decenas de miles de residentes de los asentamientos informales: ya vivían en una crisis hídrica constante. Los asentamientos informales albergan al 13,5% de la población [7], pero solo son responsables del 4,7% del consumo de agua en la ciudad, en contraste con las zonas más ricas, que consumen más del 70% [8]. Con el progreso de la crisis, las poblaciones más pobres hicieron frente a nuevas cargas a raíz de la instalación de dispositivos para la gestión del agua, la eliminación de las asignaciones gratuitas de agua y el incremento de las tarifas. En cambio, en las poblaciones ricas aumentó con celeridad la excavación de pozos de sondeo privados, ya que disponían de medios económicos para adaptarse.

Finalmente, Ciudad del Cabo evitó que sus sistemas hidrológicos se interrumpieran por completo al reducir de manera drástica el consumo de agua. Durante la cuenta regresiva hasta el día cero, los funcionarios comunicaron a la población el nivel de los embalses, los índices de consumo y la importancia de las medidas de ahorro de agua. En las fases más agudas de la sequía, el consumo de agua se limitó a solo 50 litros por persona [9]. También se restringió el uso de agua con fines agrícolas. La reducción general del consumo de agua fue posible gracias a un amplio conjunto de medidas que abarcó restricciones, un seguimiento mejorado, la educación, la comunicación y la mejora de la infraestructura y la gestión de los recursos hídricos. Estas intervenciones para ahorrar

agua resultaron muy eficaces: el consumo medio diario de la ciudad se redujo de 1.200 ML (millones de litros) en 2015 a 500 ML en 2018 [9]. Al preservar los suministros existentes se dispuso de tiempo para sumar otros nuevos procedentes de las plantas desalinizadoras, el reciclaje de agua y el aumento de las extracciones de aguas subterráneas. La crisis llegó a su fin cuando las precipitaciones llenaron de nuevo los embalses.

En mayo de 2019, el PHI y sus asociados organizaron en Ciudad del Cabo un taller de capacitación sobre el análisis de las decisiones basadas en el riesgo climático (CRIDA), en colaboración con la Alianza para la Adaptación Mundial del Agua (AGWA), el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (US Army Corps of Engineers), Deltares, el Ministerio de Agua e Infraestructura de los Países Bajos y el Centro Internacional para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (ICIWaRM) [10]. En el taller se capacitó a una serie de actores clave en distintos aspectos del enfoque CRIDA y se identificaron posibles estudios de caso y causas de la crisis de Ciudad del Cabo.

Lake Chad – Tackling drought through cooperation

Lake Chad is a productive yet fragile ecosystem of vital importance to the bordering countries of Cameroon, Nigeria, Niger and Chad, as close to 30 million people's livelihoods rely on it [1]. The region is highly impoverished and increasingly vulnerable, with extremely high population growth, land degradation, pollution and conflict further straining the region's resources and management. Lake Chad's rapid decline, from a 22,000 km² expanse in the 1960s to just 1,700 km² in 1985 [2], became a symbol of environmental deterioration. The idea that Lake Chad was disappearing due to human disturbance (for example, through irrigation) or climate change became a scientific and popular belief [3]. However, neither of these factors played a significant role; rather, the lake's decline was primarily caused by two prolonged droughts in the 1970s and 1980s that ended a wet period of peak water levels [4].

The profound and unexpected change in the lake had a devastating socioeconomic and environmental impact in the surrounding countries. The droughts played a fundamental role in the development of resource use in the Lake Chad Basin. Large internal migrations occurred towards Lake Chad as crops failed and water scarcity increased. The population around the lake tripled from just 700,000 in 1973 to 2.2 million today [5] and, without sustainable agricultural developments to support it, increased pressure on the decreasing resources. Resource conflict arose out of tensions among different communities and countries, which challenged resource management and development [5]. The changes in the size of Lake Chad over time are both considerable and continuous, however the average size has remained stable at approximately 8,000 km² since 2000 [2]. Although the 'trend to disappearance' has not materialized, development challenges and

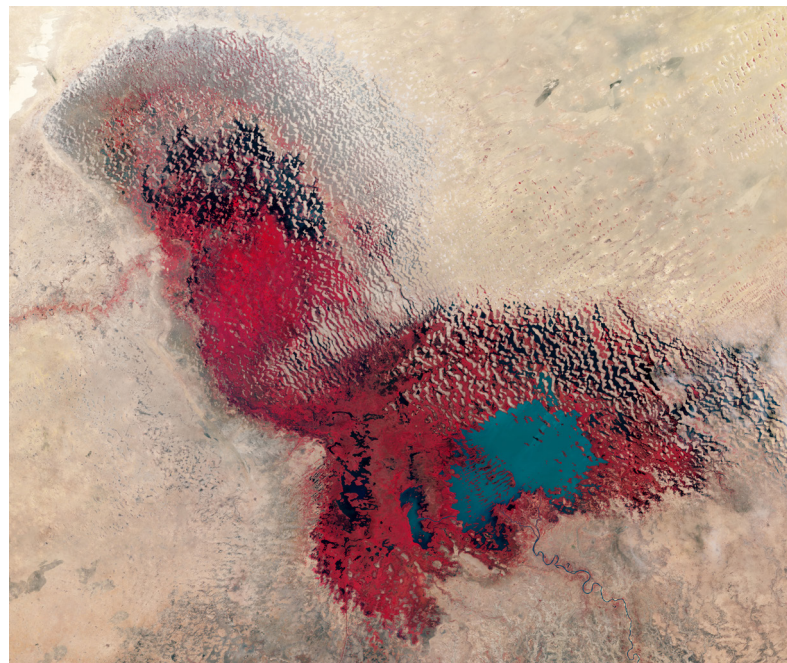
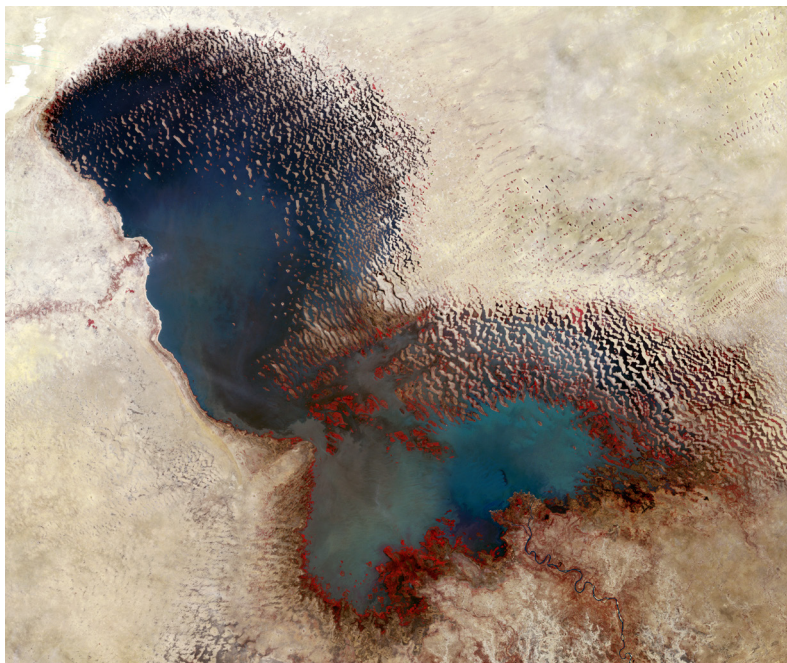
drought continue to threaten to tip the region's acute vulnerability into crisis.

The shallow nature of the lake means that its surface area frequently changes between wet and dry seasons, as well as shrinking or expanding for prolonged periods. Communities have long adapted to these seasonal changes by transitioning from fishing in the wet season to livestock herding or planting crops as the water retreats [2]. The lake's variability poses challenges to both development and food security, and long-term changes in the lake's surface extent will affect the viability of certain livelihoods. Therefore, monitoring and early warning of hydrological conditions would support actions to mitigate and adapt to climatic shocks such as droughts.

To promote sustainable development for reconciliation and peace in the Lake Chad region, UNESCO developed a multisectoral and multidisciplinary response through the project BIOSphere and Heritage of Lake Chad (BIOPALT) implemented in Cameroon, Central African Republic, Chad, Niger and Nigeria. The regional flood and drought monitoring system developed by Princeton University, University of Southampton and Princeton Climate Analytics in collaboration with IHP for the Lake Chad Basin is a critical tool to support the management of resources and further understand the hydrological dynamics. The system's use of remotely sensed data from satellites addresses the very limited and unreliable ground monitoring network that inhibits the provision of accurate information and timely predictions. The system provides close to real-time information on both droughts and floods affecting the surface extent of Lake Chad. Furthermore, it provides short-term to seasonal forecasts, enabling decisions to be made on the management of resources and risks.

Such information is important in dynamic systems such as Lake Chad as it can better inform communities about the situation they are facing, enabling them to adapt to it and mitigate its effects. The transboundary nature of the monitoring system allows for open information-sharing between the surrounding countries, which is currently limited but crucial to understanding the potential implications of new dams or irrigation projects. The monitoring system is also important for understanding the effects of climate change in the region. The ability to monitor changes over time will be important in confirming reports of changes in the intensity and timing of weather events. In partnership with the Local and Indigenous Knowledge Systems (LINKS) programme, the Association des Femmes Peuples Autochtones du Tchad [Association of Fulani Women and Indigenous Peoples of Chad, AFPAT] has carried out community research with Fulani M'Bororo indigenous pastoralists. Due to the lake's crucial role in their livelihoods, pastoralists have developed detailed knowledge about its ecology and hydrology. Held in collective memory and passed down through oral histories, this knowledge enables complex assessments of the lake's condition and resources to be made. The inclusion of this knowledge in monitoring systems can provide localized data and historical context to both projections and real-time information. Furthermore, it can increase the usefulness of the monitoring systems by collecting information that connects climatic and hydrological events to their influence on social, cultural and economic well-being.





*Lake Chad, changes in water extent
between 1973 and 2017.*

*Cambios en la extensión de las aguas
del lago Chad entre 1973 y 2017.*



*Boats on the shore
of Lake Chad.
Embarcaciones a
orillas del lago Chad.*

El Lago Chad: combatiendo la sequía a través de la cooperación

El Lago Chad es un ecosistema productivo, aunque frágil, de vital importancia para los países que lo circundan —Camerún, Nigeria, Níger y el Chad—, pues los medios de vida de casi 30 millones de personas dependen de él [1]. La región tiene índices de pobreza elevados y es cada vez más vulnerable debido a un muy alto crecimiento demográfico, degradación de las tierras, contaminación y conflictos, que conllevan todavía más presión para los recursos y la gestión de la región. La rápida merma del Lago Chad, de 22.000 km² de extensión en la década de 1960 a solo 1.700 km² en 1985 [2], se ha convertido en un símbolo del deterioro del medio ambiente. La idea de que el Lago Chad estaba desapareciendo debido a la interferencia humana (por ejemplo, el riego agrícola) o el cambio climático caló en la comunidad científica y la población [3]. No obstante, ninguno de esos factores fue significativo; por el contrario, la merma del lago fue provocada fundamentalmente por dos sequías prolongadas en las décadas de 1970 y 1980, que pusieron fin a un período húmedo en el que el agua alcanzó niveles máximos [4].

El cambio profundo e imprevisto del lago ha tenido efectos socioeconómicos y ambientales devastadores en los países circundantes. Las sequías han sido fundamentales para el desarrollo del uso de los recursos de la cuenca del Lago Chad. Conforme se perdían cultivos y se agravaba la escasez de agua, se produjeron grandes migraciones internas hacia el lago. La población en torno a este se triplicó: de 700.000 personas en 1973 a 2,2 millones en la actualidad [5]; y, sin proyectos agrícolas sostenibles que la sustentasen, incrementó la presión sobre unos recursos cada vez más escasos. Surgieron conflictos provocados por las tensiones entre distintas comunidades y países a causa de esta carestía, y la gestión y el desarrollo de los recursos se vieron comprometidos [5]. Los cambios en la superficie del Lago Chad son considerables y continuos, aunque la superficie media se ha mantenido estable en aproximadamente 8.000 km² desde el año 2000 [2]. Si bien la «tendencia a la desaparición» no se ha hecho

realidad, las dificultades para el desarrollo y la sequía todavía amenazan con convertir la vulnerabilidad aguda de la región en una crisis.

Dada la poca profundidad del lago, su superficie cambia con frecuencia entre las estaciones húmeda y seca; también se contrae o expande durante períodos prolongados. Hace mucho que las comunidades se han adaptado a estos cambios estacionales: en la estación húmeda se dedican a la pesca y, cuando el agua retrocede, al pastoreo o al trabajo de cultivo [2]. La variabilidad del lago plantea dificultades para el desarrollo y la seguridad alimentaria, y los cambios a largo plazo en su extensión superficial repercutirán en la viabilidad de ciertos medios de vida. Así pues, el monitoreo y las alertas tempranas sobre las condiciones hidrológicas contribuirían a las medidas encaminadas a mitigar riesgos climáticos como la sequía y a adaptarse a ellas.

Con ánimo de promover el desarrollo sostenible en aras de la reconciliación y la paz en la región del Lago Chad, la UNESCO implementó una intervención multisectorial y multidisciplinar en el marco del proyecto «Biosfera y patrimonio del Lago Chad» (BIOPALT), que se desarrolló en Camerún, el Chad, el Níger, Nigeria y la República Centroafricana. El sistema de monitoreo de las inundaciones y sequías en la región —desarrollado para la cuenca del Lago Chad por la Universidad de Princeton, la Universidad de Southampton y Princeton Climate Analytics en colaboración con el PHI— constituye una herramienta esencial que facilita la gestión de los recursos y la comprensión de las dinámicas hidrológicas. Al utilizar datos de sensores remotos satelitales, el sistema hace frente a las limitadas y poco fiables redes de seguimiento de terreno, que impiden facilitar información precisa y pronósticos oportunos. El sistema ofrece información casi en tiempo real sobre las sequías e inundaciones que afectan a la extensión superficial del Lago Chad. Asimismo, facilita pronósticos a corto plazo y estacionales, posibilitando así la adopción de decisiones relativas a la gestión de recursos y riesgos.

Esta información resulta importante en sistemas dinámicos como el Lago Chad, pues puede servir para que las comunidades estén mejor informadas sobre la situación a la que se enfrentan y, de ese modo, puedan adaptarse a ella o mitigar sus efectos. Contar con un sistema de vigilancia transfronterizo hace posible el libre intercambio de información entre los países circundantes, una información que en este momento es limitada, pero resulta fundamental para entender las posibles consecuencias de los nuevos embalses o proyectos de riego. El sistema de vigilancia también es importante para comprender los efectos del cambio climático en la región. Poder hacer un seguimiento de los cambios será importante para confirmar los informes sobre cambios en la intensidad y la duración de los fenómenos meteorológicos. En colaboración con el programa encargado de los Sistemas de Conocimientos Locales e Indígenas (LINKS), la Association des Femmes Peuples Autochtones du Tchad («Asociación de mujeres fulani y pueblos indígenas del Chad») ha llevado a cabo un estudio comunitario con los ganaderos indígenas del subgrupo bororo de los fulani. En vista de la importancia clave del lago para sus medios de vida, los pastores conocen al detalle su ecología e hidrología. Preservado en la memoria colectiva y transmitido por medio de relatos orales, este conocimiento permite hacer evaluaciones complejas sobre la situación y los recursos del lago. Al incorporar este acervo a los sistemas de vigilancia pueden obtenerse datos localizados y contexto histórico tanto para las proyecciones como para la información en tiempo real. Es más, quizás los sistemas de vigilancia resulten más útiles al recopilar información que vincule los fenómenos climáticos e hidrológicos con su influencia en el bienestar social, cultural y económico.

Sub-Saharan Africa – Knowledge to overcome water and food challenges

In the sub-Saharan African countries of Ghana, Kenya and Malawi, people's access to food and water is severely affected by climate variability. The most vulnerable groups in society, whose livelihoods are dependent on pastoralism or subsistence farming in semi-arid and arid regions, are often acutely affected. Water-related disasters can perpetuate the cycle of poverty, and droughts are a central driver of both famine and malnutrition in sub-Saharan Africa [1], and an inhibiting factor to economic growth and development [2]. Pressures from climate change, land degradation and increasing populations converge to create local, national and regional challenges to water and food security.

Although there is a need to assess water resources and how they relate to agricultural production and the resilience of local communities, local research and data have been scarce. A collaborative project is working to fill this gap. Called Building Research Capacity for Sustainable Water and Food Security in Drylands of sub-Saharan Africa (BRECCIA), it is supported by the United Kingdom (UK) Government through its Global Challenges Research Fund (GCRF) and led by the University of Southampton, in coordination with IHP [3]. The four-year project seeks to understand the dynamic relationships between food production, dryland water variability and policies, and how this can inform resilience and adaptation opportunities. It aims to build research capacity in local institutions, especially among early-career researchers, focusing on informing policies to improve food and water security for the poorest within society.

BRECCIA is based on a locally driven interdisciplinary approach, involving 52 researchers in five research teams [4]. The research starts with stakeholder

engagement to help identify specific research questions that are important to decision makers, communities and those experiencing the impact of climate change. Once research questions have been identified, small research projects are designed by interdisciplinary teams working closely with stakeholders so that the user perspective is kept central. In some cases, stakeholders even join these project teams to form partnerships with academic institutes, strengthen existing links and create new ones.

The project is being implemented across several sites, drawing on indigenous and local knowledge to identify challenges and inform solutions. The research combines institutional and legal reviews, focus groups, hydrological mapping, biophysical assessments and interviews with key informants of policymakers and community leaders. The analysis will be used to identify capacity gaps that have resulted in low adaptive ability and resilience in the area. Examples of specific projects include the use of drones to assess small-scale irrigated cropland in southern Malawi, where high spatial resolution satellite images are used to classify agricultural areas and land-use types [5]. Understanding how agricultural land use is changing is necessary in order to understand food security and using this type of data can bridge the knowledge gap in Ghana, Kenya and Malawi. BRECCIA is also working with IHP to understand the potential of rainwater harvesting for addressing water scarcity in some regions. UNESCO's Rainwater Harvesting App developed in collaboration with several partners allows people to obtain information on how to collect rainwater and store it appropriately [6]. It also offers a rainwater calculator allowing people to estimate how much water they can harvest in a given geographical area [7]. The tool contains

rainfall data for all the 54 African countries and is available in three languages: English, French and Kiswahili.

The overall approach and specific projects will have an impact on local communities through improved access to reliable information, increased capacity of local institutions, and connections to a network of partners. Ultimately, BRECCIA is focused on improving the lives of those in the most vulnerable communities, whose livelihoods depend on critical ecosystem services.



Massai Women carrying water in Kenya.

Mujeres masái cargan con agua en Kenia.



A herd of goats in the Kaisut Desert, Kenya.

Rebaño de cabras en el desierto de Kaisut (Kenia).





Young researchers collecting soils data on a smallholder farm in Malawi.

Jóvenes investigadoras recopilan datos relativos al suelo en una pequeña explotación agrícola en Malawi.



Participatory mapping of resources in Malawi.

Cartografía de recursos participativa en Malawi.

África Subsahariana: conocimientos para superar los desafíos relacionados con el agua y los alimentos

En Ghana, Kenya y Malawi, países del África Subsahariana, el acceso de la población al alimento y el agua se ve gravemente afectado por la variabilidad del clima. Los grupos más vulnerables de la sociedad —cuyos medios de vida dependen del pastoreo o la agricultura de subsistencia en regiones áridas o semiáridas— a menudo sufren consecuencias graves. Los desastres relacionados con el agua pueden perpetuar el ciclo de pobreza, y las sequías son un factor principal de la hambruna y la malnutrición en África Subsahariana [1] que obstaculizan el crecimiento económico y el desarrollo [2]. Las presiones generadas por el cambio climático, la degradación de la tierra y el crecimiento demográfico se combinan y dan pie a una serie de desafíos locales, nacionales y regionales para la seguridad hídrica y alimentaria.

Aunque es preciso evaluar los recursos hídricos y su relación con la producción agrícola y la resiliencia de las comunidades locales, existen escasos estudios y datos locales. Para solventar esta deficiencia se ha puesto en marcha un proyecto colaborativo. El proyecto se llama Formando Capacidades de Investigación para la Seguridad Hídrica y Alimentaria en Tierras Secas de África Subsahariana (BRECCIA) y recibe apoyo del Gobierno del Reino Unido a través de su Global Challenges Research Fund (GCRF), siendo dirigido por la Universidad de Southampton en coordinación con el PHI [3]. Con una duración de cuatro años, el proyecto busca entender las relaciones dinámicas entre la producción de alimentos, la variabilidad de los recursos hídricos en las zonas secas y las políticas, y cómo estas pueden fundamentar las oportunidades para la resiliencia y la adaptación. Su propósito es mejorar la capacidad de investigación de las instituciones locales —sobre todo entre los investigadores que inician su carrera— con especial atención en la configuración de políticas que mejoren la seguridad alimentaria y del abastecimiento de agua para los miembros más pobres de la sociedad.

BRECCIA parte de un enfoque interdisciplinar impulsado localmente; en el proyecto participan 52 investigadores agrupados en 5 equipos [4]. Al inicio del estudio, se colabora con las partes interesadas a fin de determinar qué preguntas de investigación concretas resultan de interés para los encargados de adoptar decisiones, las comunidades y aquellos que sufren las consecuencias del cambio climático. Una vez definidas esas preguntas, una serie de equipos interdisciplinarios que colaboran estrechamente con las partes interesadas, a fin de mantener el énfasis en la perspectiva del usuario, diseñan pequeños proyectos de investigación. En ocasiones, las partes interesadas incluso se incorporan a los equipos de proyecto, de modo que se establecen alianzas con instituciones académicas, se refuerzan los vínculos existentes y se crean otros nuevos.

El proyecto se está ejecutando en varios sitios, aprovechando los conocimientos de la población indígena y local para determinar los desafíos y fundamentar las soluciones. La investigación abarca revisiones institucionales y jurídicas, grupos focales, cartografía hidrológica, evaluaciones biofísicas y entrevistas con informantes clave de los encargados de formular políticas y los líderes comunitarios. El análisis servirá para detectar brechas de capacidades que derivan en una baja aptitud de adaptación y resiliencia en la zona. Un ejemplo de proyecto específico es el uso de drones para evaluar las tierras de regadío a pequeña escala del sur de Malawi, en el cual las imágenes por satélite de alta resolución espacial se utilizan para clasificar las zonas agrícolas y los usos de la tierra [5]. Saber cómo está cambiando el uso de las tierras agrícolas es necesario para conocer la situación en materia de seguridad alimentaria, y este tipo de datos puede paliar el déficit de conocimientos en Ghana, Kenya y Malawi. BRECCIA colabora también con el PHI de la UNESCO con vistas a determinar las posibilidades de la captación del agua de lluvia para combatir la escasez de esta en ciertas regiones.

