

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/358734930>

El episodio de sequía extrema de 2019– 2021 en la Cuenca del Plata Un informe conjunto del JRC de la Comisión Europea, el CEMADEN, el SISSA y la OMM

Technical Report · February 2022

DOI: 10.2760/346183

CITATIONS

0

READS

130

23 authors, including:



Gustavo Naumann

CIMA Research Foundation

120 PUBLICATIONS 4,384 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Guillermo Pablo Podesta

Retired from University of Miami Rosenstiel School

119 PUBLICATIONS 4,980 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Jose A Marengo

Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais

664 PUBLICATIONS 31,808 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Jürg Luterbacher

World Meteorological Organization

437 PUBLICATIONS 31,588 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Climate change impact assessment on the hydrological cycle in Europe [View project](#)



Reconstruction of seasonality of pre instrumental flood events [View project](#)