La aplicación sobre cosecha de aguas-lluvia de la UNESCO, desarrollada en colaboración con varios asociados, explica cómo captar agua de lluvia y almacenarla correctamente [6]. Consta también de una herramienta para calcular cuánta agua se puede recoger en una zona geográfica determinada [7]. La aplicación cuenta con datos sobre las precipitaciones en los 54 países africanos y está disponible en francés, inglés y kiswahili.

El enfoque general y los proyectos específicos repercutirán en las comunidades locales al mejorar el acceso a información fiable, aumentar la capacidad de las instituciones locales y establecer vínculos con una red de asociados. A la larga, BRECCIA persigue mejorar la vida de los integrantes de las comunidades más vulnerables, cuyos medios de vida dependen de servicios esenciales de los ecosistemas.

Zambia – Managing multiple objectives in a changing environment

In the centre of southern Africa lies the landlocked country of Zambia. In its capital, Lusaka, an estimated 60–70 per cent of the 2.5 million inhabitants live in informal settlements or peri-urban areas [1] [2]. During the dry season, Zambia is prone to drought and has struggled with insufficient water resources. Climate change is projected to lead to lower rainfall and higher temperatures in the region, which in turn would lead to lower water levels and higher levels of evaporation. The Iolanda water treatment plant provides about 40 per cent of the water supply for the utility that serves Lusaka, with boreholes providing the rest [3]. This treatment plant depends on hydropower to operate and often experiences power shortages.

The water supply for Iolanda comes from the Kafue River, and the hydropower supply comes from the Kafue Gorge dam. This means that the water level in the Kafue Gorge reservoir affects both water availability and power availability, making Lusaka especially vulnerable to climate-related risks, since lower levels of water cause power shortages, which in turn affect the town's service water supply [3].

Climate Risk Informed Decision Analysis (CRIDA) is a bottom-up approach to decision-making specifically designed to address water-related issues in vulnerable areas. It targets practitioners and stakeholders in developing countries facing drought and other factors that are difficult to predict, such as climate change. Its core approach is based on involving all relevant stakeholders and collaboratively defining the objectives of specific decisions to be made. The Millennium Challenge Corporation (MCC) piloted this approach as it considered how to address the problems facing the Iolanda water treatment plant. MCC

had previously committed to rehabilitate the Iolanda plant as a part of the Lusaka Water Supply, Sanitation and Drainage (LWSSD) project [4].

IHP has worked within the CRIDA framework to engage various stakeholders in different regions to design a robust climate stress test in order to identify the uncertainty of climate projections for water resources management in cooperation and collaboration with Category 2 centres and centres of excellence. In collaboration with the Alliance for Global Water Adaptation (AGWA), the U.S. Army Corps of Engineers (USACE), Deltares and the Dutch Ministry of Water and Infrastructure, UNESCO and the International Center for Integrated Water Resources Management (ICIWaRM) have recently published Climate Risk Informed Decision Analysis (CRIDA): Collaborative Water Resources Planning for an Uncertain Future [5].

The CRIDA approach analyses risk through a process called decision scaling, which means first identifying the status of current operations in the water supply system before taking different risks into the analysis. In the Iolanda case, the treatment facility required investment regardless of future climate risks, due to frequent power shortages. The subsequent vulnerability analysis identified the main problem as the lack of power, since a power shortage would occur before the water level fell below the treatment plant intake valves. A lack of treated water from the plant could lead to increases in waterborne diseases, stunting, increased mortality and lower economic productivity. Since the risk was deemed to be high, robust and flexible mitigation strategies were needed [3].

Three strategies were identified: buying and installing back-up generators, creating a power

agreement that would favour the plant during power shortages and building large transfer tanks to store water for the city. These alternatives were then evaluated for effectiveness, feasibility and cost. The final strategy selected via incremental cost analysis and considering political will, recommended the option of generators. While it was not deemed necessary to implement the solution at the time, ongoing rehabilitation work could ensure infrastructure is in place for when the generators are needed [3].

Infrastructure development that considers current and future risks enables more robust services, increasing the chance of long-term sustainability of water and power supplies. The improvement of the Iolanda water treatment facility cannot be solely attributed to the CRIDA approach, since the MCC-funded work at Iolanda was inscribed in a larger development project aimed at improving water, sanitation and sewage in Zambia. However, this example is one of several projects initiating a new global community of practice, which can inspire others to use similar methods to make informed and sustainable decisions related to water resource management.

*Kafue Intake
Pump House.*

*Estación de
bombeo en la
toma de agua
del río Kafue.*



*New Pumps at
Kafue Intake.*

*Nuevas bombas
en la toma
de agua del
río Kafue.*

*Iolanda treatment
plant in Kafue.*

*Planta de tratamiento
de Iolanda (Kafue).*



Watermelon vender in Lusaka city.
Vendedora de sandías en Lusaka.



Zambia: gestionando múltiples objetivos en un entorno cambiante

En el centro de África meridional se encuentra Zambia, un país sin litoral. Se calcula que en su capital, Lusaka, entre un 60% y un 70% de los 2,5 millones de habitantes viven en asentamientos informales o zonas periurbanas [1][2]. Durante la estación seca, Zambia es a menudo afectada por la sequía y ha tenido dificultades debido a la falta de recursos hídricos. Se prevé que, a causa del cambio climático, las precipitaciones disminuyan y las temperaturas aumenten en la región, lo que conllevaría niveles de agua más bajos y niveles de evaporación más elevados. La planta depuradora de Iolanda provee el 40% del abastecimiento de agua para la compañía que sirve Lusaka; el resto se obtiene de pozos de sondeo [3]. La planta depuradora funciona con energía hidroeléctrica y a menudo sufre cortes eléctricos.

El suministro de agua para Iolanda proviene del río Kafue, y el suministro de hidroenergía proviene de la presa de Kafue Gorge. Por tanto, el nivel de agua del embalse de Kafue Gorge afecta tanto la disponibilidad de agua como la de energía, lo que hace que Lusaka sea especialmente vulnerable a los riesgos relacionados con el clima ya que un nivel bajo de agua provoca cortes eléctricos, y estos dificultan el abastecimiento de agua de la ciudad [3].

El Análisis de las Decisiones basadas en el Riesgo Climático (CRIDA) es un enfoque ascendente para la adopción de decisiones, concebido para hacer frente a los problemas relacionados con el agua en zonas vulnerables. Se dirige a los profesionales y partes interesadas en países en desarrollo que padecen la sequía y otros factores difíciles de predecir, como el cambio climático. Su planteamiento principal consiste en involucrar a todas las partes interesadas pertinentes y definir de manera colaborativa los objetivos de las decisiones concretas que haya que tomar. Este fue el enfoque utilizado cuando la Millennium Challenge Corporation (MCC) decidió cómo abordar los problemas de la planta depuradora de Iolanda. La MCC se había comprometido a

rehabilitar la planta de Iolanda en el marco del proyecto de Abastecimiento de Agua, Saneamiento y Drenaje de Lusaka (LWSSD) [4].

El PHI ha seguido el marco CRIDA para hacer partícipes a diversas partes interesadas de varias regiones, con el fin de diseñar un sistema de prueba de estrés climático fiable para determinar la incertidumbre de las proyecciones climáticas para la gestión de los recursos hídricos. Esa labor se ha desarrollado con la colaboración y cooperación de centros de Categoría 2 y centros de excelencia. En colaboración con la Alianza para la Adaptación Hídrica Global (AGWA), el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, Deltares y el Ministerio de Agua e Infraestructura de los Países Bajos, la UNESCO y el Centro Internacional para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (ICIWaRM) acaban de publicar Climate Risk Informed Decision Analysis (CRIDA): Collaborative Water Resources Planning for an Uncertain Future [5].

El enfoque CRIDA analiza el riesgo por medio de un proceso denominado «escalado de decisiones», en el cual primero se determina la situación de las operaciones en curso en el sistema de abastecimiento de agua y, posteriormente, se incorporan diversos riesgos al análisis. En el caso de Iolanda, la planta depuradora requería inversiones independiente de los futuros riesgos climáticos, dada la frecuencia de los cortes eléctricos. En el posterior análisis de vulnerabilidades se observó que el principal problema residía en el suministro eléctrico deficiente, ya que se producían cortes eléctricos antes de que el agua descendiera por debajo de las las tomas de agua para la planta depuradora. La falta de agua tratada en la planta podría llevar a un incremento de las enfermedades transmitidas por el agua, el retraso del crecimiento y la mortalidad, y la reducción de la productividad económica. En vista del elevado nivel de riesgo, era necesario aplicar estrategias de mitigación sólidas y flexibles [3].

Se identificaron tres estrategias: adquirir e instalar generadores de emergencia, crear un acuerdo de adquisición de energía que favorezca la planta durante los cortes eléctricos, y construir grandes depósitos a fin de almacenar agua para la ciudad. A continuación se evaluó la eficacia, la viabilidad y el costo de tales alternativas. Para decidir la estrategia definitiva se hizo un análisis incremental de los costos adicionales, teniendo presente la voluntad política, tras el cual se optó por los generadores. Aunque no se estimó necesario implementar la solución en ese momento, la rehabilitación en curso podría garantizar que la infraestructura esté preparada para cuando se requieran los generadores [3].

El desarrollo de una infraestructura en la que se consideren los riesgos presentes y futuros posibilita servicios más fiables, de modo que resulta más probable que los suministros de agua y energía sean sostenibles a largo plazo. La mejora de la instalación de tratamiento de agua de Iolanda no puede atribuirse exclusivamente al enfoque CRIDA, puesto que se ha enmarcado en un proyecto de desarrollo más amplio dirigido a mejorar el agua, el saneamiento y el alcantarillado en Zambia. No obstante, se trata de uno de los proyectos con los que se pone en marcha una nueva comunidad mundial de intercambio de prácticas que puede alentar a otros a aplicar métodos semejantes para la adopción de decisiones fundamentadas y sostenibles sobre la gestión de los recursos hídricos.

Morocco – Harvesting fog in the mountains

In south-west Morocco, the Aït Baamrane region stretches along the Anti-Atlas Mountains with the Atlantic Ocean to the west and the Sahara Desert to the east. The region is one of the poorest in Morocco, with low levels of literacy and a lack of access to adequate education and health services. The Berber people inhabiting the foothills of these mountains predominantly rely on pastoralism and agriculture, activities that are both highly dependent on water. Access to reliable water sources has long been a challenge that limits people's livelihood opportunities.

Intermittent drought and low levels of rainfall coupled with evapotranspiration due to hot, dry winds from the Sahara Desert are common across North Africa, but in the Aït Baamrane region, increased cultivation practices in low-rainfall areas combined with more erratic rainfall patterns have led to drought having increased impacts on the local population [1]. Communities in the region are highly dependent on wells for access to water as well as cisterns for rainwater collection. Traditionally, people hand-dug wells to collect water for domestic use, but now they commonly use drilling machines to reach deeper into the aquifers, which has led to overextraction of groundwater and pollution of the aquifers [2].

Persistent drought and the absence of proper water infrastructure have made the communities living in these areas highly vulnerable. Not only are wells scarce, but the quality of the water is very low. Water samples have shown high concentrations of sulphates and nitrates [1]. The lack of clean water has contributed to a weakening of the social structures of many Berber communities. Due to the challenging living conditions, many households have migrated to cities. Among families who have stayed, many of the working-age members, mainly

men, have out-migrated, leaving women, children and the elderly behind. Women and girls therefore bear the burden of upholding the traditional way of life and spend up to four hours a day fetching water from wells [3].

However, a solution to address the complex challenges of water scarcity, sustainable development and marginalization in the region can be found in the Anti-Atlas Mountains. Clouds accumulating over the Atlantic Ocean are transported to the mountains and transformed into fog, a resource that is abundant for six months a year. Dar Si Hmad, a local non-governmental organization (NGO), has worked with several partners to install one of the biggest fog water collection systems in the world in Mount Boutmezguida, helping to reduce the water scarcity problem for a number of local communities [2]. The project's design and implementation were carried out in collaboration with community members, researchers and practitioners, resulting in an innovative water system with clear benefits for the rural population.

The harvesting system comprises several large, metal mesh nets connected to gutters and cisterns, which are placed up in the mountains facing the ocean. The wind pushes the fog through the nets, which catch the condensation, with the water droplets then collected in the gutters below, filling the cisterns. In optimal fog conditions, one net can collect up to 22 litres of water per day, with the entire Mount Boutmezguida installation able to provide around 6,300 litres of water per day [2]. Solar-powered pumps distribute the water through underground pipes to nearby villages, benefiting around 500 people.

Fog was traditionally viewed as something negative by the local communities, making the

path to the pastures slippery and dangerous and causing equipment to rust. Today it is a sustainable and reliable source of water. Through community training and trust-building, women are now responsible for managing these water systems. The installation of the fog water collection system has improved access to clean water and sanitation in rural Berber communities, alleviating water anxiety for hundreds of people and providing a source of drinking water that surpasses national health standards [2]. This contributes to community development, sustainable livelihoods and the health of the local people.

Dar Si Hmad has also started water schools that teach children about sustainable water practices and how the availability or absence of water shapes the environment around them [4]. The main goal of these water schools is to empower children and their communities to improve their living conditions. Dar Si Hmad is now introducing a greywater recycling project for agriculture.



*Anti-Atlas Mountains, Morocco.
Montañas Anti-Atlas (Marruecos).*



*Installation of fog
harvesting system.
Instalación de un
sistema de captura
de agua de niebla.*



Fog harvesting system, Morocco.

Sistema de captura de agua de niebla (Marruecos).



Marruecos: captura de niebla en las montañas

Situada en el sudoeste de Marruecos, la región de Aït Baamrane se extiende a lo largo de las montañas Anti Atlas, con el océano Atlántico al oeste y el desierto del Sáhara al este. Se trata de una de las regiones más pobres de Marruecos, con bajos índices de alfabetización y dificultades para acceder a servicios de educación y salud adecuados. El pueblo bereber, que habita al pie de estas montañas, se dedica fundamentalmente al pastoreo y la agricultura, actividades que dependen en gran medida del agua. El acceso a fuentes de agua fiables plantea desde hace tiempo un desafío que limita las oportunidades de los vecinos para ganarse el sustento.

Las sequías intermitentes, las escasas precipitaciones y la evapotranspiración a causa de los vientos cálidos y secos procedentes del desierto del Sáhara son comunes en el norte de África, pero en la región de Aït Baamrane el incremento de los cultivos en zonas con pocas precipitaciones y a los patrones cada vez más erráticos de estas, han hecho que el efecto de las sequías sea más intenso para la población local [1]. Las comunidades de la región dependen fuertemente de los pozos para obtener agua, así como de las cisternas colectoras de agua de lluvia. Tradicionalmente, la población excava pozos a mano a fin de disponer de agua para el hogar, pero ahora suelen utilizar perforadoras con las que alcanzan una mayor profundidad en los acuíferos, lo que ha provocado una extracción excesiva de aguas subterráneas y la contaminación de los acuíferos [2].

La sequía persistente y la ausencia de una infraestructura del agua apropiada han hecho sumamente vulnerables a las comunidades que viven en estas zonas. No solo escasea el agua en los pozos; la calidad del agua también es muy baja. En las muestras de agua se observan altas concentraciones de sulfatos y nitratos [1]. La carencia de agua limpia ha debilitado las estructuras sociales de numerosas comunidades bereberes. Ante las difíciles condiciones de vida, muchas familias han migrado a las ciudades. Entre las familias que resisten, muchos

de sus miembros en edad de trabajar —la mayoría varones— han emigrado internamente, dejando atrás a mujeres, niños y personas de edad. Así pues, las mujeres y las niñas soportan la carga de sostener el modo de vida tradicional y dedican hasta cuatro horas diarias a recoger agua de los pozos [3].

Sin embargo, es posible hallar una solución a los complejos retos de la escasez del agua, el desarrollo sostenible y la marginación en las montañas Anti Atlas. Las nubes que se acumulan en el océano Atlántico se desplazan hasta las montañas, donde se transforman en niebla, recurso que abunda durante seis meses del año. Dar Si Hmad, una organización no gubernamental local, colabora con varios asociados en la instalación de uno de los mayores sistemas del mundo de captación de agua de la niebla en el monte Boutmezguida. Este sistema ayuda a paliar la escasez de agua en beneficio de diversas comunidades locales [2]. El proyecto se ha diseñado y ejecutado en colaboración con miembros de la comunidad, investigadores y profesionales, y ha dado como resultado un sistema hidrológico innovador que reporta beneficios tangibles a la población rural.

El sistema de recogida consiste en un conjunto de grandes redes de malla metálica conectado a canalones y depósitos. Dichas redes se sitúan en lo alto de las montañas y se orientan hacia el océano. El viento empuja la niebla contra las redes, que capturan la condensación. Las gotas de agua se recogen en los canalones situados en la parte inferior, y estos alimentan los depósitos. En condiciones óptimas de niebla, una red puede recoger hasta 22 litros de agua al día, y toda la instalación del monte Boutmezguida es capaz de suministrar en torno a 6.300 litros diarios [2]. Varias bombas alimentadas con energía solar distribuyen el agua por medio de tuberías subterráneas hasta los poblados cercanos, de modo que el sistema da servicio a alrededor de 500 personas.

La niebla solía provocar el rechazo de las comunidades locales, debido a que los caminos hacia las praderas

se volvían resbaladizos y peligrosos, y los equipos se oxidaban. Hoy representa una fuente de agua sostenible y fiable. Gracias a la capacitación comunitaria y al fomento de la confianza, las mujeres asumen ahora la responsabilidad de gestionar estos sistemas hidrológicos. Con la instalación del sistema de captación de agua de la niebla ha mejorado el acceso al agua limpia y el saneamiento en las comunidades bereberes rurales, de manera que centenares de personas sienten menos preocupación por el agua y gozan de una fuente de agua potable de una calidad superior a la que impone la normativa nacional de salud [2]. Se contribuye así al desarrollo comunitario, los medios de vida sostenibles y la salud de la población local.

Dar Si Hmad también ha puesto en marcha escuelas sobre el agua, en las que se explican a los niños prácticas sostenibles y el modo en que la disponibilidad o carencia de agua conforma el medio en el que viven [4]. El objetivo principal de estas escuelas es facultar a los niños y sus comunidades para que mejoren sus condiciones de vida. Dar Si Hmad está iniciando en este momento un proyecto de reciclaje de aguas residuales grises para la agricultura.

Saudi Arabia – Sustainable solutions for making the desert bloom

The Kingdom of Saudi Arabia – the largest country on the Arabian peninsula – is located in a tropical and subtropical desert region. Almost all of the country is arid, and its cloudless skies provide little rain, with just 114 mm/year of precipitation estimate for the whole country [1]. In summer months, temperatures can reach over 50°C and winds can stir up great sand and dust storms.

Although the climate and environmental conditions are not well-suited to agricultural production, it has long been part of the country's food security plans. Saudi Arabia's policies and programmes have encouraged private sector investment in its agricultural sector and provided uncultivated land along with attractive finance and Government subsidies [1]. The country has also made investments in the development of infrastructure to accommodate agricultural production, such as roads, dams, drainage canals and irrigation systems. These interventions have, at different stages, led the country to be self-sufficient in several agricultural products such as wheat, dates, eggs and milk.

In recent years, there has been growing awareness regarding the unsustainable use of water driving this agricultural expansion. In the 1980–2006 period, the volume of water used for agriculture tripled from 6.8 km³ to 21 km³ [1]. The water used for cultivation comes almost exclusively from fossil groundwater formed around 20,000 years ago that is stored in six major sedimentary aquifers [1]. The total reserve of these aquifers is difficult to quantify, but it is clear that with the low natural recharge simple mass balance means that these systems will eventually run dry. Given these concerns, Saudi Arabia's policies have changed in recent years, removing incentives for agricultural production and implementing guidelines for

reducing water use for farming, industry and household consumption [2].

The situation in Saudi Arabia requires solutions for effective and sustainable water use. Although Saudi Arabia has a permanently dry landscape, its problems are similar to those that occur during a drought, though at a different timescale. Desalinating seawater is one effort being put in place. With more than 30 plants in operation, the country is the largest producer of desalinated water in the world [3]. Another solution being implemented and developed on the ground in Saudi Arabia is precision agriculture.

Precision agriculture aims to minimize the inputs required for agricultural production (water, nutrients, chemicals), while maximizing the crop yield. The approach helps farmers understand the variation of water and nutrients across an area of land, while monitoring crop health and condition, allowing them to determine what each crop needs to be most productive [4]. These farm-level data can then be used to efficiently allocate resources such as irrigation water and fertilizers to maximize output and limit waste for farmers, instilled in the concept of more crop per drop. This is especially valuable in arid regions or during drought, when water resources are at their most scarce. Precision agriculture can also be used to identify early stages of disease, crop stress or infestation, allowing farmers to implement preventative measures [4].

Precision agriculture relies on a wide variety of information spanning vegetation, soil condition and crop water use via evapotranspiration, and uses remote-sensing approaches to observe these details and to monitor changes. This includes data from the European Space Agency's Sentinel-2

satellite, which has a higher spatial and temporal resolution than previous platforms [4]. Another form of satellite information comes from CubeSats, miniaturized and relatively low-cost satellites that provide much higher resolution in space and time when flown in 'flocks' or constellations [5]. The information collected through satellites can be supplemented by the use of unmanned aerial vehicles (UAVs), which provide an incredibly precise level of detail [6]. Together, CubeSats and UAVs can provide information on crop health, condition and production through their use of optical, multi- and hyperspectral sensors, which can be used to map everything from basic vegetation indices through to chlorophyll content as an indicator of productivity, stress and yield. Other forms of monitoring from UAVs are also possible, with a range of hydrological variables being explored from these emerging platforms. Although the concept of precision agriculture is quite mature, there is still much that needs to be done to realize its full potential and turn it from a research tool into an active agent in combating food security, water scarcity and drought-related issues. In Saudi Arabia, the work on using UAVs is still research focused and primarily used to help identifying crops that are suited to particular environments (resiliency to heat, drought, etc). For CubeSats the objective is to quantify crop water use and provide feedback on crop-health, with the aim to turn it into useable products.



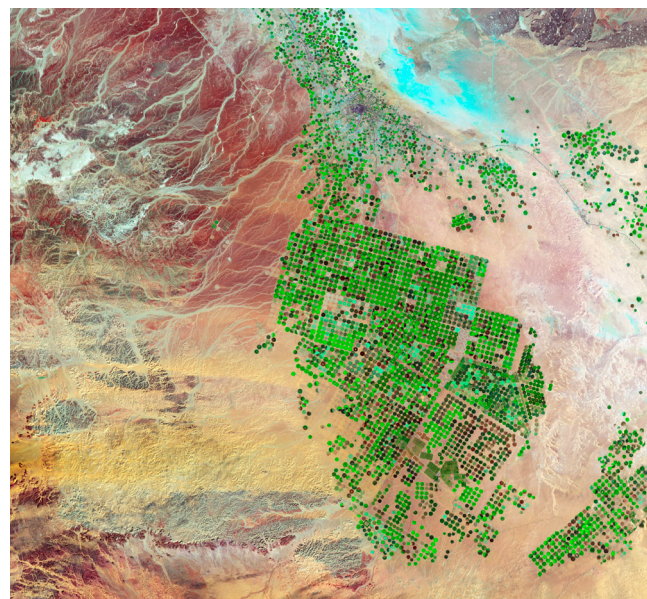
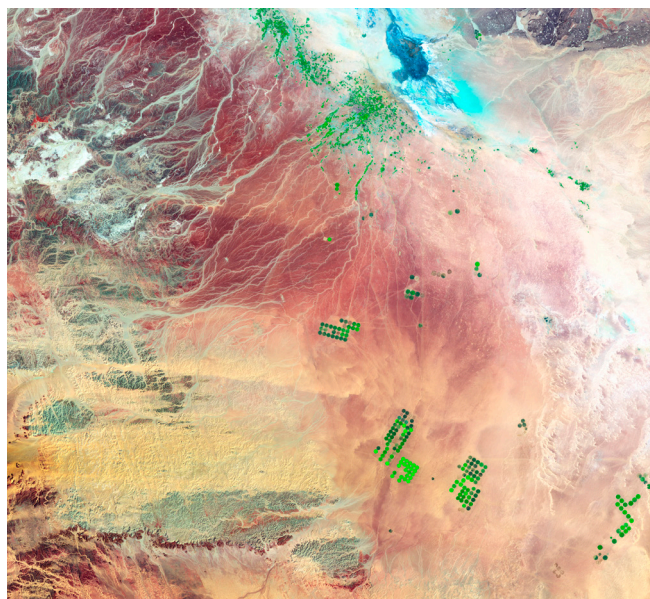
Thermal and hyper-spectral data collected to identify salinity tolerance traits across 200 different accessions of tomato at a field site in Saudi Arabia.

Recopilación de datos térmicos e hiperspectrales para identificar la tolerancia a la salinidad de 200 accesiones diferentes de tomate en un campo de la Arabia Saudita.



Herd of roaming camels.

Rebaño de camellos en libertad.



Agricultural expansion within the Saudi Arabian desert (1991 and 2012).

Expansión agrícola en el desierto de la Arabia Saudita (1991 y 2012).



Arabia Saudita: soluciones sostenibles para que el desierto florezca

El Reino de la Arabia Saudita —el mayor país de la península Arábiga— se encuentra en una región desértica tropical y subtropical. Casi todo el territorio es árido, y sus cielos despejados apenas aportan lluvia; se estima que el conjunto del país solo recibe 114 mm/año de precipitaciones [1]. En los meses estivales, las temperaturas a veces superan los 50 °C, y los vientos provocan grandes tormentas de arena y polvo.

Aunque las condiciones climáticas y ambientales no son propicias para la producción agrícola, esta se incluye desde hace tiempo en los planes nacionales de seguridad alimentaria. Las políticas y programas de la Arabia Saudita han alentado la inversión del sector privado en su sector agrario y facilitado tierras sin cultivar, además de financiación atractiva y subsidios públicos [1]. El país también ha invertido en el desarrollo de infraestructura para adecuarse a la producción agrícola, por ejemplo carreteras, embalses, canales de drenaje y sistemas de riego. En distintas fases, con estas intervenciones se ha conseguido que el país sea autosuficiente en relación con productos agrícolas como el trigo, el dátil, los huevos y la leche.

En los últimos años ha aumentado la conciencia en relación con el uso insostenible del agua que impulsó la expansión agrícola. Entre 1980 y 2006, el volumen del agua destinada a la agricultura se triplicó —de 6,8 km³ a 21 km³ [1]—. El agua que se utiliza en los cultivos proviene casi de forma exclusiva de las aguas subterráneas fósiles formadas hace unos 20.000 años, que se almacena en seis acuíferos sedimentarios [1]. Es difícil calcular la reserva total que contienen estos acuíferos, pero resulta evidente que, dado el bajo balance de masas para la recarga natural, estos sistemas acabarán secándose. En vista de estas preocupaciones, las políticas de la Arabia Saudita se han modificado en los últimos años; se han eliminado los incentivos a la producción agrícola y se han aplicado directrices encaminadas a reducir el consumo de agua en la actividad agraria, la industria y los hogares [2].

La situación del país obliga a adoptar soluciones que velen por un uso eficaz y sostenible del agua. Pese a que el paisaje está permanentemente seco, padece problemas semejantes a los que se observan durante una sequía, si bien en un marco temporal diferente. Una de las medidas que se ha aplicado es la desalinización del agua de mar. Con más de 30 desalinizadoras en funcionamiento, el país es el mayor productor de agua desalinizada del mundo [3]. Otra de las soluciones que se está aplicando y desarrollando sobre el terreno es la agricultura de precisión.

El propósito de la agricultura de precisión consiste en minimizar los insumos necesarios para la producción agrícola (agua, nutrientes, productos químicos) y maximizar el rendimiento de los cultivos. Este enfoque ayuda a los agricultores a conocer las variaciones en el agua y los nutrientes presentes en una superficie de tierra, vigilar la salud y el estado de los cultivos y, de ese modo, determinar qué necesita cada cultivo para ser más productivo [4]. Los datos obtenidos en cada terreno pueden utilizarse posteriormente para asignar de manera eficiente recursos como el agua de riego y los abonos con vistas a maximizar el rendimiento y reducir los desechos de los agricultores, un objetivo que se plasma en el concepto «más cosecha por cada gota». Esta idea adquiere un valor especial en las regiones áridas o en los períodos de sequía, cuando los recursos hídricos son más escasos. La agricultura de precisión también puede servir para detectar enfermedades, estrés o plagas en una fase temprana a fin de que los agricultores puedan aplicar medidas preventivas [4].

La agricultura de precisión se basa en información muy diversa que comprende la vegetación, las condiciones del suelo y el consumo de agua mediante la evapotranspiración. Para obtener estos datos y hacer un seguimiento se sirve de la teledetección. Por ejemplo, se reciben datos del satélite Sentinel-2 de la Agencia Espacial Europea, que ofrece una mayor resolución espacial y temporal que las plataformas

anteriores [4]. Asimismo, se recoge información de los CubeSat, satélites en miniatura con un costo relativamente bajo y una resolución espacial y temporal mucho mayor cuando se envían «en tropel» o constelaciones [5]. La información recopilada por los satélites puede complementarse con la de las aeronaves no tripuladas, cuyo grado de detalle resulta asombroso [6]. En conjunto, los CubeSat y los drones pueden aportar información sobre la salud, el estado y la producción de los cultivos gracias a sus sensores ópticos multi- e hiperspectrales, con los que es posible cartografiar cualquier cosa, desde índices básicos de vegetación hasta la concentración de clorofila como indicador de productividad, estrés y rendimiento. Existen otras formas de vigilancia con aeronaves no tripuladas, y se están estudiando diversas variables hidrológicas con estas nuevas plataformas. Aunque el concepto de la agricultura de precisión está bastante consolidado, todavía queda mucho camino por recorrer para aprovechar todo su potencial y convertir esta herramienta de investigación en un agente activo de la lucha contra la inseguridad alimentaria, la escasez de agua y los problemas causados por la sequía. En la Arabia Saudita, el trabajo con drones todavía se enfoca a la investigación y se utiliza fundamentalmente para determinar qué cultivos se adaptan mejor a ciertos entornos (resiliencia al calor, a la sequía, etc.). En lo que respecta a los CubeSat, el objetivo principal es cuantificar el consumo de agua en los cultivos y recabar información sobre la salud de estos a fin de obtener productos utilizables.

Aral Sea – Conserving and rehabilitating a lost sea

The Aral Sea, once one of the largest lakes in the world, lies dry barring a few small surviving oases of water. Significant desertification in the region has led to the emergence of a new desert, the Aralkum [1]. Located between Kazakhstan and Uzbekistan, it was once a vast expanse of water, supporting rich biodiversity and ecosystems that underpinned a bustling economy [2]. The Aral Sea's basin is spread across seven countries in Central Asia that feed the Syr Darya and Amu Darya rivers, which replenished the lake's water lost by evaporation. The diversion of large quantities of water from the Syr Darya and Amu Darya rivers in the 1960s to turn arid land into irrigated cotton crops in Kazakhstan, Turkmenistan and Uzbekistan tipped the balance. The loss of inflows into the terminal lake led to a rapid drying of the Aral Sea and a catastrophic decline of the ecosystems and societies it supported. The once abundant fisheries had all but collapsed by the 1980s, as salinity levels rose to toxic levels [3] and wet land habitats shrunk by 95% [4].

The rapid drying of the Aral Sea was compounded by two decades of drought that furthered the imbalance between water inflow and evaporation loss. The Aral Sea split into two parts in the late 1980s, the Small Aral Sea and the Large Aral Sea, as it continued to dry. By 2006, the lake's water level had fallen 23 metres, reducing its surface area by 74 per cent and its volume by 90 per cent [5]. The loss of water has seen salinity levels rise around twelve-fold since 1957 [6], making it toxic to many species it once supported. The lake also played an essential role in the area, as it had an influence on weather and water regimes that supported the ecosystems and societies that surrounded it. The decrease in water affected the replenishment of groundwater, causing the surrounding landscape and ecosystems to dry out, furthering pressures on livelihoods as

the land became increasingly saline and harsh and reducing productivity. The continued drying out of the local region combined with increasing temperatures driven by climate change has created large dust storms. These whip up salts and toxic chemicals such as pesticides and fertilizers deriving from cotton farms upstream, causing health issues in the surrounding areas and concerns around the degradation of soil and land productivity [2]. The Aral Sea catastrophe provides evidence of how human water interventions can create droughts that significantly impact both the environment and societies.

Improving the health of the Aral Sea is a complex undertaking, as it stretches across various countries, and transboundary management of water needs to be coordinated more effectively to provide maximum benefits both environmentally and economically across all countries. Capacity-building of water management organizations, improvement of education in the water sector and environmental conservation will be vitally important to improve monitoring, information-sharing, water budgeting and modernization of water infrastructure.

The rehabilitation of the Aral Sea itself is very unlikely. However, improving the maintenance and securing the water supply of remnant and newly created deltaic ecosystems can facilitate the partial recovery of the social, economic and ecological systems it once supported. Conserving the remaining parts of the sea is essential to sustain livelihoods and to maintain the surviving biodiversity and capture fisheries. Supported by the Central Asian Governments, the International Fund for Saving the Aral Sea (IFAS) is one organization working on solving the complex issues of the Aral Sea basin. Kazakhstan has also implemented a project to conserve the

Aral Sea: the construction of the Kok-Aral Dam. The Dam separated the two parts of the Aral Sea by preventing flow from the North ('the Small Sea') into the lower-elevation South Aral ('the Large Sea') and has helped to restore the delta and revive fisheries and the wetland ecosystem [7]. Several other dams have been proposed to support the remaining parts of the Aral Sea. In 2018, the Republic of Uzbekistan committed to upgrading almost 30 per cent of its irrigated area to modern water-saving technologies over five years [8]. This initiative has the potential to improve water supply to the Aral Sea. The country has also nearly completed the targeted planting of 500,000 hectares of forests on the bottom of the Aral Sea to combat desertification and reduce salt dust storms that impact health and agricultural productivity [8].

The provision of water is critical to improve the water balance and replenish the Aral Sea, but it may also help insure against the prolonged pressures of droughts and climate change. The projected temperature rise may negatively alter the water balance through higher rates of evaporation. These uncertainties should be built into strategies to conserve the Aral Sea.



*Workers pack fish
ready for sale.*

*Trabajadores
empaquetan pescado
listo para la venta.*



*Camels shelter behind a rusted ship
in the dried bed of the Aral Sea.
Camellos se refugian detrás de
una embarcación oxidada en el
lecho seco del mar de Aral.*



*Ships rust in the dry
seabed of the Aral Sea.*

*Las embarcaciones
se oxidan en el lecho seco
del mar de Aral.*



El mar de Aral: conservación y rehabilitación de un mar desaparecido

El mar de Aral fue en su momento uno de los mayores lagos del mundo, pero hoy está seco, salvo por algunos oasis de agua que resisten. La notable desertificación de la región ha dado pie a la aparición de un nuevo desierto, el de Aralkum [1]. Situado entre Kazajistán y Uzbekistán, era en el pasado una vasta extensión de agua con una rica biodiversidad y ecosistemas que sustentaban una economía dinámica [2]. La cuenca del mar de Aral abarca siete países de Asia Central y en ella desembocan los ríos Syr Darya y Amu Darya, que compensaban la pérdida de agua del lago por la evaporación. El desvío de grandes cantidades de agua de estos ríos en la década de 1960 para implantar cultivos de algodón de regadío en tierras áridas de Kazajistán, Turkmenistán y Uzbekistán alteró el equilibrio. Al desaparecer sus afluentes, el lago endorreico se secó con rapidez, provocando un deterioro catastrófico de los ecosistemas y de las sociedades que sustentaba. Las pesquerías, antes abundantes, casi habían desaparecido en la década de 1980 debido a que la salinidad alcanzó niveles tóxicos [3] y los hábitats de los humedales se redujeron en un 95% [4].

La rapidez con la que se secó el mar de Aral se vio agravada por dos decenios de sequía que impulsaron el desequilibrio entre la afluencia de agua y la pérdida por evaporación. El mar de Aral se partió en dos a finales de la década de 1980 —el Pequeño Mar de Aral y el Gran Mar de Aral— conforme se fue secando. En 2006, el nivel del agua del lago había bajado 23 metros, su superficie se había reducido en un 74%, y su volumen había disminuido un 90% [5]. Debido a la pérdida de agua, la salinidad se ha multiplicado por 12 desde 1957 [6], por lo que las aguas resultan tóxicas para numerosas especies que antes vivían en ellas. El lago también desempeñaba una función esencial en la zona, pues influía en los regímenes meteorológicos e hidrológicos que sustentaban los ecosistemas y las sociedades del entorno. La reducción del volumen de agua afectó a la

reposición de las aguas subterráneas, de modo que el paisaje circundante y los ecosistemas se secaron; al aumentar la salinidad y dureza de la tierra, se agravó la presión sobre los medios de vida y se redujo la productividad. El secado continuado de la región y el incremento de las temperaturas a causa del cambio climático han dado pie a grandes tormentas de polvo. Estas arrastran sales y productos químicos tóxicos como plaguicidas y fertilizantes procedentes de los cultivos de algodón, que originan problemas de salud en los alrededores, degradan los suelos y merman la productividad de la tierra [2]. La catástrofe del mar de Aral aporta pruebas sobre el modo en que las intervenciones humanas relacionadas con el agua pueden generar sequías que repercuten de forma considerable en el medio ambiente y las sociedades.

Mejorar la salud del mar de Aral representa una tarea compleja, pues el lago ocupa varios países y será necesario coordinar con más eficacia la gestión transfronteriza de las aguas para obtener el máximo rédito ambiental y económico en todos los países. El fomento de la capacidad de las organizaciones responsables de la gestión del agua, la mejora de la educación del sector hídrico y la conservación ambiental serán indispensables para mejorar el seguimiento, el intercambio de información, el balance hídrico y la modernización de la infraestructura del agua.

Resulta muy improbable que se recupere el mar de Aral. Sin embargo, mejorar el mantenimiento y garantizar el abastecimiento de agua de los ecosistemas deltaicos antiguos o de nueva creación puede facilitar la recuperación parcial de los sistemas sociales, económicos y ecológicos a los que antes daban servicio. Conservar los elementos remanentes del mar es fundamental para sostener los medios de vida, preservar la biodiversidad y la pesca de captura. Con el apoyo de los Gobiernos de Asia Central, el Fondo Internacional para Salvar el Mar

de Aral (IFAS) trabaja para resolver los complejos problemas de esta cuenca. Kazajistán también ha puesto en marcha un proyecto para conservar el mar de Aral: la construcción de la presa de Kok-Aral. El dique separa las dos partes del mar de Aral, al evitar que la parte norte (el «Pequeño Mar») fluya hasta la parte sur (el «Gran Mar»), de menor altitud; asimismo, ha ayudado a restaurar el delta y revitalizar las pesquerías y el ecosistema de los humedales [7]. Se ha propuesto construir otros diques para salvaguardar los elementos restantes del mar de Aral. En 2018, la República de Uzbekistán se comprometió a implantar tecnologías modernas para el ahorro de agua en casi el 30% de sus tierras de regadío en un plazo de cinco años [8]. La iniciativa podría mejorar el abastecimiento de agua al mar de Aral. Asimismo, el país casi ha concluido la plantación de 500.000 hectáreas de bosque en el lecho del mar de Aral con el propósito de frenar la desertificación y reducir las tormentas de polvo salino, perjudiciales para la salud y la productividad agrícola [8].

El abastecimiento de agua resulta esencial para mejorar el balance hídrico y rellenar el mar de Aral; además, puede brindar protección frente a las presiones prolongadas a causa de la sequía y el cambio climático. El pronosticado aumento de las temperaturas puede alternar negativamente el balance hídrico al elevar los niveles de evaporación. Estas incertidumbres deben incorporarse en las estrategias para conservar el mar de Aral.

Keoladeo National Park – A World Heritage site threatened by drought

Keoladeo National Park is located within the Indus-Ganges Monsoon Forest biogeographic province in Rajasthan, India, covering roughly 29 km² of wetlands, grasslands and scrublands [1]. Originally created as a duck hunting area for the Maharaja of Bharatpur in the 1850s, the park was designated as a bird sanctuary in 1956, received status as a Ramsar site in 1981 and became a National Park in 1982 [1]. In 1985, the park was included on the UNESCO World Heritage List as a natural property, recognized for its exceptional biodiversity, notably its large assembly of wintering and resident breeding birds. Around 370 different bird species have been recorded in the park [2]. Due to its strategic location in the middle of the Central Asian migratory flyway, it has been an important wintering area for migratory birds, including critically endangered species such as the Siberian Crane, the Greater Spotted Eagle and the Imperial Eagle [2].

Located in a natural depression, the park is dependent upon and maintained by a system of canals and dykes. During the monsoon period, from June to September, it receives water through the Ajan Bund artificial dam, supplied with water from the Banganga and Gambhiri rivers [1]. The continued existence of the park depends on this regulated water supply, but over the past 30 years the park has suffered from drought and water crises resulting from a complex relationship of inadequate water resource management and unsustainable water extraction, coupled with the enormous inter-annual variability of the seasonal monsoons, which is affected by climate change [3].

In 1990, the World Heritage Committee noted that the site was threatened by insufficient water delivery, resulting in a decline in the number of migrating Siberian Cranes [4]. The annual requirement of water to maintain the ecological

functions of the wetland was estimated to be about 15,5 million cubic meters (m³) [3]. The joint World Heritage Centre and International Union for Conservation of Nature (IUCN) Mission carried out in 2005 concluded that over the 15 preceding years, an average of about 9,3 million m³ of water had been made available to the park annually from the Ajan Bund [5]. The 2005 mission noted that the adverse impacts became visible in the form of dense growth of grass and advances of woodland species into the wetland parts of the park, reducing the wetland habitat available to the water birds [3]. This was partly due to the insufficient release of water from the Panchana Dam on the River Gambhir, 90 km upstream from the park, which supplies the Ajan Bund. These findings made it clear that without sufficient water delivery the wetland ecosystem was unlikely to survive. The recommendation was to secure minimum water flow from the Ajan Bund annually, and to increase data-collection and monitoring on changes in wetland habitat extent and the numbers and diversity of wintering and nesting birds [6]. In the following years, water levels continued to decline, and in 2008 the World Heritage Committee reviewed the state of conservation of the property and concluded that the situation had worsened due to reduced monsoon rainfall in 2006 and 2007, resulting in low numbers of both breeding and wintering water birds [6].

From 2008 onwards, Keoladeo National Park received financial support through the United Nations Foundation-funded World Heritage India programme. This included provisions to enhance management effectiveness and build staff capacity, as well as to increase the involvement of local communities in managing the property and promoting sustainable development. Based on recommendations from the Committee, the

Government of Rajasthan introduced three remedial measures to better protect the park from drought by providing new sources of water during the monsoon season: firstly, installing the Chiksana Canal drain to supply 2,8 million m³ of surface water; secondly, piping water from the Govardhan Drain to provide 9,9 million m³ of water; and thirdly, implementing the Chambal-Dholpur-Bharatpur drinking water supply project to contribute 8,7 million m³ for the first four years [6]. By the end of 2011, the completion of the Chiksana Canal was providing 1,4 million m³ of water to the property annually [7]. In 2012, the Chambal-Dholpur-Bharatpur drinking water supply project was completed, providing 7 million m³ of water [8]. Similarly, the Govardhan Drain was completed in September 2012, but was only able to provide 5,9 million m³ of water in 2013 – 3,9 million m³ lower than anticipated [9].

In 2016, the overall water release to the park was 17,8 million m³, stemming from the Panchana Dam, the Chambal-Dholpur-Bharatpur Pipeline Project and the Govardhan Drain [10]. The World Heritage Committee reviewed the state of conservation of the property in 2018 and concluded that in four out of the seven years between 2010 and 2016, the minimum requirement of 15,5 million m³ to sustain its wetland values was not met [10]. In view of this long-standing concern over water provision, the Committee requested that an IUCN Reactive Monitoring Mission be carried out in 2019 to assess the state of conservation and progress made in addressing issues of water provision and invasive species. Although effort has been made, sustainable solutions to ensure adequate and reliable long-term water supply remains a challenge and a matter of utmost priority to secure the continued preservation of the values for which the Keoladeo National Park was listed as a World Heritage site.

*Ducks in the wetlands of the Keoladeo National Park.
Patos en los humedales del parque nacional de Keoladeo.*





*Spotted owlet.
Mochuelo moteado.*



*Oriental Magpie Robin.
Shama oriental.*

*Birds within the
wetlands of the
Keoladeo National
Park.*

*Aves en los
humedales del
parque nacional de
Keoladeo.*



El Parque Nacional de Keoladeo: un sitio del Patrimonio Mundial amenazado por la sequía

El Parque Nacional de Keoladeo se encuentra en la provincia biogeográfica del bosque monzónico del Indo-Ganges, en Rajasthan (India). Comprende aproximadamente 29 km² de humedales, pastizales y zonas de matorral [1]. Creado inicialmente como área para la caza de patos para el maharajá de Bharatpur en la década de 1850, el parque se rediseñó como santuario para pájaros en 1956, se declaró sitio Ramsar en 1981 y se convirtió en parque nacional en 1982 [1]. En 1985, se inscribió en la lista del Patrimonio Mundial de la UNESCO como bien natural en reconocimiento a su biodiversidad excepcional, sobre todo por la gran concentración de aves invernantes y nidificadoras. En el parque se han registrado en torno a 370 especies de pájaros [2]. Su localización estratégica —en el centro de la ruta migratoria de Asia Central— hace que sea una zona de hibernación significativa para las aves migratorias; entre ellas, para especies en grave peligro de extinción como la grulla siberiana, el águila moteada y el águila imperial [2].

Este parque natural está ubicado en una depresión natural y depende de un sistema de canales y diques que lo mantiene. En la temporada del monzón, de junio a septiembre, recibe agua del embalse artificial llamado Ajan Bund, que se abastece de los ríos Banganga y Gambhiri [1]. Que el parque siga existiendo depende de este abastecimiento regulado, pero durante los últimos 30 años, Keoladeo ha sufrido sequías y crisis hídricas como consecuencia de la compleja relación entre la gestión inadecuada de los recursos hídricos y la extracción insostenible de agua, a lo que se suma la gran variabilidad interanual de los monzones influenciada por el cambio climático [3].

En 1990, el Comité del Patrimonio Mundial señaló que la falta de suministro de agua ponía en riesgo la zona, lo que resultaba en un descenso de la cifra de grullas siberianas que migraban [4]. Se calcula que se necesitan unos 15,5 millones de metros cúbicos de agua (m³) al año para conservar las funciones ecológicas del humedal [3]. La misión conjunta

del Centro para el Patrimonio Mundial y la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) llevada a cabo en 2005 llegó a la conclusión de que, en el transcurso de los 15 años anteriores, el parque había obtenido un promedio de 9,3 millones de m³ de agua desde el embalse Ajan Bund cada año [5]. La misión de 2005 destacó que los impactos adversos se hicieron patentes a través del crecimiento de pastizales densos y la incursión de las especies de bosque en las zonas de humedales del parque natural, reduciendo así las zonas de hábitat de humedal disponibles para las aves acuáticas [3]. Esto se debió en parte a que el embalse de Panchana, en el Gambhir —situado a 90 kilómetros río arriba del parque—, no desaguó caudal suficiente. Estos datos pusieron de manifiesto que era poco probable que el ecosistema del humedal sobreviviera si no disponía del agua que necesitaba. Se recomendó asegurar el caudal anual mínimo de agua procedente del embalse de Ajan Bund y aumentar la recopilación de datos y el seguimiento de las fluctuaciones de la extensión del humedal, así como de la cantidad y la diversidad de aves hibernantes y nidificantes [6]. Durante los años posteriores, el nivel del agua siguió descendiendo; en 2008, el Comité del Patrimonio Mundial examinó el estado de conservación del emplazamiento y determinó que la situación había empeorado debido a la escasa precipitación durante el monzón en 2006 y 2007, causando bajas cifras de aves acuáticas invernantes y nidificantes [6].

A partir de 2008, el Parque Nacional de Keoladeo recibió apoyo financiero a través del programa de Patrimonio Mundial de la India, sufragado por la Fundación pro Naciones Unidas. Este apoyo abarcaba disposiciones para potenciar la eficacia de la gestión, capacitación del personal y fomentar la participación de las comunidades locales a la hora de administrar el parque e impulsar el desarrollo sostenible. En base a las recomendaciones del Comité, el Gobierno de Rajasthan adoptó tres medidas correctivas a fin de

mejorar la protección del parque frente a la sequía mediante nuevas fuentes de agua en la temporada del monzón: la primera fue la instalación del desagüe del canal de Chiksana para suministrar 2,8 millones de m³ de aguas de superficie; la segunda, canalizar agua del drenaje de Govardhan con miras a obtener 9,9 millones de m³ de agua; y, por último, la ejecución del proyecto Chambal-Dholpur-Bharatpur de abastecimiento de agua potable, que aportaría 8,7 millones de m³ de agua durante los cuatro primeros años [6]. A finales de 2011, la culminación del canal de Chiksana proveía al parque 1,4 millones de m³ de agua al año [7]. En 2012, se terminó el proyecto Chambal-Dholpur-Bharatpur de abastecimiento de agua potable, que se traduce en 7 millones de m³ de agua para Keoladeo [8]. Asimismo, las obras del drenaje de Govardhan concluyeron en septiembre de 2012, pero solo generaron 5,9 millones de m³ de agua en 2013, o sea 3,9 millones de m³ menos de lo que se esperaba [9].

En 2016, el total de agua que llegó al parque procedente del embalse de Panchana, el proyecto de canalización Chambal-Dholpur-Bharatpur y el drenaje de Govardhan fue 17,8 millones de m³ [10]. El Comité del Patrimonio Mundial analizó el estado de conservación de Keoladeo en 2018 y concluyó que en 4 de los 7 años entre 2010 y 2016 no se cumplió el requisito mínimo de 15,5 millones de m³ de agua necesarios para preservar los humedales [10]. En vista a la prolongada inquietud sobre el suministro de agua el Comité solicitó también que la UICN pusiera en marcha una misión de monitoreo reactivo en 2019 con objeto de evaluar el estado de conservación y los avances encaminados a resolver los problemas en materia de suministro de agua y especies invasoras. Aunque se han hecho esfuerzos, encontrar soluciones sostenibles para cubrir las necesidades de provisión de agua a largo plazo sigue siendo un difícil desafío y un asunto de máxima prioridad para garantizar la preservación de los valores por los que el Parque Nacional de Keoladeo fue incluido en la lista de sitios de Patrimonio Mundial.

Marshall Islands – Addressing water scarcity in a changing climate

In the Pacific Ocean, 29 low-lying coral atolls make up the Republic of the Marshall Islands, a picturesque paradise with sandy beaches and crystal-clear waters. However, the Pacific Islands are highly exposed to climate extremes such as droughts. The physical characteristics of the Marshall atolls – not rising higher than 3 to 4 metres above sea level – also result in limited freshwater reservoirs and sources of groundwater. This makes the Marshallese highly dependent upon rainwater as their primary source of potable water, which at times exposes the island nation to life-threatening challenges of water availability.

Climate extremes are exacerbated and occur over extended timescales during phenomena such as El Niño Southern Oscillation (ENSO), which is one of the main drivers of drought events for the Pacific Islands [1]. ENSO takes place in the equatorial Pacific Ocean and is able to change the global atmospheric circulation, which in turn influences temperature and precipitation. It comprises a warm phase (El Niño), a cold phase (La Niña), and a neutral phase. During an El Niño event, rainfall is typically lower and ocean surface temperatures higher than average, and the frequency and amplitude of ENSO is expected to increase in the coming years due to climate change.

Drought events are becoming an increasing reality for the Marshallese: the islands were hit by serious droughts in 1998, 2012 and 2016. The depletion of water resources became critical during these events, leading to states of emergency being declared. The droughts had a number of adverse social, economic and health impacts on the islands. The contamination of drinking water due to the drought conditions resulted in an increased number of diseases [1]. The droughts significantly impacted crop production and food security, which

affected the majority of the population as most Pacific Islanders either depend on or significantly supplement their diets with subsistence crops that they grow on their own land. This is particularly true of remote rural communities, but even in urban areas, fruit and vegetables are grown in household gardens. Efforts to retain traditional knowledge and practices and their value in the face of ongoing climate change have been important to increase people's resilience in the face of water scarcity [2]. This includes food preservation practices, the harvest of wild foods and the production of multiple crops that can survive a range of extreme conditions.

During the recent droughts, emergency desalinization units were brought in as a temporary solution to the water shortage, but on the remote outer islands, people had to rely on water from coconuts when water resources ran out. Although some limited freshwater groundwater lenses that can be utilized during periods of drought are available on the Marshall Islands, these become more saline as the drought persists. Furthermore, storm events and tidal surges associated with El Niño can wash over low-lying islands and contaminate freshwater lenses with ocean water. In addition, the rising sea level as a consequence of climate change threatens to reduce the size of the freshwater lenses on these atolls.

The Pacific Integrated Water Resources Management (IWRM) project was initiated in 2004 [3]. Activities for the Marshall Islands focused on establishing an integrated water management and development plan for the Laura groundwater lens in Majuro Atoll, where 27,000 people (about half of the country's population) live. The aim was to improve water resources management, reduce groundwater pollution and improve water

supply around the Laura area. Activities included provision of wastewater, sanitation, solid waste and recycling facilities; repair and maintenance of infrastructure for groundwater supply; water resource use planning and monitoring and the establishment of a Laura Lens Integrated Water Resource Plan [4].

Along with the improvement of groundwater management, the severe droughts highlighted the need to improve existing water storage capacity and develop alternative water resources. During the 2011 drought, activities were implemented to increase reservoir capacity and require rainwater catchment systems to be built into all new properties [5].

The Post Disaster Needs Assessment of the 2015–2016 drought for the Marshall Islands estimated that the drought resulted in economic losses of around US\$4.9 million and a majority of the population experiencing a significant decline in the quality of life [2]. Although efforts have been promoted on the island as outlined above, the 2015–2016 drought highlighted the need to improve disaster risk management and national planning and financial capacity to build resilience for the people of the Marshall Islands. A key future requirement will be improved integration of traditional water and food security practices alongside other mitigation approaches in the face of rising ocean temperatures and sea levels.



Aerial view of densely populated atoll in the Marshall Islands.

Vista aérea de un atolón densamente poblado en las Islas Marshall.



City view.

Paisaje urbano.



Aerial view of an atoll in the Marshall Islands.

Vista aérea de un atolón en las Islas Marshall.



*Drought impacts on Ailuk Atoll, 2013.
Consecuencias de la sequía en el atolón Ailuk (2013).*



*Water reservoir with new liner.
Embalse con un nuevo trazado.*



*View along an atolls
coastline in the
Marshall Islands.
Vista de la línea de
costa de un atolón en
las Islas Marshall.*

Islas Marshall: dando respuesta al problema de la escasez de agua en un clima cambiante

La República de las Islas Marshall, situada en el océano Pacífico, es un edén pintoresco de playas de arena y aguas transparentes formado por 29 atolones coralinos bajos. No obstante, las islas del Pacífico están muy expuestas a fenómenos climatológicos extremos, como las sequías. La morfología de los atolones de las Islas Marshall —cuya elevación no supera los 3 o 4 metros sobre el nivel del mar— también lleva consigo la carencia de embalses de agua dulce y fuentes de aguas subterráneas. Esto provoca que la población dependa en gran medida del agua de lluvia, que es su fuente principal de agua potable, lo que en ocasiones hace que el país insular se enfrente a problemas de disponibilidad de recursos hídricos que ponen en peligro las vidas de sus habitantes.

Los fenómenos climatológicos extremos se agravan y su duración se prolonga, como en el caso de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), que es uno de los motores más importantes de las sequías en las Islas del Pacífico [1]. Se produce en el Pacífico ecuatorial y cambia la circulación atmosférica del planeta, que a su vez afecta a las temperaturas y las precipitaciones. Consta de una fase cálida (El Niño), una fase fría (La Niña) y una fase neutra. En el transcurso de un episodio de El Niño, las precipitaciones suelen ser inferiores al promedio, mientras que la temperatura de la superficie del océano es superior; se espera que, como consecuencia del cambio climático, se produzca un aumento de la frecuencia y el alcance de ENOS en los próximos años.

Los episodios de sequía —que afectaron gravemente a las Islas Marshall en 1998, 2012 y 2016— se están convirtiendo en una realidad cada vez más frecuente en estas latitudes. El agotamiento de los recursos hídricos alcanzó niveles muy alarmantes durante esas crisis, lo que desembocó en la declaración del estado de excepción. Las sequías tuvieron una serie de repercusiones negativas en el plano social, económico y sanitario de las islas. La contaminación del agua potable a causa de las condiciones de sequía trajo

aparejado un aumento de las enfermedades [1]. Los efectos de las sequías en la producción de cultivos y a la seguridad alimentaria fueron considerables y perjudicaron a la mayoría de la población, ya que la mayor parte de los isleños del Pacífico depende de cultivos de subsistencia que siembran en sus terrenos o los utilizan en gran medida para complementar su dieta. Esto ocurre sobre todo en las comunidades rurales remotas, pero también se cultivan frutas y verduras incluso en los huertos domésticos de las zonas urbanas. Las labores destinadas a conservar la sabiduría y los hábitos tradicionales, así como su valor ante el cambio climático, han desempeñado un papel importante a la hora de desarrollar la resiliencia de los marshallenses frente a la escasez de agua [2]. Algunas de estas prácticas son las técnicas de conservación de alimentos, la recolección de alimentos silvestres y la siembra de distintos cultivos que sean capaces de sobrevivir a toda una gama de condiciones extremas.

Durante los episodios recientes de sequía, para ofrecer una solución provisional a la carestía de agua, se trajeron desalinizadoras de emergencia, pero los lugareños de las islas más distantes tuvieron que recurrir al agua de coco una vez que se agotaron los recursos hídricos. Aunque las Islas Marshall cuentan con algunas lentejones de agua dulce subterráneos de escaso volumen, que pueden usarse en los períodos de sequía, su salinidad irá aumentando conforme se prolonga la sequía. Por otra parte, las tormentas y las marejadas gigantes ligadas a El Niño barren las islas de baja altitud y contaminan los lentejones de agua dulce con agua oceánica. Además, los lentejones de agua dulce de estos atolones corren el riesgo de que se reduzca su tamaño a causa de la subida del nivel del mar provocada por el cambio climático.

El proyecto de gestión integrada de los recursos hídricos del Pacífico comenzó en 2004 [3]. Las actividades en las Islas Marshall se centraron en establecer un plan de desarrollo y gestión integrada de los recursos hídricos para el lentejón de agua subterránea de Laura, situado

en el atolón Majuro, donde viven 27.000 personas (casi la mitad de la población del país). Su objetivo era contribuir a la administración de los recursos hídricos, reducir la contaminación de las aguas subterráneas y mejorar el suministro de agua en la zona. Entre otras iniciativas, se proporcionaron instalaciones sanitarias, de reciclado y de tratamiento de aguas residuales y desechos sólidos; se llevaron a cabo tareas de mantenimiento y reparación de infraestructura para el abastecimiento de aguas subterráneas; se planificó y supervisó el uso de los recursos hídricos; y se adoptó el plan de gestión integrada de los recursos hídricos del lentejón de agua de Laura [4].

Las intensas sequías pusieron de relieve la necesidad de promover recursos hídricos alternativos y de mejorar, además de la gestión del agua subterránea, la capacidad actual de almacenamiento de agua. Durante la sequía de 2011, se llevaron a cabo actuaciones para aumentar la capacidad de los embalses y se impuso la obligación de que todos los inmuebles de nueva construcción tengan sistemas de captación del agua de lluvia [5].

La evaluación de necesidades post-desastre que siguió a la sequía de 2015-2016 en este país calculó que esta catástrofe provocó pérdidas económicas que ascendieron a unos 4,9 millones de dólares americanos y que la calidad de vida de la mayoría de la población se deterioró de manera notable [2]. Si bien, tal y como se ha expuesto anteriormente, se han impulsado medidas paliativas en las islas, la sequía de 2015-2016 puso de manifiesto la necesidad de mejorar la gestión del riesgo de desastres, así como la planificación y la capacidad económica a escala nacional, con el fin de que los habitantes de las Islas Marshall tengan una mayor capacidad para afrontar la adversidad. Contar con una integración más satisfactoria de las prácticas tradicionales en materia de agua y seguridad alimentaria con otros métodos de mitigación en vista del aumento de la temperatura del océano será una exigencia clave de cara al futuro.

Vietnam – The impact of drought in the Lower Mekong

The Mekong River system supports unique landscapes, rare wildlife and diverse cultures. It journeys from the heights of the Tibetan plateau, through China and Myanmar, before entering the Lower Mekong Basin (LMB) comprising Cambodia, Lao People's Democratic Republic (Lao PDR), Thailand and Vietnam's vast delta region. The Mekong Basin is home to around 70 million people, with 60 million located in the LMB [1]. Considered the 'rice bowl' of Asia, the basin is of vital importance to food production in the region and the millions of livelihoods it supports. The Mekong River is a nutrient rich system: its flows support sediment transportation vital for ecological health and the flood plain process that supports productivity, particularly in agriculture and fisheries. However, rapid development and a changing climate are altering the Mekong River. The changes imposed by nature, as well as human interventions of land-use change, urban development, dams, deforestation, overextraction of groundwater and riverbed mining, along with climate change-driven extremes such as droughts, are increasing livelihood vulnerability and the pressure on resources in the LMB.

Drought is the most significant constraint on the socioeconomic status of the Mekong Basin due to its impact on ecosystem services, with implications for well-being and livelihoods. The drought in 2016 damaged crop production and resulted in losses equal to US\$300 million [2]. The current 2019 drought in Vietnam is the worst in one hundred years and consistent with future predictions showing increased probability and risk of drought in the LMB [3]. Increases in the frequency and severity of droughts are compounded by variations in the water cycle caused by changes in the timing and intensity of monsoonal rain and the influence of dams and water extraction. Variations in water availability,

less predictable seasons and higher temperatures have implications for the productivity, food security and health of those living in the LMB.

Both natural and anthropocentric climatic changes, combined with water interventions, continue to influence the quantity and timing of water within the LMB. The 2016 drought in the Mekong Delta resulted in the worst recorded salinity intrusion, heavily damaging agricultural land [2]. The reduced flow at the delta mouth, allowed seawater to advance inland, damaging productivity and even rendered areas infertile. Droughts also impact the transportation of sediment, which is further amplified by dams and dykes that inhibit and alter its distribution within the LMB. If all proposed dams are constructed, it is estimated that the sediment load within the Mekong system could be reduced by 96 per cent [1]. The loss of sediment alters the relationship between the sediment deposition and the rate of erosion, leading to a potential increase in the loss of land. Overextraction of groundwater in the Mekong Delta has also resulted in land subsidence that increases the risk of salinization of land and the groundwater. The delta is also extremely low-lying and exposed to erosion from rising sea levels [4].

As a result of the anthropogenic and natural climatic changes, the Mekong Delta's river flows are becoming increasingly irregular, increasing the challenges faced and holding social, environmental and economic implications. Through multiple initiatives, IHP is assisting in finding solutions to water management challenges within its programmes on groundwater, sediment flows and climate change vulnerability mapping. In 2013, the collaborative project Solution for Groundwater Problems was launched in South Asia. IHP supported the project through its

analysis and defining of the transboundary aquifer systems [5]. IHP also supported cooperation between countries to improve aquifer protection and sustainable use to address the information on shared aquifers and pollution and over extraction issues. Through the Climate change vulnerability mapping for Greater Mekong subregion case study, IHP identified countries within the Mekong basin as being highly exposed to natural hazards such as floods, droughts, and tropical cyclones and associated adverse impacts [6]. Adaptive capacity and vulnerability to the detrimental effects of climate change were mapped, producing a valuable tool for determining mitigation and adaptation measures at the provincial level for disasters such as drought.

Lastly, the recent study by the Stockholm Environment Institute and UNESCO looks to support the implementation of the IHP International Sediment Initiative [1]. The study analyses the reduction in sediment within the Mekong River that has occurred at a rate exceeding previous estimations. The study provides a knowledge base in which the implications of reduced sediment on the vital process of nutrient flow, stabilization and formation of deltas and ecosystems and production systems they support can be considered. The reduction has the potential to threaten livelihoods and is a crucial consideration within the broader context of climate change vulnerability and adaptation.



*The city of Long Xuyên on the
banks of the Mekong River.
La ciudad de Long Xuyên en
los márgenes del río Mekong.*



*Housing along the Mekong River in Long Xuyên.
Viviendas a lo largo del río Mekong en Long Xuyên.*



*Girl at the floating market.
Chica en el mercado flotante.*



*Water collection from a well
in the Mekong delta.*

*Extracción de agua de un
pozo en el delta del Mekong.*



*Fish being sorted on the banks of the Mekong River.
Clasificación de pescado en los márgenes del río Mekong.*



*Fish for sale at the market.
Pescado a la venta en el mercado.*

Vietnam: las consecuencias de la sequía en el Bajo Mekong

El sistema fluvial del Mekong sirve de sostén a paisajes inigualables, especies silvestres únicas y diversas culturas. Su curso comienza en el altiplano tibetano y atraviesa China y Myanmar para entonces converger en la cuenca del Bajo Mekong, una inmensa región del delta que comparten Camboya, la República Democrática Popular Lao, Tailandia y Vietnam. Unos 70 millones de personas viven en la cuenca del río; de ellas, 60 millones residen en la cuenca del Bajo Mekong [1]. Este accidente geográfico, al que se considera como «la cuenca del arroz de Asia», es esencial para la producción de alimentos en la región y para los medios de vida de millones de personas que dependen de él. En este entorno propicio, las corrientes del Mekong ayudan a transportar sedimentos fundamentales para la ecología del río y contribuyen al proceso que tiene lugar en la llanura inundable, que se traduce en una mayor productividad —sobre todo del sector de la agricultura y la pesca—. Sin embargo, los cambios del clima y el desarrollo acelerado están transformando este ecosistema. Los cambios que marca la naturaleza y la intervención humana en cuanto a la modificación del uso de la tierra, desarrollo urbano, embalses artificiales, deforestación, extracción excesiva de aguas subterráneas y actividades mineras en el lecho del río —así como los fenómenos extremos provocados por el cambio climático, como las sequías— hacen que los medios de vida corran cada vez más peligro y que aumente la presión sobre los recursos de la cuenca del Bajo Mekong.

Si hablamos del nivel socioeconómico de esta zona, la sequía es la limitación más seria, ya que repercute en los servicios del ecosistema y tiene consecuencias para el bienestar y los medios de vida de sus habitantes. La sequía de 2016 dañó la producción de cultivos y provocó pérdidas económicas por valor de 300 millones de dólares americanos [2]. La sequía que atraviesa Vietnam en 2019 es la más grave de los últimos 100 años y se ajusta a las predicciones que vaticinan que el riesgo de sequías en la cuenca del Bajo Mekong va a aumentar [3]. El aumento de la frecuencia y la magnitud de las sequías se ve agravado por las variaciones del ciclo del agua que se derivan de los cambios del período y

la intensidad de las lluvias monzónicas, así como la influencia de los embalses artificiales y la extracción de agua. Las fluctuaciones de la disponibilidad del agua, el hecho de que las estaciones son menos predecibles y las temperaturas más elevadas afectan a la productividad, la seguridad alimentaria y la salud de los lugareños de la cuenca del Bajo Mekong.

Ambos tipos de cambio climático —natural y antropogénico—, junto con las intervenciones relacionadas con el agua, siguen repercutiendo en la cantidad y la periodicidad de los recursos hídricos de este entorno. La sequía de 2016 en el delta del Mekong provocó la peor intrusión salina de la que se tiene constancia; las tierras agrícolas se vieron muy perjudicadas [2]. La disminución del caudal del río en la boca del delta permitió que el agua salada ganase terreno, lo que hizo que la productividad de los cultivos se resintiera y que algunas zonas se volvieran estériles. Las sequías también tienen consecuencias para el transporte de sedimentos: los embalses y diques que dificultan y alteran la distribución de estos materiales en la cuenca del Bajo Mekong agravan estas secuelas. Se calcula que, si se construyeran todos los embalses artificiales que se han proyectado, la carga sólida del sistema del Mekong podría reducirse en un 96% [1]. La pérdida de sedimentos trastoca la relación entre la deposición de sedimentos y el índice de erosión, lo que podría desembocar en una mayor pérdida de terrenos. La extracción excesiva de aguas subterráneas en el delta del Mekong también ha dado como resultado el hundimiento del suelo, que a su vez aumenta el riesgo de salinización de las tierras y de las aguas subterráneas. Además, el delta es sumamente bajo y está muy expuesto a la erosión que se deriva del aumento del nivel del mar [4].

Como consecuencia del cambio climático antropogénico y natural, el caudal del delta fluvial del Mekong es cada vez más irregular, lo que incrementa los desafíos a los que se enfrenta la región y conlleva consecuencias en el ámbito social, medioambiental y económico. El Programa Hidrológico Internacional presta apoyo

a través de numerosas iniciativas destinadas a encontrar soluciones a los problemas en materia de gestión de los recursos hídricos; para ello, cuenta con programas sobre aguas subterráneas, flujos de sedimentos y trazado de mapas de vulnerabilidad ante el cambio climático. En 2013, se puso en marcha en Asia Meridional el proyecto de colaboración «Solution for Groundwater Problems», destinado a buscar una solución a los problemas relacionados con las aguas subterráneas. El PHI respaldó este proyecto en las labores de análisis y definición de los sistemas acuíferos transfronterizos [5]. También ayudó a que los países cooperaran para otorgar una mayor protección a los acuíferos y utilizarlos de forma más sostenible con el fin de aplicar la información sobre acuíferos compartidos y sobre problemas de contaminación y extracción excesiva. En el estudio de caso Climate change vulnerability mapping for Greater Mekong subregion (Trazado de mapas de vulnerabilidad al cambio climático en la subregión del Gran Mekong), el PHI determinó que los países del Mekong se ven perjudicados por graves amenazas naturales, como sequías, ciclones tropicales e inundaciones [6]. El estudio describe la capacidad de adaptación y la vulnerabilidad a los efectos del cambio climático, y es un recurso útil para definir el grado de aclimatación y las medidas de mitigación en el ámbito provincial ante un fenómeno como la sequía. Por último, el estudio reciente del Instituto de Estocolmo para el Medio Ambiente y la UNESCO tiene el objetivo de ayudar a implantar la Iniciativa Internacional sobre Sedimentación (ISI) del PHI [1] y analiza la reducción de sedimentos en el río Mekong, que se ha producido a un ritmo más intenso de lo que se había estimado anteriormente. El estudio sienta las bases teóricas a partir de las cuales se analiza cómo afecta la disminución de la sedimentación a los procesos fundamentales de flujo de nutrientes y estabilización y formación de los deltas, los ecosistemas y los sistemas productivos que sustentan. La merma de sedimentos puede llegar a poner en peligro los medios de vida de la población y es un factor esencial que hay que tener presente en el contexto de la vulnerabilidad y la adaptación al cambio climático en general.

California – Mitigating the socioeconomic impacts of drought

With a population of 39 million, California has one of the largest economies in the world. Population growth and urban water demand combined with increasing droughts and agricultural water use provide a significant challenge for water governance. California is often referred to as the ‘salad bowl’ of the United States, producing 400 agricultural commodities and two-thirds of the nation’s fruits and nuts [1]. Agriculture is the key source of employment in rural areas. Agricultural workers predominantly come from low socioeconomic backgrounds and their economic stability and health are particularly vulnerable to climate change and events such as droughts [2].

Droughts have long been a part of California’s climate, but the 2011–2015 drought broke records and was estimated to be the worst in 1,200 years [3], its severity increased as a result of climate change [4]. Starting in 2011, the conditions within California deteriorated, escalating from a ‘drought’ to an ‘extreme drought’ into the ‘exceptional drought’ category [5]. The severe lack of water undermined the social, economic and environmental systems that had developed around its availability in California. The increased pumping of groundwater mitigated some of the drought impact, yet it resulted in groundwater deficits and land subsidence and was not a sustainable solution. Agriculture, being widely reliant on irrigation, was hit hard by water scarcity and considerable increases in pumped water costs, resulting in a 45 per cent increase in unutilized farmland [6]. High costs combined with decreased crop yields resulted in 21,000 jobs being lost and economic losses of US\$2.74 billion, not including losses in ecosystem services [5].

The impacts of the drought on communities were not uniform. Among low-income tribal groups

and minorities, the burden of the drought was far greater due to sensitivities to increased food and water prices. In the rural communities most acutely affected, the drought impacted human health and water and food security [7], while in urban areas, the impacts were primarily limited to enforced water restrictions. The hot, dry conditions of the drought contributed to the severity of the Californian wildfires [8], including the Valley and Butte fires of 2015 that rank among the most devastating in the state’s history and that each resulted in a declaration of a state of emergency. The two fires resulted in six fatalities and the loss or damage of an estimated 2,876 homes and businesses [9].

The drought revealed significant vulnerabilities within the current water management regime, threatening the agricultural sector, ecosystems and urban water resources. In 2014, the California Water Action Plan was released in response to the extreme drought. The plan acknowledged that California’s water management practices were unable to meet both human and ecological water needs [10]. The action plan was holistic, incorporating governance at the federal, state, local and tribal levels and considering industry and NGOs’ involvement. Importantly, it led to an improved planning approach that incorporates the uncertain effects of climate change and other major risks.

The Decision Scaling Vulnerability Assessment tool helps decision makers deal with uncertainties and understand vulnerabilities within the water management system, quantifying status quo management costs and risks compared to different adaptation scenarios. The tool is particularly useful for addressing uncertainties in climate change projections as it evaluates changes

in temperature and precipitation over different climate scenarios and their potential impacts at different spatial scales. Importantly, the bottom-up approach improves the identification of vulnerabilities at a local scale, which are then aggregated into regional and state-wide scales.

The monitoring system provides information on a range of water management aspects aligned with pivotal decision-making points throughout the year, allowing decision makers to mitigate and adapt to potential water scarcities [11]. The incorporation of urban, irrigation and environmental water demands, supports a balance between these competing needs. The monitoring of river flow metrics allows for environmental water requirements to be better understood in different climatic conditions, supporting water allocation adjustments to counter saltwater intrusion, which impacts both farms and ecosystems.

Recent technological innovations, such as the Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) satellite system, have provided new information on groundwater trends and availability, which can be integrated into future models. Furthermore, the 2014 California Water Action Plan addresses the increasing demands on water resources through raising awareness of water conservation as a ‘way of life’. This has been implemented in public campaigns such as Save our Water, aimed at changing behaviours around water uses. Through this holistic and comprehensive approach to management, California is building knowledge and implementing actions that can support sustainable solutions to water management in the Anthropocene.



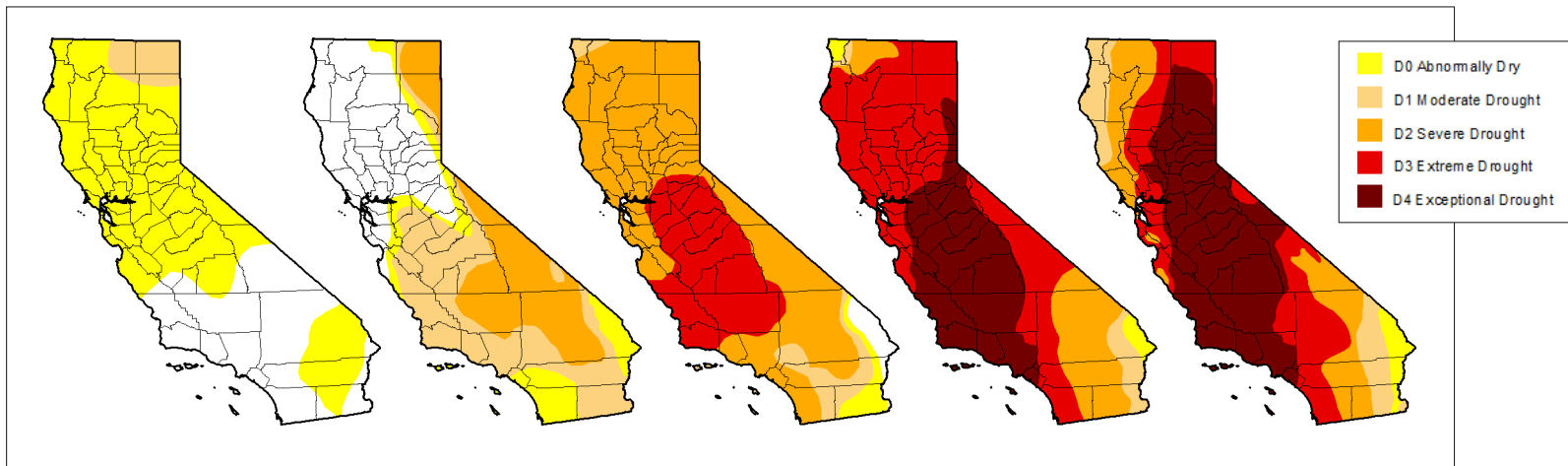
*Aerial view of Folsom Lake at near full levels.
Vista aérea del lago Folsom casi lleno.*



*Aerial view of Folsom Lake in the 2015 drought.
Vista aérea del lago Folsom durante la sequía de 2015.*



*An irrigation channel next to a growing crop in Brawley, California.
Un canal de riego junto a una cosecha en crecimiento en Brawley (California).*



The progression of drought in California from 2011 to its peak in 2015.

La evolución de la sequía de California: desde 2011 hasta su punto álgido en 2015.



Save Our Water's "Fix It for Good" campaign leaflets.
Folletos de la campaña Save Our Water, «Fix It for Good».



Space for boats become cramped as Lake Oroville recedes.
El espacio para las embarcaciones se estrecha a medida que el lago Oroville desaparece.

California: mitigando las secuelas socioeconómicas de la sequía

California tiene 39 millones de habitantes y es una de las economías más importantes del mundo. El crecimiento demográfico y la demanda de agua en los entornos urbanos, a lo que se suman crecientes sequías y una utilización del agua con fines agrícolas cada vez más intensas, plantean una situación muy problemática en cuanto a la gobernanza de los recursos hídricos. Este estado recibe a menudo el sobrenombre de «la ensaladera de los Estados Unidos»; aquí se cultivan 400 productos básicos agrícolas y dos tercios de la fruta y los frutos secos del país [1]. La agricultura es un sector vital en cuanto a creación de empleo en las zonas rurales. Por lo general, los trabajadores agrícolas proceden de entornos con un nivel socioeconómico bajo y tanto su salud como su estabilidad económica son especialmente vulnerables al cambio climático y a fenómenos como las sequías [2].

Las sequías forman parte del clima de California desde hace mucho tiempo, pero la que se produjo entre 2011 y 2015 batió todos los récords. Según las estimaciones, fue la peor de los últimos 1.200 años [3] y más intensa de lo normal por efecto del cambio climático [4]. Las condiciones en este estado empezaron a empeorar en 2011; de «sequía» se pasó a la categoría de «sequía extrema» y, finalmente, a «sequía excepcional» [5]. La grave escasez de agua en California menoscabó el sistema social, económico y medioambiental que se había establecido en torno a la disponibilidad de los recursos hídricos. El aumento de la extracción de aguas subterráneas alivió parte del efecto de la sequía, pero trajo aparejado una falta de agua en estos depósitos y el hundimiento del suelo, por lo que no fue una solución sostenible. La escasez de agua y el aumento notable del costo de la extracción de agua mediante bombas afectaron de forma dramática a la agricultura —que depende en gran medida del riego— y redundó en 45% más de tierras de cultivo sin aprovechar [6]. La combinación de costos elevados y un mermado rendimiento de las cosechas se tradujo en la destrucción de 21.000 puestos de trabajo y en pérdidas económicas de 2.740 millones de dólares de los Estados Unidos, sin contar las pérdidas en cuanto a servicios de los ecosistemas [5].

Las consecuencias de este fenómeno no fueron uniformes en las distintas comunidades. El lastre que supuso la sequía fue mucho más pesado para los grupos tribales de bajos ingresos y las minorías debido a una mayor vulnerabilidad ante el aumento del precio de los alimentos y el agua. En las comunidades rurales más afectadas, la sequía tuvo consecuencias para la salud de las personas y la seguridad alimentaria y del abastecimiento de agua [7], mientras que, en las zonas urbanas, su alcance se limitó esencialmente a la imposición de restricciones del uso del agua. Las condiciones que conlleva la sequía —un clima caluroso y seco— contribuyeron a la magnitud de los incendios forestales de esta región [8], como los que se declararon en 2015 en Butte y Valley, que se cuentan entre los más espantosos de la historia de California. Ambos incendios provocaron que se declarara el estado de excepción y tuvieron como consecuencia seis muertos y que unos 2.876 hogares y negocios sufrieran daños o se perdieran por completo [9].

La sequía sacó a la luz importantes puntos débiles del sistema de gestión del agua en aquel momento, que ponían en riesgo el sector agrícola, los ecosistemas y los recursos hídricos de las zonas urbanas. En 2014, como respuesta a la sequía extrema, se anunció el plan de acción sobre el agua de California. El documento declaraba que las prácticas del estado relativas a la gestión de los recursos hídricos eran incapaces de satisfacer las necesidades humanas y ecológicas en materia de agua [10]. El plan de acción tenía un enfoque integral que incluía a los gobiernos de los planos federal, estatal, local y tribal, además de tener en cuenta la participación del sector comercial y las ONG. Cabe destacar que propició la adopción de un método de planificación que integra los efectos inciertos del cambio climático y otros riesgos notables.

La herramienta «Evaluación de la Vulnerabilidad por Escala de Decisiones» ayuda a los tomadores de decisiones a abordar las incertidumbres y a entender los puntos débiles del sistema de gestión del agua, además de a cuantificar los costos de gestión y los riesgos de la situación vigente en comparación con los de distintas hipótesis de

adaptación. Esta herramienta es especialmente útil para hacer frente a las incertidumbres de las proyecciones relacionadas con el cambio climático, ya que analiza los cambios de temperatura y de volumen de precipitaciones en diversos supuestos climáticos y sus posibles efectos en varias escalas espaciales. Una cuestión importante es que el enfoque ascendente hace que se determinen mejor las debilidades a escala local, las cuales, una vez definidas, se agregan a escalas regionales y estatales.

El sistema de seguimiento proporciona información sobre una gama de aspectos vinculados a la gestión hídrica y que se alinean con toma de decisiones en puntos esenciales a lo largo del año, lo que permite que los responsables de dichas decisiones se adapten a los posibles períodos de escasez de agua y puedan paliarlos [11]. La inclusión de la demanda de recursos hídricos en entornos urbanos, las necesidades ambientales de agua y el riego ayuda a alcanzar un equilibrio entre estas exigencias contrapuestas. La supervisión de los parámetros del caudal de los ríos posibilita un conocimiento más profundo de las necesidades ambientales de agua en distintas condiciones climatológicas y respalda las modificaciones de la distribución del agua para contrarrestar la intrusión salina, que afecta tanto a las explotaciones agrícolas como a los ecosistemas.

Los avances tecnológicos recientes, como el sistema de satélites Experimento de Recuperación Gravitatoria y Clima (GRACE), han aportado datos nuevos sobre la evolución y disponibilidad de las aguas subterráneas que se pueden integrar en modelos futuros. Asimismo, el Plan de Acción del Agua de California de 2014 da respuesta a la demanda creciente de los recursos hídricos mediante una campaña de sensibilización sobre la conservación del agua como modo de vida. Este mensaje se ha adoptado en campañas públicas encaminadas a cambiar el comportamiento de la población con respecto a los usos del agua, como Save our Water. Gracias a esta metodología integral de gestión, California divulga información y pone en marcha medidas que servirán de apoyo a las soluciones sostenibles para la gestión de los recursos hídricos en el Antropoceno.

United Kingdom – Understanding the complexities of drought

While the UK is generally regarded as a wet country, some parts are dry, experience intensive water exploitation and can already be considered water stressed. The continuing vulnerability of the UK to drought has been demonstrated in recent years. In 2012, the country was hit by a serious drought amounting to the driest spring in over a century, following two dry winters [1]. Again, in summer 2018, parts of England and Wales hardly experienced rain for months and between May 2018 and April 2019, most areas of the country received below-average rainfall [2]. Shifting rainfall frequency and rainfall patterns, along with the effects of climate change, have made it difficult to accurately predict the occurrence, duration and intensity of drought events, as well as to minimize their impacts [3]. Increasing demand and over-abstraction of water to meet the needs of industry, agriculture and a growing population put even more pressure on freshwater resources, posing a serious challenge for water management.

Traditionally, the meteorological and societal causes of drought and water shortages were considered in isolation in the UK. However, recent drought events have made their interconnectedness highly visible and widely acknowledged in the UK [4]. Taking this into account, researchers have called for a more integrated approach to understanding the multifaceted nature of water shortages and how to predict, prepare for and mitigate the effects. The UK Droughts & Water Scarcity research programme, a five-year interdisciplinary programme, was launched in 2014 [3]. It includes a number of partners from research institutions across the UK, with the aim of supporting improved decision-making in relation to droughts and water scarcity by providing research that identifies, predicts and responds to the interrelationships between

multiple drivers and impacts. The programme is divided into four projects – Historic Droughts, IMPETUS, MaRIUS and DRY – and a knowledge exchange follow-on called ENDOWS. Together, the distinctive project has set out to address three major scientific goals: (1) Characterize the drivers and nature of droughts and water scarcity; (2) Examine the multiple and inter-linked impacts of UK droughts and water scarcity on the environment, agriculture, infrastructure, society and culture and the trade-offs between them; (3) Develop methods to support decision-making for drought and water scarcity planning and management, and to assess opportunities to reduce their occurrence and severity [3].

One of the key characteristics of the droughts programme has been its emphasis on supporting decision-making through co-development of research outputs with stakeholders engaged in UK drought management. This has led to a number of key transformations in UK drought and water resources management. One important outcome of the programme has been the UK Drought Portal, a tool to help visualize the current meteorological conditions across the country [5]. The portal can be used to understand the severity and magnitude of drought at different spatial scales across the UK over the past half century through interactive maps and graphics. The portal provides an assessment of drought severity based on a single precipitation data set and one particular indicator (the Standardized Precipitation Index, SPI). The portal was used extensively by water managers (including private water utilities, regulators and agricultural and conservation organizations) during the 2018–2019 drought episode, which helped put the emerging situation in a historical context, thereby providing key information to support drought management actions.

More recently, a more comprehensive monitoring and early warning tool has been co-developed alongside regulators and water companies, namely the UK Water Resources Portal [6]. This has the same functionality as the Drought Portal but also covers river flows, including daily updated real-time information and soil moisture, using a network of in situ real-time and wide-area soil moisture observation stations (COSMOS-UK). The forecasting work from within the programme was also used to help stakeholders during the 2018–2019 drought.

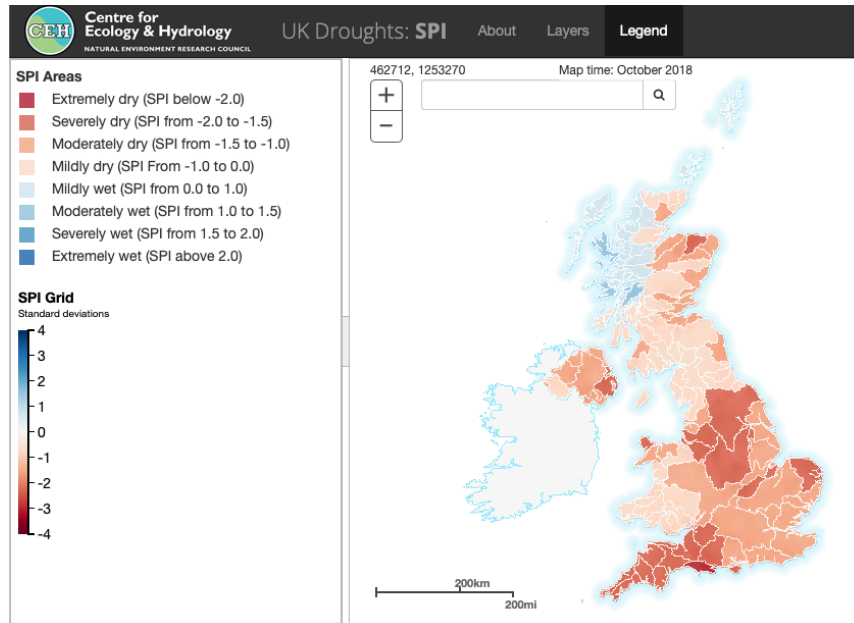
Another key transformational area is long-term drought planning. The Historic Droughts and MaRIUS projects, in particular, have delivered comprehensive national data sets of past drought severity and potential future drought risk under climate change and have also delivered major advances in national-scale hydrological and water supply system modelling. Within ENDOWS, the teams have been working closely alongside water companies and regulators to embed these data sets and tools into the process for the next round of water resource planning, especially in helping pave the way for the more improved regional to national-scale planning that is currently being adopted. The scientific advances which have been made in relation to drought in the UK over recent years are closely aligned with the IHP-VIII Themes of “Water-Related Disasters and Hydrological Changes” and “Addressing Water Scarcity and Quality”. UK researchers have engaged with drought experts across the world through the IHP-FRIEND programme in order to share scientific knowledge and solutions.

Drought impacts in Redmires Reservoir, Sheffield.
Consecuencias de la sequía en el embalse de Redmires, Sheffield.



The UK Drought Portal visualizing meteorological conditions across the UK through interactive maps and graphs.

La herramienta UK Drought Portal permite visualizar las condiciones meteorológicas de todo el Reino Unido mediante mapas y gráficos interactivos.



Low levels in Howden Reservoir (Derwent Valley, Derbyshire) during the 2018 drought.

Niveles bajos en el embalse de Howden (valle de Derwent, Derbyshire) durante la sequía de 2018.

Reino Unido: entender la complejidad de las sequías

Aunque normalmente se considera que el Reino Unido es un país húmedo, tiene algunas regiones áridas en las que se produce un aprovechamiento intensivo de sus aguas, y podría decirse que ya sufren estrés hídrico. En los últimos años se ha hecho patente que la vulnerabilidad del país a las sequías es crónica. En 2012, atravesó una grave sequía que hizo de aquella primavera la más seca desde hace más de un siglo y que vino precedida de dos inviernos secos [1]. De nuevo, durante el verano de 2018, apenas llovió en algunas regiones de Inglaterra y Gales; entre mayo de 2018 y abril de 2019, las precipitaciones en la mayor parte del país se mantuvieron por debajo del promedio [2]. Las variaciones de la frecuencia y la distribución de las precipitaciones, sumadas a los efectos del cambio climático, han provocado que sea difícil predecir con exactitud la incidencia, la duración y la intensidad de las sequías, así como reducir al mínimo sus consecuencias [3]. El aumento de la demanda y la extracción excesiva de agua con el fin de satisfacer las necesidades del sector comercial, del sector agrícola y de una población en crecimiento ejercen todavía más presión en los recursos de agua dulce, lo cual plantea un serio problema para su gestión.

Anteriormente, las causas meteorológicas y sociales de la sequía y la escasez de agua siempre se estudiaban de manera aislada en el Reino Unido. Sin embargo, los últimos episodios de sequía en el país han puesto de manifiesto los vínculos que los relacionan y han ocasionado que se reconozcan ampliamente [4]. Con esto en mente, los investigadores reivindican que se utilice una metodología más integrada para entender el carácter polifacético de la escasez de agua y cómo predecir sus efectos, prepararse para ellos y paliarlos. En 2014, se inauguró el programa de investigación sobre sequías y escasez de agua del Reino Unido. Se trata de una iniciativa interdisciplinar que dura cinco años [3] y que engloba a una serie de socios procedentes de distintos centros de investigación a lo largo y ancho del país. El objetivo es ayudar a una mejor toma de decisiones en referencia a las sequías y la escasez de agua mediante estudios que detecten, vaticinen y

den respuesta a las interrelaciones entre los muchos factores desencadenantes y efectos. Se divide en cuatro proyectos (Historic Droughts, IMPETUS, MaRIUS y DRY), con un plan de seguimiento del intercambio de información denominado ENDOWS. Se trata de un programa que, en su conjunto, se propone tres grandes metas científicas: 1) Describir los factores desencadenantes y el carácter de las sequías y la escasez de agua; 2) Estudiar las repercusiones — que son numerosas e interdependientes— de estos fenómenos en el medio ambiente, la agricultura, la infraestructura, la sociedad y la cultura del Reino Unido, además de la correlación entre ellos; 3) Idear métodos para apoyar la toma de decisiones sobre la gestión y la planificación en el ámbito de las sequías y la escasez de agua con el fin de reducir su incidencia e intensidad [3].

Una de las características más importantes del programa ha sido su énfasis en contribuir a la toma de decisiones mediante las investigaciones realizadas en colaboración con las partes interesadas que intervienen en la gestión de las sequías en el Reino Unido. Como resultado, se han producido algunos cambios cruciales en el plano de la gestión de las sequías y los recursos hídricos del país. Uno de los resultados importantes del programa es el UK Drought Portal, una herramienta que ayuda a ver las condiciones meteorológicas en todo el país [5]. Este recurso en línea cuenta con mapas interactivos y gráficos para conocer la intensidad y la magnitud de la sequía en distintas escalas espaciales del país a lo largo de los últimos 50 años. También evalúa la gravedad de una sequía a partir de un único conjunto de datos sobre precipitaciones y un indicador en concreto: el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI). Los gestores de los recursos hídricos (por ejemplo, en los servicios de agua privados, los organismos reguladores y las organizaciones agrícolas y dedicadas a la conservación) utilizaron ampliamente esta herramienta durante la sequía de 2018–2019. Esto les ayudó a dar contexto histórico a esa nueva situación y, por ende, a obtener información clave para dar respaldo a las medidas de gestión de la sequía.

Más recientemente, se ha desarrollado un instrumento de seguimiento y alerta temprana más exhaustivo en colaboración con organismos reguladores y empresas de aguas que recibe el nombre de UK Water Resources Portal [6]. Tiene las mismas funciones que el Drought Portal, pero también abarca el cauce de los ríos y ofrece información en tiempo real que se actualiza diariamente gracias a una extensa red de estaciones de observación inmediata sobre el terreno de la humedad del suelo, denominada COSMOS-UK. También se recurrió a las labores de predicción que se desarrollaron en el marco del programa para ayudar a las partes interesadas durante la sequía de 2018–2019.

La planificación a largo plazo de las sequías es otro ámbito transformador esencial. En concreto, los proyectos Historic Droughts y MaRIUS han aportado conjuntos de datos exhaustivos a nivel nacional sobre la gravedad de las sequías anteriores y el riesgo de sequías futuras en un contexto de cambio climático. Además, han conseguido que el sistema de modelado hidrológico y de abastecimiento de agua en el plano nacional progrese de forma considerable. En el seno de ENDOWS, los equipos han cooperado estrechamente con los organismos reguladores y las empresas de distribución de agua para integrar estos conjuntos de datos y estos instrumentos en el próximo proceso de planificación de los recursos hídricos, con el fin de, sobre todo, contribuir a preparar el terreno para la planificación mejorada que se está adoptando en la actualidad y que comprende los niveles que van del regional al nacional. Los avances científicos de los últimos años en materia de sequías en el Reino Unido están muy en consonancia con los temas «Desastres relacionados con el agua y cambios hidrológicos» y «Abordar la escasez y la calidad del agua» de PHI-VIII. Los investigadores del país han participado en el programa PHI-FRIEND junto con otros expertos en sequías con la intención de poner en común sus saberes científicos y las soluciones.

The Caribbean – Navigating through changing risks

The Caribbean is a diverse region, varying from flat low-lying islands to mountainous terrain with peaks up to 3,000 metres above ground [1]. Over 40 million people live in the region and the mix of economies, languages and cultures reflects the colonial and political histories of the various states and territories [1]. The well-being of the people living here is closely linked to the natural environment, as most economies heavily depend on tourism and small-scale agriculture and fisheries. Water scarcity in the Caribbean islands is an increasing problem, growing with the expansion of the tourism industry, population growth, urbanization and ineffective water management and strategies. Existing problems will likely be exacerbated by increasing variability in rainfall events and increasing temperatures.

The history of droughts in the Caribbean reveals wide-reaching social and economic impacts across sectors. Since the 1950s, at least seven major droughts have occurred in the Caribbean, including the two most recent events in 2009–2010 and 2014–2016 [2]. During 2009 and the first quarter of 2010, the Bahamas and the Cayman Islands obtained a significant portion of their water supplies from desalination plants [3]. In Antigua, the main supply reservoir was empty by March 2010, and groundwater levels in Barbados reached extremely low levels [3]. Carriacou – an island belonging to Grenada that relies exclusively on rainwater to meet its water needs – had to have water brought by tankers from the main island, in spite of shortages also occurring there [4]. The 2014–2016 Caribbean drought was even more severe: the most extensive period of dry conditions on record in seven territories [5]. It reduced agricultural production and contributed to destructive bush fires and residential water shortages.

Climate change predictions for the region indicate that the frequency and intensity of drought will increase in the future due to an overall decrease in annual rainfall and increased temperature and evapotranspiration [6]. Saltwater intrusion associated with sea level rise and the impact of hurricanes will also reduce the quantity and quality of fresh water in coastal aquifers [2]. These changes will likely result in a decrease of ecosystem services and increased risks for wildlife, human health, agriculture and socioeconomic development in the Caribbean [2]. The combined impacts of variability and changes will pose unprecedented water-related threats to the region and addressing drought represents a critical part of the region's adaptation to climate change.

Assessments following the 2009–2010 drought uncovered several important capacity issues, including limits in early warning systems and information-sharing between key stakeholder institutions, inadequate policies and plans and limited finances to implement and sustain key activities [5]. The assessments highlighted the need to assess risks and vulnerabilities and to incorporate this information into the development of planning and drought management strategies on an ongoing basis instead of as a one-off exercise, and also highlighted the need to develop Water Safety Plans [7]. The Global Environment Facility (GEF) project on Integrating Watershed and Coastal Area Management (IWCAM) for the Small Island Development States of the Caribbean project, concluded in 2016, raised the profile of integrated water resources management (IWRM) in the region through demonstration projects and specific interventions including the preparation of IWRM road maps [1]. Desalination is widespread throughout the Caribbean, being used on 14 islands. Thanks to the increasing tendency to promote desalination as part of the solution to

address water insecurity, there is growing interest in small-scale desalination plants that use renewable energy, like the one installed on the island of Bequia [1].

Significant progress has also been made in monitoring, forecasting and mitigation, such that by the 2014–2016 drought, the region was better prepared. The Latin American and Caribbean (LAC) Drought Atlas produced by IHP visualizes expected rainfall and has helped identify the frequency and exposure of meteorological droughts [8]. IHP has also organized a training activity to develop and enhance sub-seasonal to seasonal forecast capacity of the midsummer drought in the region

The Caribbean Institute for Meteorology and Hydrology (CIMH) has developed the first Caribbean regional drought monitor, a sectoral early warning information system across climate timescales aimed at providing climate early warning information tailored to specific user needs. As a result of the lessons learned and implemented after the drought of 2009–2010, the region was much better prepared for the 2014–2016 event [5]. The development and improvement of the Caribbean Drought and Precipitation Monitoring Network continues to make a positive contribution to forecasting and preparedness in the region and the Caribbean Drought Bulletin has been published monthly since December 2018, providing information about the current status of the drought situation [9].



Shirley Heights in Antigua and Barbuda.
Shirley Heights (Antigua y Barbuda).



Valle de Viñales, Cuba.
Valle de Viñales (Cuba).



Port of Cayo Blanco, Cuba.
Puerto de Cayo Blanco (Cuba).



*Drought impacts on Saint Martin.
Consecuencias de la sequía en San Martín.*



*Belize.
Belize.*

El Caribe: avanzar en un contexto de riesgos cambiantes

El Caribe es una región con una diversidad que va desde las islas llanas de baja altitud a las zonas montañosas con cimas que alcanzan los 3.000 metros sobre el nivel del mar [1]. Aquí viven más de 40 millones de personas, y la mezcla de economías, idiomas y culturas es un reflejo del pasado colonial y la historia política de los distintos Estados y territorios [1]. El bienestar de la población está íntimamente ligado al medio natural, puesto que la mayoría de las economías dependen en gran medida del turismo y de la agricultura y la pesca a pequeña escala. La escasez de agua es un problema cada vez más grave en las islas del Caribe y empeora con la expansión de la industria del turismo, el crecimiento demográfico, la urbanización y la falta de eficacia de las estrategias y de la gestión de los recursos hídricos. Las precipitaciones son cada vez más variables y las temperaturas están aumentando, lo que probablemente recrudecerá las dificultades que ya existen.

La historia de las sequías en el Caribe pone de manifiesto unas repercusiones sociales y económicas de amplio alcance que atañen a todos los sectores. Desde los años 50, se han producido al menos siete sequías graves en esta región; dos de ellas, las más recientes, ocurrieron en los períodos 2009–2010 y 2014–2016 [2]. A lo largo de 2009 y en el primer trimestre de 2010, una buena parte del suministro de agua potable de las Bahamas y las Islas Caimán se obtuvo a partir de plantas desalinizadoras [3]. En Antigua, el depósito más importante de agua ya se había agotado en marzo de 2010 y las aguas subterráneas de Barbados se situaron en un nivel sumamente bajo [3]. Carriacou, una isla que pertenece a Granada y que depende enteramente del agua de lluvia para cubrir sus necesidades hídricas, tuvo que traer agua en buques tanque desde la isla principal, aunque allí también sufrían escasez [4]. La sequía que tuvo lugar entre 2014 y 2016 en el Caribe fue aún más extrema: en siete territorios, se trató del período de sequía más largo del que se tiene constancia [5]. Disminuyó la producción agrícola y contribuyó a que se declararan incendios devastadores de matorrales y a que se produjeran restricciones de agua en las zonas residenciales.

Las previsiones sobre el cambio climático en estos territorios apuntan a que, en un futuro, las sequías serán más frecuentes y pronunciadas a causa del descenso general de la pluviosidad anual y del aumento de las temperaturas y la evapotranspiración [6]. La intrusión salina vinculada a la subida del nivel del mar y el efecto de los huracanes también mermarán el volumen de agua dulce de los acuíferos del litoral y su calidad [2]. Es probable que estos cambios se traduzcan en la reducción de los servicios de los ecosistemas y en amenazas de mayor envergadura para la agricultura, la salud humana, la fauna y flora silvestres y el desarrollo socioeconómico del Caribe. La suma de los efectos de la variabilidad y los cambios planteará situaciones de riesgo sin precedentes relacionadas con el agua, por lo que dar respuesta a las sequías es una parte vital de la adaptación al cambio climático en esta región.

Las evaluaciones que siguieron a la sequía de 2009–2010 revelaron varios problemas considerables en materia de capacidad, como las limitaciones de los sistemas de alerta temprana y de difusión de información entre instituciones interesadas clave, planes y políticas deficientes y la escasa financiación para poner en marcha actividades fundamentales y mantenerlas [5]. También pusieron de manifiesto que era necesario analizar los riesgos y los puntos débiles, e incluir esta información de forma constante en la elaboración de planes y estrategias de gestión de las sequías —y no como un hecho aislado—, además de la creación de Planes de Seguridad del Agua [7]. El proyecto del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF) sobre la Integración de la Gestión de Cuencas Hidrográficas y Áreas Costeras (IWCAM), que está destinado a los pequeños Estados insulares en desarrollo del programa del Caribe y concluyó en 2016, dio más relevancia a la gestión integrada de los recursos hídricos en la zona a través de proyectos demostrativos e intervenciones concretas, como la elaboración de hojas de ruta para dicha gestión [1]. La desalinización es muy común en todo el Caribe y se emplea en 14 islas. Gracias a la tendencia creciente de

promover la desalinización como parte de la solución a las dificultades relativas al abastecimiento de agua, las plantas de desalinización a pequeña escala que utilizan energía renovable suscitan cada vez más interés, como la que se ha puesto en funcionamiento en la isla de Bequia [1].

Se han producido grandes avances en cuanto a la supervisión, la predicción y la mitigación de fenómenos; por eso, estos territorios estaban mejor preparados para la sequía que se produjo entre 2014 y 2016. El Atlas de Sequías de América Latina y el Caribe que elabora el PHI ofrece una representación gráfica de las precipitaciones previstas y ha servido para establecer la frecuencia de las sequías meteorológicas y la vulnerabilidad a las mismas [8]. El PHI de la UNESCO también ha organizado actividades formativas para desarrollar y potenciar la capacidad de predicción subestacional a estacional de las sequías que sufre esta región en pleno verano.

El Instituto de Meteorología e Hidrología del Caribe ha creado el primer mecanismo de seguimiento regional de las sequías en el Caribe. Se trata de un sistema de información de alerta temprana sectorial que abarca distintas escalas cronológicas climáticas y que está pensado para proporcionar información adaptada a las necesidades concretas del usuario sobre alertas tempranas relacionadas con el clima. A raíz de las lecciones aprendidas y puestas en práctica tras la sequía de 2009–2010, la región estaba mucho más preparada para la que aconteció entre 2014 y 2016 [5]. La creación y la mejora de la Red de Monitoreo de la Sequía y Precipitación del Caribe continúa realizando una valiosa contribución a la previsión y la preparación en la zona. El Caribbean Drought Bulletin, que se publica mensualmente desde diciembre de 2018, proporciona información sobre la situación actual en cuanto a las sequías [9].

Chile – The Mega Drought

Lake Aculeo was once an important lake in the city of Paine outside of Santiago, Chile, serving as a popular area for recreation and as the main water source for many small-scale farmers. However, increased water extraction for agricultural use and growing urban land-use put great pressure on the lake [1]. A record-breaking drought started in 2011 and the water level started to sink dramatically. Today Lake Aculeo is no more.

Entering its ninth year, the current drought in Chile is rightfully named 'the Mega Drought', the longest drought Chile has seen over the last millenniums [2]. Chile has a diverse landscape, with a coastline stretching 6,435 km along the Pacific Ocean in the west, the great Andes Mountains in the east, and the Atacama Desert in the north. Since 2010, the country has experienced an uninterrupted period of dry years with mean rainfall deficits of 20–40 per cent [2]. Of the 18 million people living in the country, about 70 per cent live in drought-prone areas of Central Chile. The socioeconomic and political consequences of the drought have been widespread. Lack of access to water in affected areas has resulted in failed crop harvests, forcing many farmers to sell off livestock, give up their livelihoods and relocate. The natural environment is also suffering with adverse impacts on vegetation and increased occurrence of forest fires, negatively affecting the tourism industry that is built around the Chilean natural environment.

The drought has been ascribed to both natural and anthropogenic causes. El Niño Southern Oscillation (ENSO) is the major driver of inter-annual precipitation variability in Central Chile. ENSO comprises a warm phase (El Niño), a cold phase (La Niña) and a neutral phase [3]. La Niña usually results in drier-than-average conditions, but the current drought period has included both La Niña and El Niño years. The drought has also

coincided with a cold phase known as the Pacific Decadal Oscillation (PDO) [2]. PDO is a recurring ocean-atmosphere climate variability pattern taking place over the mid-latitude Pacific basin and a cold phase is associated with less rainfall in Central Chile. However, the precipitation deficit that has occurred in Chile falls well below what would be expected [2]. Therefore, taking internal variability, ENSO and PDO into consideration, there is a strong argument that anthropogenic climate change is partly to blame for the present Mega Drought. This means that both natural variabilities and anthropogenic forcing are contributing to sustained drought conditions in Chile, which significantly complicate the ability to predict drought and other hydrological events.

The Chilean Agroclimatic Observatory was launched in June 2013 in close collaboration with the Chilean Ministry of Agriculture and in coordination with IHP, the Food and Agriculture Organization (FAO), Centro Regional del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe (CAZALAC) and the International Research Institute for Climate and Society (IRI) [4]. The observatory is a collection of maps and other figures that monitors present drought conditions. It provides near-future seasonal forecasts and allows users to put the current droughts into a historical context [5].

The observatory also hosts the LAC Drought Atlas, a tool that allows users to visualize drought exposure by identifying both the variability of rainfall deficits and how this climatic variability differs spatially within the country, even at short distances. The drought observatory also offers a range of other tools for analysis, such as near-real-time observed precipitation, snowfall and river discharge and a combined drought index. The Chilean Vulnerability Atlas has also been

integrated and utilizes 13 indicators considering environmental, productive and socioeconomic factors to identify the communities that are more vulnerable to drought impacts. The atlas also considers the adaptability of a population in terms of the utilization of new technologies and production diversification.

On the ground, water harvesting, rainfall retention and aquifer recharge programmes such as UNESCO's Global Network on Water and Development Information for Arid Lands in Latin America and Caribbean (G-WADI LAC) has been of high importance to secure potable water for many communities [6]. G-WADI LAC aims to strengthen local water management capacity by using a combination of rainwater harvesting techniques such as rooftop catchments with fog harvesting technology, greywater recycling and artificial aquifer recharging, as well as educating the population. Furthermore, to support the identification of potential climate change impacts on water resource availability, CRIDA has been performed for the Limari river basin in Chile as a case study on how climate change information can be used for decision-making at the watershed scale [7].



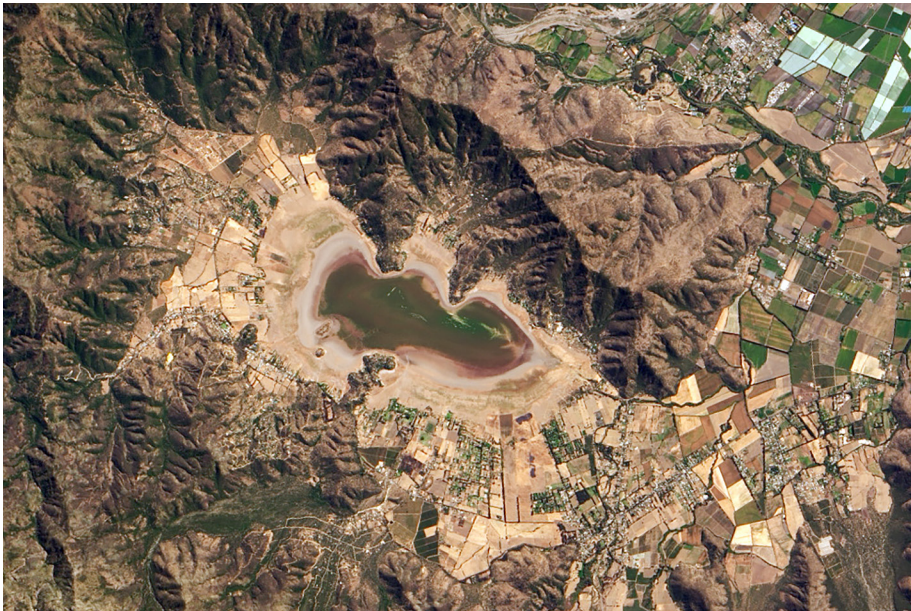
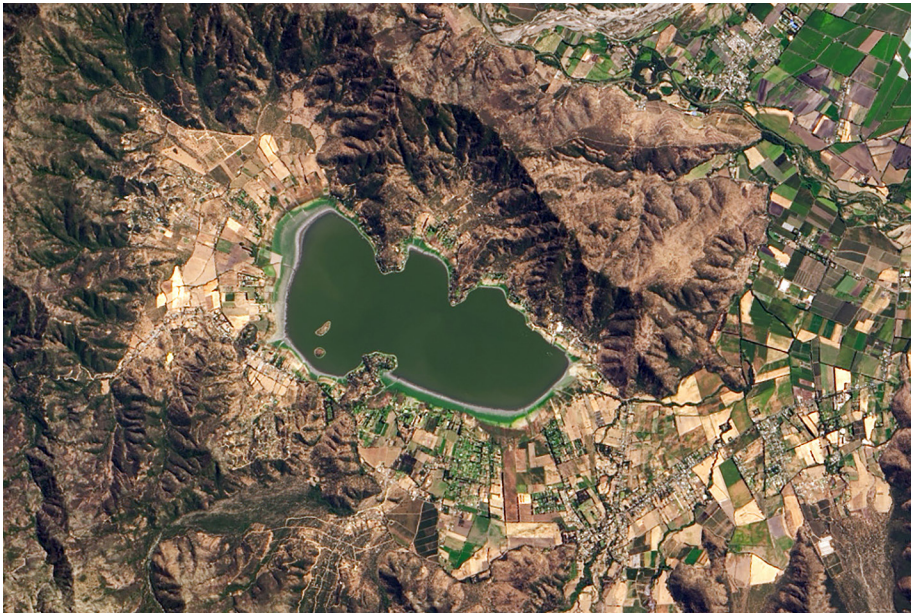
*Village of Machuca.
Machuca.*



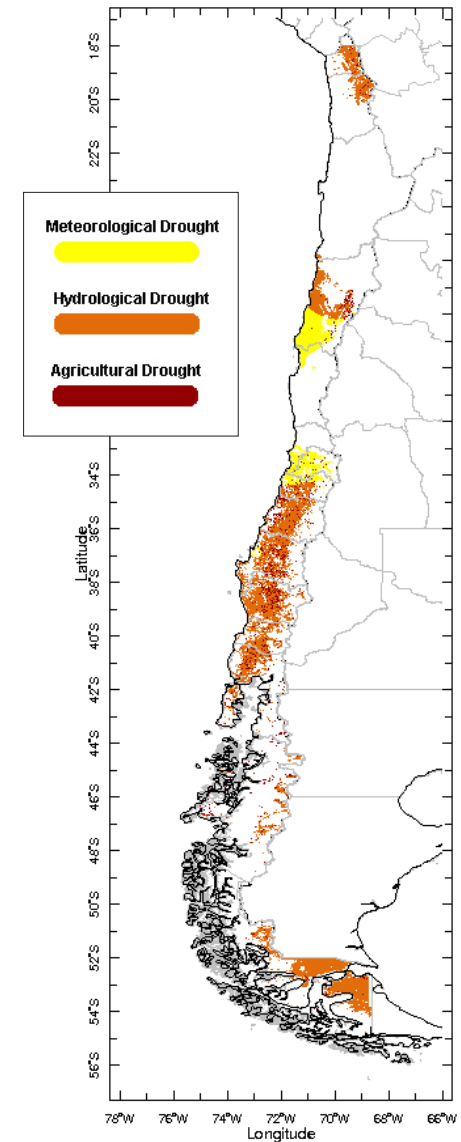
*Atacama desert.
Desierto de Atacama.*



*Dry reservoir in Chile.
Embalse seco en Chile.*



Lake Aculeo changes in water extent between 2014 and 2019.
Cambios en la extensión de las aguas de la laguna de Aculeo entre 2014 y 2019.



The Latin American and Caribbean Drought Atlas showing a combined map of agricultural, hydrological and metrological drought 2017.

El Atlas de Sequías de América Latina y el Caribe muestra un mapa combinado de sequía agrícola, hidrológica y meteorológica en 2017.

Chile: la megasequía

La laguna de Aculeo era una importante masa de agua de la ciudad de Paine, a las afueras de Santiago (Chile), así como un área recreativa muy popular y la principal fuente de agua de muchos pequeños agricultores. Sin embargo, el aumento de la extracción de agua con fines agrícolas y la urbanización del suelo ejercieron mucha presión sobre la laguna [1]. En 2011, comenzó una sequía sin precedentes y el nivel del agua empezó a mermar de forma drástica. Hoy, Aculeo ya no existe.

La sequía que atraviesa Chile en la actualidad, que ya va por su noveno año, se ha ganado el sobrenombre de «la megasequía» y es la más larga que el país ha sufrido en los últimos milenios [2]. Los paisajes de Chile son muy diversos: en el oeste, su litoral bordea el océano Pacífico a lo largo de 6.435 kilómetros; en el este, la cordillera de los Andes; y en el norte, el desierto de Atacama. Desde 2010, el país ha padecido un período ininterrumpido de condiciones meteorológicas secas y un déficit de lluvias que alcanza, de media, entre el 20% y el 40% [2]. De los 18 millones de habitantes de Chile, el 70% vive en áreas de la zona central del país que son proclives a las sequías. Los efectos socioeconómicos y políticos de estos fenómenos se han hecho notar de forma generalizada. La falta de acceso al agua en las regiones afectadas ha provocado malas cosechas, que a su vez han obligado a muchos agricultores a vender su ganado, renunciar a sus medios de vida y mudarse a otro lugar. El medio natural también se resiente por las consecuencias negativas para la vegetación y la mayor proliferación de incendios forestales, que repercuten negativamente en la industria del turismo, la cual gira en torno a los paisajes de Chile.

La sequía se ha achacado a factores tanto naturales como antropógenos. El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) es el motor principal de la variabilidad interanual de las precipitaciones en la zona central del país. Consta de una fase cálida (El Niño), una fase fría (La Niña) y una fase neutra [3]. La Niña suele traer aparejada unas condiciones climatológicas más secas que el promedio, pero la sequía actual ha abarcado años tanto de El Niño

como de La Niña. La sequía también ha coincidido con una fase fría llamada «Oscilación Decadal del Pacífico» (ODP) [2]. La ODP es un patrón de variabilidad climática entre la atmósfera y el océano que se produce en las latitudes medias de la cuenca del Pacífico; la fase fría se asocia con menos precipitaciones en la zona central de Chile. No obstante, el déficit de lluvias que se ha dado en el país es mucho mayor de lo que cabría esperar [2]. Por lo tanto, si se tienen en cuenta la variabilidad interna, el ENOS y la ODP, hay argumentos de peso para afirmar que el cambio climático antropogénico es responsable en parte de la megasequía actual. Eso significa que tanto las fluctuaciones naturales como las presiones antropogénicas están contribuyendo a que el episodio de sequía se prolongue en Chile, lo que hace que sea mucho más difícil predecir sequías y otros fenómenos hidrológicos.

El PHI inauguró en junio de 2013 el Observatorio Agroclimático de Chile trabajando estrechamente con el Ministerio de Agricultura y en colaboración con la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el Centro Regional del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe (CAZALAC) y el Instituto Internacional de Investigación sobre el Clima y la Sociedad [4]. El Observatorio es un conjunto de mapas y otros datos que hace un seguimiento de las condiciones de sequía actuales, ofrece pronósticos estacionales a corto plazo y permite que los usuarios sitúen las sequías actuales en un contexto histórico.

También alberga el Atlas de Sequías de América Latina y el Caribe, un recurso con el que los usuarios pueden consultar una representación gráfica de la vulnerabilidad a la sequía al determinar tanto las fluctuaciones de los déficits de lluvias como las diferencias en cuanto a variabilidad climática en distintos puntos del país, incluso cuando no están muy alejados. El Observatorio también cuenta con otra serie de herramientas para realizar análisis, como la precipitación observada casi en tiempo real, las nevadas y la descarga fluvial, y el índice de sequía combinado. También se ha integrado el Atlas de Vulnerabilidad de Chile, que emplea 13 indicadores

que tienen en cuenta los factores medioambientales, productivos y socioeconómicos para detectar qué comunidades están más expuestas a las consecuencias de las sequías. El Atlas también contempla la capacidad de adaptación de la población en lo referente al uso de nuevas tecnologías y la diversificación de la producción.

Los programas de captación de agua, retención de lluvias y recarga de acuíferos que se llevan a cabo sobre el terreno —como la Red Mundial de Información de la UNESCO sobre los Recursos Hídricos y el Desarrollo en las Zonas Áridas de América Latina y el Caribe (G-WADI LAC)— han desempeñado una función muy importante a la hora de garantizar que numerosas comunidades dispongan de agua potable [6]. G-WADI LAC tiene como objetivo reforzar la capacidad local para gestionar el agua mediante una combinación de técnicas de captación de agua de lluvia —como medios de captura de agua de niebla en los tejados, reciclado de aguas residuales grises y recarga artificial de acuíferos— y formación para la población. Por otra parte, y con el fin de ayudar a determinar los posibles efectos del cambio climático sobre la disponibilidad de los recursos hídricos, se ha puesto en práctica la toma de decisiones colaborativa e informada del riesgo (CRIDA) en Chile, en la cuenca del río Limarí, a modo de estudio de caso sobre cómo puede aprovecharse la información sobre el cambio climático para tomar decisiones en el plano de las cuencas hidrográficas [7].

Peru – Diverse landscapes and monitoring challenges

Few countries in the world offer as much geographical diversity as Peru. Twenty-eight different climatic zones can be found throughout the country, including large desert areas, a coastline stretching along the Pacific Ocean, lush rainforests and the staggering mountain peaks of the Andes. Peru is considered one of the world's megadiverse countries, harbouring a high number of endemic species and hosting 84 of the world's 104 known ecological regions [1].

The coastline of Peru is the driest area in the country. Wind patterns over the South Pacific Ocean and the proximity to the mountains make this region a place where rainfall is sparse. The area is prone to water scarcity caused by seasonal meteorological drought, standing in stark contrast to the Amazon Basin of the country, which is highly prone to flooding. The movement of the Intertropical Convergence Zone (ITCZ) – an area where the northeast and southeast trade winds converge – causes a wet season followed by a dry season in Peru. During the summer months, the easterly trade winds transport humid air from the tropical Atlantic towards the Amazon Basin and the Andes, creating a wet season in most of the country. During the winter, these winds move further north, creating a dry season with significantly less precipitation. However, in the summer months, the Andes function as a barrier for the winds coming from the Atlantic side, creating conditions where the eastern side of the Andes receives above 500mm/year of precipitation and the western side receives far less, with some areas as low as 150mm/year on average [2]. These diverse precipitation regimes have made the creation of a national water plan for Peru highly challenging.

Being able to accurately predict drought and events of water scarcity is of great importance to secure people's livelihoods and the function of the economic sectors that depend on water. Of the

33 million inhabitants of Peru, about one-third reside along the desert coastal belt in the west part of the country. About one-fourth of the population are employed in the agricultural sector. Peru is also the second largest producer of copper in the world [3], and as such, a great portion of the population is employed in an industry highly dependent on the availability of fresh water. Accurate predictions are also important to make better informed policies and plans for the mitigation of and adaptation to the impacts of drought. The varied climate and topography of the country makes this a complex task, as there are huge challenges with using statistics and algorithms to produce climate models in areas with high variability in rainfall and climate.

However, in recent decades, new algorithms have emerged, making predictions for these areas much more accurate. The National Meteorology and Hydrology Service of Peru (SENAMHI) has produced the Peruvian Interpolated data of SENAMHI's Climatological and Hydrological Observations (PISCO), a gridded data set using information from 1981 to the present day, with a 0.1-degree spatial resolution [2]. The monitor is based on meteorological data taken from both observed and satellite information. The algorithm used to produce this data set combines geostatic and deterministic interpolation methods with a variety of rainfall sources, including visually measured, radar-gauged and infrared precipitation estimates. Different drought indexes and scales were tested based on the country's situation. The data set operates on the national level and builds on six years of research in this area, using available information on the regionalization of droughts, characterization of duration, severity and intensity, hazard assessment and identification of dry periods [4]. The future of the project will focus on the relationship between hydrological

and meteorological droughts, the response of vegetation to droughts and the establishment of an early warning system in the next few years.

UNESCO has also supported efforts at the national level to establish a drought observatory in Peru, where a consortium of partners developed the National Drought Observatory (ONS) [5]. The ONS has been fully integrated in the National Water Resources System (SNIRH), becoming a cornerstone of its drought management strategy. The system collects daily levels of rivers, reservoirs, streamflow, hydropower production, precipitation, temperature and vegetation conditions, as well as information on past droughts and near-future seasonal forecasts.



*Central Andes.
Andes centrales.*



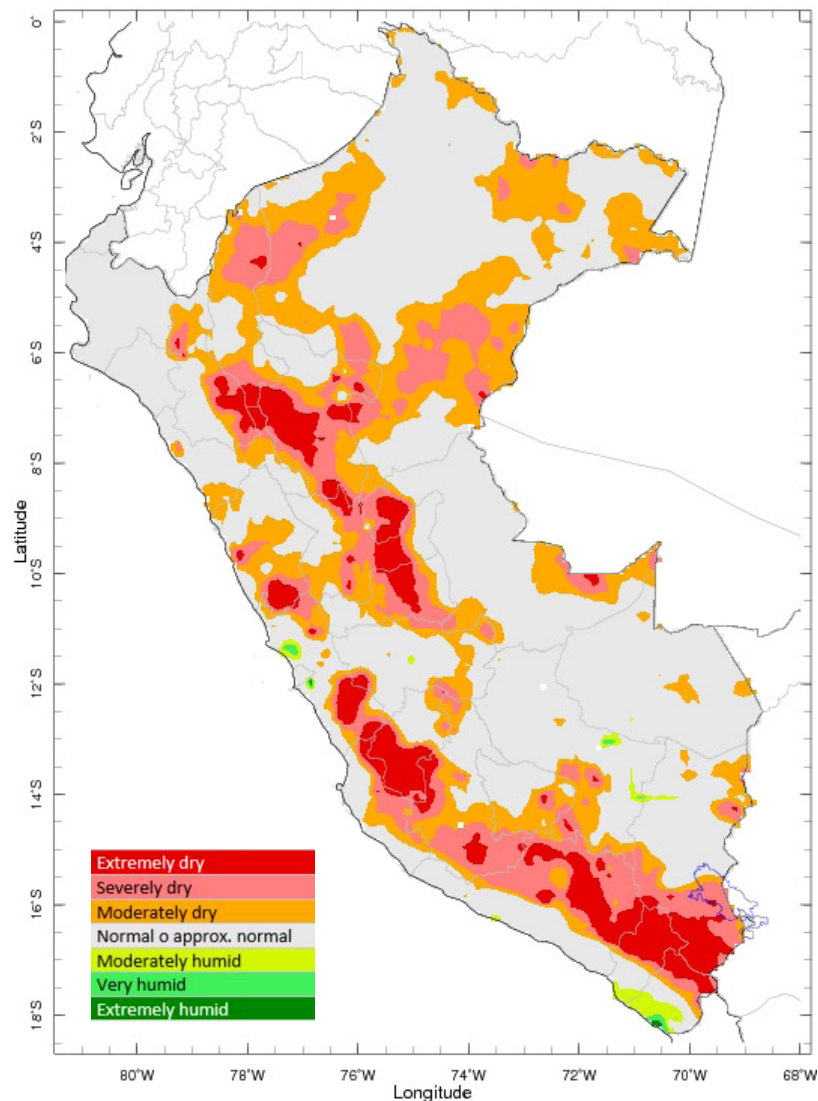
*Peruvian women in The Sacred Valley.
Mujeres peruanas en el Valle Sagrado.*



*Dry landscape in
Cordillera Blanca, Peru.
Paisaje desértico en la
Cordillera Blanca (Perú).*



Peruvian women in The Sacred Valley.
Mujeres peruanas en el Valle Sagrado.



Standardized Precipitation Index January 2016: A monitoring tool used to identify the intensity of drought or excess rainfall.

Índice de Precipitación Estandarizado de enero de 2016: una herramienta de vigilancia encaminada a identificar la intensidad de la sequía o el exceso de precipitaciones.

Perú: paisajes diversos y seguimiento de situaciones problemáticas

No hay muchos países en el mundo que tengan una geografía tan variada como la del Perú. Dentro de sus fronteras se distinguen 28 zonas climáticas, entre las que se cuentan extensas zonas desérticas, la costa que discurre junto al océano Pacífico, pluviselvas frondosas y las impresionantes cumbres montañosas de los Andes. Tiene la consideración de país megadiverso: alberga un gran número de especies endémicas, así como 84 de las 104 regiones ecológicas del mundo de las que se tiene constancia [1].

El litoral del Perú es la región más seca del país. Los patrones de los vientos del Pacífico Sur y la cercanía a las montañas hacen que las precipitaciones sean escasas. Es una zona proclive a la escasez de agua derivada de las sequías meteorológicas estacionales; esta situación es el extremo opuesto a la de la cuenca del Amazonas en el Perú, que es muy propensa a las inundaciones. El desplazamiento de la zona de convergencia intertropical (ZCIT), un lugar en el que convergen los alisios del noreste y el sureste, provoca en el país una temporada de lluvias seguida de una temporada seca. En los meses de verano, los alisios del este mueven aire húmedo procedente del Atlántico tropical hacia la cuenca del Amazonas y los Andes, lo que ocasiona una temporada de lluvias en la mayor parte del Perú. En invierno, los vientos avanzan más hacia el norte, lo que crea una estación seca con precipitaciones mucho más escasas. Sin embargo, durante los meses de verano, los Andes hacen las veces de barrera contra los vientos que soplan desde el Atlántico, lo que da lugar a una situación en la que la cara oriental de la cordillera registra más de 500 mm de lluvia al año mientras que el nivel de precipitaciones en la cara occidental es muy inferior, con zonas que no superan los 150 mm al año como promedio [2]. Este régimen de precipitaciones tan dispar es el motivo por el que la elaboración de un plan hidrológico nacional en el Perú es una tarea muy difícil.

Poder predecir con exactitud las sequías y las carestías de agua reviste una gran importancia a la hora de garantizar los medios de vida de la población y el funcionamiento de los sectores económicos que dependen de los recursos hídricos. De los 33 millones de habitantes del Perú, alrededor de un tercio vive en la franja de desierto costero del oeste del país. Alrededor de un cuarto de los peruanos trabaja en el sector agrícola. Además, el Perú es el segundo mayor productor de cobre del mundo [3]; por tanto, una gran parte de la población trabaja en una industria muy dependiente de la disponibilidad de agua dulce. Contar con predicciones exactas también es importante para formular políticas y planes que se ocupen de la atenuación y la adaptación a los efectos de la sequía con más conocimiento de causa. El hecho de que el clima y la topografía del país sean tan variados dificulta esta labor, ya que emplear estadísticas y algoritmos para generar modelos climáticos plantea problemas enormes en zonas donde las fluctuaciones del clima y las precipitaciones son muy marcadas.

No obstante, en los últimos decenios, se han creado nuevos algoritmos capaces de ofrecer predicciones mucho más precisas para estas comarcas. El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) ha publicado la base PISCO, un conjunto de datos interpolados sobre sus observaciones climatológicas e hidrológicas, organizados en cuadrículas a partir de información que data de 1981 hasta hoy, con una resolución espacial de 0,1 grados [2]. El mecanismo de seguimiento se basa en los datos meteorológicos que se obtienen a partir de las observaciones y de la información procedente de satélites. El algoritmo que se emplea para producir estos datos combina métodos de interpolación geoestadísticos y determinísticos con un abanico de fuentes pluviométricas, como estimaciones de las precipitaciones observables, por radar y a partir de datos infrarrojos. Se experimentó con distintos

índices y escalas de sequía según la situación del país. El conjunto de datos concierne al nivel nacional y se basa en seis años de investigación en este campo a partir de la información disponible sobre la regionalización de las sequías; la caracterización de su duración, gravedad e intensidad; la evaluación de la peligrosidad; y la definición de los períodos de sequía [4]. De cara al futuro, el proyecto se centrará en la relación entre las sequías hidrológicas y meteorológicas, la respuesta de la vegetación ante la sequía y la puesta en marcha de un sistema de alerta temprana en los próximos años.

La UNESCO también respaldó las labores en el plano nacional para establecer un observatorio de las sequías en el Perú, donde un consorcio de asociados creó el Observatorio Nacional de Sequía [5]. Este se ha integrado por completo en el Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos (SNIRH) y se ha convertido en una piedra angular de su estrategia de gestión de las sequías. El sistema recopila diariamente datos sobre el nivel de los ríos y embalses, los caudales, la producción de energía hidroeléctrica, las precipitaciones, las condiciones en cuanto a la temperatura y la vegetación, e información sobre sequías anteriores y pronósticos estacionales a corto plazo.

References / Bibliografía

INTRODUCCIÓN

1. United Nations Office for Disaster Risk Reduction. 2015. The Human Cost of Weather-Related Disasters 1995-2015. https://www.unisdr.org/2015/docs/climatechange/COP21_WeatherDisastersReport_2015_FINAL.pdf. Accessed 10 October 2019.
2. Verbist, K., Amani, A., Mishra, A and Jiménez Cisneros, B. 2016. Strengthening Drought Risk Management and Policy: UNESCO International Hydrological Programme's Case Studies from Africa and Latin America and the Caribbean. Water Policy 18. DOI 10.2166/wp.2016.223.

CAPE TOWN / CIUDAD DEL CABO

1. Muller, M. 2018. Cape Town's Drought: Don't Blame Climate Change. *Nature* 559(7713), pp. 174–176.
2. Burls, N., Blamey, R., Cash, B., Swenson, E., Fahad, A., Bopape, M. et al. 2019. The Cape Town "Day Zero" drought and Hadley cell expansion. *npj Climate and Atmospheric Science* (2)27.
3. Enqvist, J.P. and Ziervogel, G. (2019). Water Governance and Justice in Cape Town: An Overview. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water* 6(4), e1354.
4. City of Cape Town. 2019. Cape Town Water Strategy, Our Shared Future Draft. https://www.preventionweb.net/files/63935_capetowndraftwaterstrategy2019publi.pdf. Accessed 10 October 2019.
5. Otto, F.E.L., Wolski, P., Lehner, F., Tebaldi, C., van Oldenborgh, G.J., Hogesteeger, S. et al. 2018. Anthropogenic Influence on the Drivers of the Western Cape Drought 2015–2017. *Environmental Research Letters*, 13(12), 124010.
6. Maxmen, A. 2018. As Cape Town water crisis deepens, scientists prepare for 'Day Zero'. *Nature* 554(7690), pp. 13–14.
7. City of Cape Town. 2012. Cape Town Census. http://resource.capetown.gov.za/documentcentre/Documents/Maps%20and%20statistics/2011_Census_Cape_Town_Profile.pdf. Accessed 10 October 2019.
8. Robins, S. 2019. "Day Zero", Hydraulic Citizenship and the Defence of the Commons in Cape Town: A Case Study of the Politics of Water and its

Infrastructures (2017-2018)', *Journal of Southern African Studies*, 45(1), pp. 5–29.

9. Parks, R., McLaren M., Toumi R., Rivett U. 2018. Experiences and lessons in managing water from Cape Town, Technical Report. <http://hdl.handle.net/10044/1/67992>. Accessed 10 October 2019.
10. Mendoza, G., Jeuken, A., Matthews, J.H., Stakhiv, E., Kucharski, J. and Gilroy, K. 2018. Climate Risk Informed Decision Analysis (CRIDA): Collaborative Water Resources Planning for an Uncertain Future. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000265895>. Accessed 10 October 2019.

LAKE CHAD / EL LAGO CHAD

1. World Bank. 2019. Tools for Good Water Management in Lake Chad. 4 June. <https://www.worldbank.org/en/news/feature/2018/06/04/tools-for-good-water-management-in-lake-chad>. Accessed 16 October 2019.
2. Mekonnen, D.T. 2016. The Lake Chad Development and Climate Resilience Action Plan (Summary). Washington D.C.
3. Magrin, G. 2016. The Disappearance of Lake Chad: History of a Myth. *Journal of Political Ecology* 23(1), pp. 204–22.
4. Nagarajan, C., Pohl, B., Rüttinger, L., Sylvestre, F., Vivekananda, J., Wall, M. et al. 2018. Climate-Fragility Profile: Lake Chad Basin. Berlin: adelphi, 32.
5. Vivekananda, J., Wall, M., Sylvestre, F. and Nagarajan, C. 2019. Shoring Up Stability: Addressing Climate Change and Fragility Risks in the Lake Chad Region. Berlin: adelphi research gemeinnützige GmbH. <https://shoring-up-stability.org/wp-content/uploads/2019/06/Shoring-up-Stability.pdf>. Accessed 10 October 2019.

SUB-SAHARAN AFRICA / ÁFRICA SUBSAHARIANA

1. Shiferaw, B., Tesfaye, K., Kassie, M., Abate, T., Prasanna, B.M., Menkir, A. 2014. Managing vulnerability to drought and enhancing livelihood resilience in sub-Saharan Africa: Technological, institutional and policy options. *Weather and Climate Extremes* 3, pp. 67–79.

2. Brown, C., Meeks, R., Hunu, K., Yu, W. 2011. Hydroclimate risk to economic growth in sub-Saharan Africa. *Climatic Change* 106, pp. 621–647.
3. UK Research and Innovation. n.d. GCRF - Building REearch [sic] Capacity for sustainable water and food security In drylands of sub-saharan Africa (BRECCIA). <https://gtr.ukri.org/projects?ref=NE%2FP021093%2F1>. Accessed 16 October 2019.
4. University of Southampton. 2019. Southampton building research capacity to tackle water crisis in sub-Saharan Africa. 22 March. <https://www.southampton.ac.uk/news/2019/03/water-day-breccia.page>. Accessed 16 October 2019.
5. Building Research Capacity for Sustainable Water and Food Security in Drylands of Sub-Saharan Africa. 2018. Transforming African Agriculture: Eyes In The Sky, Smart Techs On The Ground. 12 September. <http://www.grcf-breccia.com/2018/09/12/transforming-african-agriculture-eyes-in-the-sky-smart-techs-on-the-ground/> Accessed 17 October 2019.
6. UNESCO. 2018. Rainwater Harvesting as adaptation strategy for Africa | United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. http://www.unesco.org/new/en/nairobi/about-this-office/single-view/news/rainwater_harvesting_as_adaptation_strategy_for_africa/. Accessed 08 October 2019.
7. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, International Hydrological Program. 2018. Rainwater Harvesting App. <http://rainwaterharvesting.africa/> Accessed 06 October 2019.

ZAMBIA / ZAMBIA

1. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. 2004. Water Demand Management Field Study. Version 1.1. <https://www.car.org.bw/wp-content/uploads/2016/06/Field-Study.pdf>. Accessed 18 October 2019.
2. World Bank. 2019. The World Bank in Zambia. 13 October. <https://www.worldbank.org/en/country/zambia/overview>. Accessed 16 October 2019.
3. CRIDA Step By Step. 2017. YouTube video, added by Marc Tkach. 28 August. <https://www.youtube.com/watch?v=wPc6DKTtGo8>. Accessed 18 October 2019.

4. Millennium Challenge Corporation. n.d. Zambia Compact. <https://www.mcc.gov/where-we-work/program/zambia-compact>. Accessed 16 October 2019.
5. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization and International Center for Integrated Water Resources Management. 2018. Climate Risk Informed Decision Analysis (CRIDA): Collaborative Water Resources Planning for an Uncertain Future. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000265895>

MOROCCO / MARRUECOS

1. Dodson, L.L. and Bargach, J. 2015. Harvesting Fresh Water from Fog in Rural Morocco: Research and Impact [sic] Dar Si Hmad's Fogwater Project in Ait Baamrane. *Procedia Engineering* 107, pp. 186–193.
2. Dar Si Hmad. 2019. A ground-breaking project: Harvesting water from fog. <http://darsihmad.org/fog/>. Accessed 01 October 2019.
3. United Nations Framework Convention on Climate Change. n.d. Women-led Fog Harvesting for a Resilient, Sustainable Ecosystem | Morocco. <https://unfccc.int/climate-action/momentum-for-change/women-for-results/women-led-fog-harvesting-for-a-resilient-sustainable-ecosystem>. Accessed 01 October 2019.
4. Dar Si Hmad. 2019. The Water School: Environmental Education for Rural Youth. <http://darsihmad.org/water-school/>. Accessed 01 October 2019.

SAUDI ARABIA / ARABIA SAUDITA

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2008. Saudi Arabia. http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/SAU/index.stm. Accessed 16 October 2019.
2. The Kingdom of Saudi Arabia. 2019. Saudi Arabia's Vision for 2030. <https://vision2030.gov.sa/en>. Accessed 16 October 2019.
3. Center for International Communication, Ministry of Media, Saudi Arabia. 2018. Saudi Arabia's SWCC in Guinness World Records as Largest Desalination Company Globally. 9 February. <https://cic.org.sa/2018/02/saudi-arabias-swcc-in-guinness-world-records-as-largest-desalination-company-globally/>.

4. McCabe, M. F., Houborg, R. and Lucieer, A. 2016. High-resolution sensing for precision agriculture: from Earth-observing satellites to unmanned aerial vehicles. *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XVIII*.
5. Aragon, B., Houborg, R., Tu, K, Fisher, J.B. and McCabe, M. 2018. CubeSats Enable High Spatiotemporal Retrievals of Crop-Water Use for Precision Agriculture. *Remote Sensing* 10(12), 1867. <https://www.mdpi.com/2072-4292/10/12/1867>.
6. McCabe, M.F., Rodell, M., Alsdorf, D.E., Miralles, D.G., Uijlenhoet, R., Wagner, W. et al. 2017. The Future of Earth Observation in Hydrology. *Hydrology and Earth System Sciences* 21, pp. 3879–3914. <https://www.hydrol-earth-syst-sci.net/21/3879/2017/>.

ARAL SEA / EL MAR DE ARAL

1. Indoitu, R., Kozhoridze, G., Batyrbaeva, M., Vitkovskaya, I., Orlovsky, N., Blumberg, D., Orlovsky, L. 2015. Dust emission and environmental changes in the dried bottom of the Aral Sea. *Aeolian Research* 17, pp. 101–115.
2. Lioubimtseva, E. 2015. A Multi-Scale Assessment of Human Vulnerability to Climate Change in the Aral Sea Basin. *Environmental Earth Sciences* 73(2), pp. 719–729. DOI 10.1007/s12665-014-3104-1.
3. Micklin, P. 2016. The Future Aral Sea: Hope and Despair. *Environmental Earth Sciences* 75(9), 844.
4. TEEB 2012. The Economics of Ecosystems and Biodiversity in Business and Enterprise. Edited by Joshua Bishop. Earthscan. London and New York
5. Micklin, P. 2007. The Aral Sea Disaster. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 35, pp. 47–72.
6. Gaybullaev, B., Chen, S.-C., Gaybullaev, D. 2012. Changes in water volume of the Aral Sea after 1960. *Applied Water Science* 2, pp. 285–291.
7. World Bank. 2005. Saving a Corner of the Aral Sea. 1 September.
8. <https://www.worldbank.org/en/results/2005/09/01/saving-a-corner-of-the-aral-sea>. Accessed 16 October 2019.
9. Ministry of Justice. 2018. Decree of President of Uzbekistan: About the State Program on Developing the Region Surrounding the Aral Sea in 2017–2021. Tashkent, 18 January. <http://lex.uz/docs/3099707>.

KEOLADEO NATIONAL PARK / EL PARQUE NACIONAL DE KEOLADEO

1. United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre. 2002. World Heritage Sites. http://web.archive.loc.gov/all/20021009114606/http%3A//www.wcmc.org.uk/protected_areas/data/wh/keoladeo.html. Accessed 16 October 2019.
2. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. 2019. Keoladeo National Park. <https://whc.unesco.org/en/list/340/>. Accessed 17 October 2019.
3. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. 2019. State of Conservation 2005. <https://whc.unesco.org/en/soc/1268>. Accessed 16 October 2019.
4. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. 1990. Report of the World Heritage Committee. CLT-90/CONF.004/13. <https://whc.unesco.org/archive/1990/cc-90-confoo4-13e.pdf>. Accessed 17 October 2019.
5. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. 2005. State of conservation reports of properties inscribed on the World Heritage List. 15 June. WHC-05/29.COM/7B.Rev. <https://whc.unesco.org/archive/2005/whc05-29com-07BReve.pdf>. Accessed 17 October 2019.
6. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. 2008. Report on the UNESCO-IUCN Mission to Keoladeo National Park, India. 15 June. 32 COM.
7. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. 2019. State of Conservation 2011. <https://whc.unesco.org/en/soc/320>. Accessed 16 October 2019.
8. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. 2019. State of Conservation 2012. <https://whc.unesco.org/en/soc/139>. Accessed 16 October 2019.
9. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. 2019. State of Conservation 2014. <https://whc.unesco.org/en/soc/2870>. Accessed 16 October 2019.
10. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. 2018. Convention Concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage. 4 July. WHC/18/42.COM/18.

MARSHALL ISLANDS / ISLAS MARSHALL

1. Annamalai, H., Keener, V., Widlansky, M.J. and Hafner, J. 2015. El niño strengthens in the pacific: Preparing for the impacts of drought. *AsiaPacific Issues* 122.
2. Leenders N., Holland, P. and Taylor, P. 2017. Republic of the Marshall Islands: Post Disaster Needs Assessment of the 2015-2016 Drought. Republic of the Marshall Islands.
3. Pacific Water. n.d. Pacific IWRM Programme. <http://www.pacificwater.org/pages.cfm/water-governance/integrated-water-resource-management/pacific-iwr-programme/>. Accessed 16 October 2019.
4. Pacific Water. 2015. The Pacific Integrated Water Resources Management Programme <http://www.pacificwater.org/userfiles/file/Pacific%20IWRM%20Programme%20Brochure.pdf>. Accessed 16 October 2019.
5. United Nations Development Programme. n.d. Marshall Islands: Protecting drinking water from drought and sea level rise. <https://www.undp.org/content/undp/en/home/ourwork/ourstories/Marshall-Islands-Protecting-drinking-water.html>. Accessed 16 October 2019.

VIETNAM / VIETNAM

1. Piman, T. and Shrestha, M. 2017. Case Study on Sediment in the Mekong River Basin: Current State and Future Trends. Stockholm: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization and Stockholm Environment Institute.
2. Nguyen, N.A. 2017. Historic Drought and Salinity Intrusion in the Mekong Delta in 2016: Lessons Learned and Response Solutions. *Vietnam Journal of Science, Technology and Engineering* 59, pp. 93–96.
3. Thilakarathne, M. and Sridhar, V. 2017. Characterization of Future Drought Conditions in the Lower Mekong River Basin. *Weather and Climate Extremes* 17, pp. 47–58.
4. Smajgl, A., Toan, T.Q., Nhan, D.K., Ward, J.R., Trung, N.H., Tri, L.Q., et al. 2015. Responding to Rising Sea Levels in the Mekong Delta. *Nature Climate Change* 5, 167.
5. Ha, K., Ngoc, N.T.M., Lee, E. and Jayakumar, R. 2015. Current Status and Issues of Groundwater in the Mekong River Basin. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM), Coordinating Committee for Geoscience Programmes in East and

Southeast Asia Technical Secretariat, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization Bangkok Office.

6. Kuntiyawichai, K., Plermkamon, V., Jayakumar, R., Van Dau, Q. 2015. Climate Change Vulnerability Mapping for Greater Mekong Sub-Region. Bangkok: Asia and Pacific Regional Bureau for Education of United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. <https://bangkok.unesco.org/content/climate-change-vulnerability-mapping-greater-mekong-sub-region>. Accessed 10 October 2019.

CALIFORNIA / CALIFORNIA

1. Pathak, T.B., Maskey, M.L., Dahlberg, J.A., Kearns, F., Bali, K.M. and Zaccaria, D. 2018. Climate Change Trends and Impacts on California Agriculture: A Detailed Review. *Agronomy*, 8(3), 25.
2. Shonkoff, S.B., Morello-Frosch, R., Pastor, M. and Sadd, J. 2011. The Climate Gap: Environmental Health and Equity Implications of Climate Change and Mitigation Policies in California—A Review of the Literature. *Climatic Change* 109(1), pp. 485–503.
3. Griffin, D. and Anchukaitis, K.J. 2014. How unusual is the 2012–2014 California drought? *Geophysical Research Letters* 41(24), pp. 9017–9023.
4. Williams, A.P. 2015. Contribution of Anthropogenic Warming to California Drought During 2012–2014. *Geophysical Research Letters* 42(16), pp. 6819–6828.
5. National Integrated Drought Information System. 2015. U.S. Drought Portal. <https://www.drought.gov/drought/states/california>. Accessed 16 October 2019.
6. Medellín-Azuara, J., MacEwan, D., Howitt, R.E., Sumner, D.A. and Lund, J.R. 2016. Economic Analysis of the 2016 California Drought on Agriculture. Center for Watershed Sciences. Davis, California: University of California.
7. Greene, C. 2018. Broadening Understandings of Drought – The Climate Vulnerability of Farmworkers and Rural Communities in California (USA). *Environmental Science & Policy* 89, pp. 283–291.
8. He, M., Russo, M. and Anderson, M. 2017. Hydroclimatic Characteristics of the 2012-2015 California Drought from an Operational Perspective. *Climate* 5(1), 5.
9. California Department of Forestry and Fire Protection. 2015. 2015 Fire Season. 2015 Incident Archive. <https://www.fire.ca.gov/incidents/2015/>. Accessed 16 October 2019.

10. California Natural Resources Agency, Department of Food and Agriculture and California Environmental Protection Agency. 2015. California Water Action Plan 2016 Update. California Water Action Plan Implementation Report 2014–2018. http://resources.ca.gov/california_water_action_plan/implementation_report/. Accessed 16 October 2019.
11. Schwarz, A., Ray, P. and Arnold, W. 2019. Decision Scaling Evaluation of Climate Change Driven Hydrologic Risk to the State Water Project: A Collaborative Study of the Hydrosystems Research Group, University of Massachusetts, Amherst and the California Department of Water Resources. California: Department of Water Resources. 107.

UNITED KINGDOM / REINO UNIDO

1. Managing the Risks, Impacts and Uncertainties of Droughts and Water Scarcity. n.d. About MaRIUS. <http://www.mariusdroughtproject.org>. Accessed 10 October 2019.
2. Drought Risk and You. 2019. Map Your Drought. 8 June. <http://dryproject.co.uk/citizen-science/map-your-drought/>. Accessed 10 October 2019.
3. Natural Environment Research Council (n.d.). UK Droughts & Water Scarcity. <https://nerc.ukri.org/research/funded/programmes/droughts/#xcollapse1>. Accessed 11 October 2019.
4. Centre for Ecology & Hydrology. n.d. About Drought. <https://aboutdrought.info/what-is-drought/>. Accessed 11 October 2019.
5. Centre for Ecology & Hydrology. 2019. Droughts. <https://eip.ceh.ac.uk/droughts>. Accessed 10 October 2019.
6. Centre for Ecology & Hydrology. 2019b. UK Water Resources Portal. <https://eip.ceh.ac.uk/hydrology/water-resources/>. Accessed 10 October 2019.

THE CARIBBEAN / EL CARIBE

1. Cashman, A., Cox, C., Daniel, J. and Smith, T. 2014. Integrated Water Resources Management in the Caribbean: The Challenges Facing Small Island Developing States. Technical Focus Paper. Global Water Partnership.
2. Reidmiller, D.R., Avery, C.W., Easterling, D.R., Kunkel, K.E., Lewis, K.L.M., Maycock, T.K. et al. (eds.) 2018. Chapter 20. In *Impacts, Risks, and Adaptation in the United States: The Fourth National Climate Assessment*, Volume II. U.S. Washington, D.C.:

Global Change Research Program. <https://nca2018.globalchange.gov/chapter/caribbean>. Accessed 16 October 2019.

3. Cashman, A. 2013. Water Security and Services in the Caribbean. Technical Note IDB-TN-514. InterAmerican Development Bank.
4. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Caribbean Institute for Meteorology and Hydrology. 2016. Drought Characteristics and Management in the Caribbean. FAO Water Report 42.
5. Trotman, A., Joyette, A.R.T., van Meerbeeck, C.J., Mahon, R., Cox, S-A., Cave, N. et al. 2017. Drought Risk Management in the Caribbean Community: Early Warning Information and Other Risk Reduction Considerations. In Drought and Water Crises 2nd Edition. Wilhite, D. and Pulwarty, R. (eds.). Boca Raton: CRC Press, pp. 431–447.
6. Taylor, M., Clarke, L.A., Centella, A., Bezanilla, A., Stephenson, T.S., Jones, J.J. et al. 2018. Future Caribbean Climates in a World of Rising Temperatures: The 1.5 vs 2.0 Dilemma. *Journal of Climate* 31(7), pp. 2907–2926.
7. Farrell, D., Trotman, A. and Cox, C. 2010. Drought Early Warning and Risk Reduction: A Case Study of the Drought of 2009–2010. UNISDR Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction GAR2011. United Nations Office for Disaster Risk Reduction. http://www.preventionweb.net/english/hyogo/gar/2011/en/bgdocs/Farrell_et_al_2010.pdf.
8. Managing Water Resources in Arid and Semi-arid Regions of Latin America and the Caribbean. 2019. The Latin American and Caribbean Drought Atlas. http://www.cazalac.org/mwar_lac/index.php?id=12. Accessed 16 October 2019.
9. Caribbean Regional Climate Centre. n.d. Caribbean Drought Bulletin. <https://rcc.cimh.edu.bb/drought-bulletin-caribbean/>. Accessed 19 October 2019.
3. Garreaud, R.D., Alvarez-Garretón, C., Barichivich, J., Boisier, J.P., Christie, D.A., Galleguillos, M. et al. 2017. The 2010–2015 Mega Drought in Central Chile: Impacts on Regional Hydroclimate and Vegetation. *Hydrology and Earth System Sciences* 21(12), pp. 1–37.
4. Managing Water Resources in Arid and Semi-arid Regions of Latin America and the Caribbean. 2019. The Latin American and Caribbean Drought Atlas. http://www.cazalac.org/mwar_lac/index.php?id=12. Accessed 16 October 2019.
5. Managing Water Resources in Arid and Semi-arid Regions of Latin America and the Caribbean. 2019. National Drought Observatories Objectives. http://www.cazalac.org/mwar_lac/index.php?id=49. Accessed 16 October 2019.
6. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization Global Network on Water and Development Information for Arid Lands in Latin America and Caribbean. n.d. About GWADI. <http://www.cazalac.org/publico/index.php?id=100&L=0>. Accessed 16 October 2019.
7. Verbist, K., Rojas, P. and Maureira, H. 2018. A Stress Test for Climate Change Impacts on Water Security: Case Study from the Limarí Watershed in Chile. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. 45.

PERU / EL PERÚ

1. Escobal, J. and Torero, M. 2000. Inter-American Development Bank Latin American Research Network, Research Network Working paper #R-404. Does Geography Explain Differences in Economic Growth in Peru? Washington, D.C.: Inter-American Development Bank.
2. Aybar, C., Fernández, C., Huerta, A., Lavado, W., Vega, F. and Felipe-Obando, O. 2019. Construction of a High-Resolution Gridded Rainfall Dataset for Peru from 1981 to the Present Day. *Hydrological Sciences Journal*.
3. Peru. n.d. Peru Is the world's second biggest copper producer. <https://peru.info/en-us/business/news/5/23/peru-is-the-world-s-second-biggest-copper-producer>. Accessed 18 October 2019.
4. International Research Institute for Climate and Society. 2019. SENAMHI HSR PISCO. <http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.SENAMHI/.HSR/.PISCO/>. Accessed 16 October 2019.
5. National Drought Observatory. n.d. Peruvian Drought Observatory. <http://ons.snirh.gob.pe/Peru/maproom/>. Accessed 16 October 2019.

CHILE / CHILE

1. Alaniz, A., Carvajal, M., Nuñez-Hidalgo, I. and Vergara, P. 2019. Chronicle of an Environmental Disaster: Aculeo Lake, the Collapse of the Largest Natural Freshwater Ecosystem in Central Chile. *Environmental Conservation*, 0-4.
2. Garreaud, R.D., Boisier, J.P., Rondanelli, R., Montecinos, A., Sepúlveda, H.H. and Veloso-Aguila, D. 2019. The Central Chile Mega Drought (2010-2018): A Climate Dynamics Perspective. *International Journal of Climatology*.

Photo credits / Créditos fotográficos

CAPE TOWN / CIUDAD DEL CABO

11 Unsplash/Dan Grinwis
11 Flickr/6000.co.za (CC BY-NC-ND)
11 Flickr/6000.co.za (CC BY-NC-ND)
12 iStock/fivepointsix
12 NASA Earth Observatory

LAKE CHAD / EL LAGO CHAD

15 Getty images/ecoimagesphotos
16 NASA Earth Observatory
16 Flickr/EU_ECHO (CC BY-NC-ND)

SUB-SAHARAN AFRICA / ÁFRICA SUBSAHARIANA

19 Getty images/hadynyah
19 Getty images/poco_bw
19 Getty images/Jennifer Sophie
20 Justin Sheffield
20 Adelaide Hitchings

ZAMBIA / ZAMBIA

23 MCA-Zambia
23 MCA-Zambia
23 MCA-Zambia
24 Flickr/Hanna Öunap (CC BY-NC)

MOROCCO / MARRUECOS

27 Flickr/Michele Solmi (CC BY-NC-SA)
27 Aqualonis
27 Aqualonis
27 Aqualonis
28 Aqualonis

SAUDI ARABIA / ARABIA SAUDITA

31 Kasper Johansen
31 Getty images/ali suliman
31 NASA Earth Observatory
32 NASA Earth Observatory

ARAL SEA / EL MAR DE ARAL

35 Flickr/Vincent Robinot (C BY-NC-ND)
35 Flickr/Mark Pitcher (CC BY-NC)
35 Getty images/OkorokovaNatalya
36 NASA Earth Observatory

KEOLADEO NATIONAL PARK / EL PARQUE NACIONAL DE KEOLADEO

39 Getty Images/curkul
40 Flickr/Peter Steward (CC BY-NC)
40 Flickr/Peter Steward (CC BY-NC)
40 Getty Images/curkul

MARSHALL ISLANDS / ISLAS MARSHALL

43 Getty images/DanLinPhotography
43 Flickr/Peter Mellow (CC BY-NC)
43 Getty images/Marshall_Islands
44 Flickr/UNDP (CC BY-NC-ND)
44 Flickr/UNDP (CC BY-NC-ND)
44 Getty images/andrearenata

VIETNAM / VIET NAM

47 Jimmy Walsh
47 Jimmy Walsh
47 Unsplash/Vince Gx
48 Thai Van Nguyen
48 Getty Images/Jane1e
48 Getty Images/RomanBabakin

CALIFORNIA / CALIFORNIA

51 Kelly M. Grow/California DWR
51 Zack Cunningham/California DWR
51 Florence Low/California DWR
52 U.S. Drought Monitor
52 Kelly M. Grow/California DWR
52 Florence Low/California DWR

UNITED KINGDOM / REINO UNIDO

55 Getty images/Carol Herbert Photography
55 Getty images/Carol Herbert Photography
56 Centre for Ecology & Hydrology
56 Centre for Ecology & Hydrology

THE CARIBBEAN / EL CARIBE

59 Getty images/NAPA74
59 Getty images/Chris Jbeily
59 Getty images/mahroch
60 Flickr/Mark Yokoyama (CC BY-NC-ND)
60 Flickr/Mark Yokoyama (CC BY-NC-ND)
60 Unsplash/Briona Baker

CHILE / CHILE

63 Getty images/Marco Ramerini
63 Getty images/tifonimages
63 Christopher Vivanco (CAZALAC)
64 NASA Earth Observatory
64 The Latin American and Caribbean Drought Atlas

PERU / EL PERÚ

67 Unsplash/Willian Justen de Vasconcellos
67 Getty images/hadynyah
67 Getty images/Byelikova_Oksana
68 Getty images/hadynyah
68 The Latin American and Caribbean Drought Atlas



*Droughts in the
Anthropocene /
Sequías en el
Antropoceno*

UNESCO ISBN:
978-92-3-000089-9

GRID-Arendal ISBN:
978-82-7701-192-9



9 789230 000899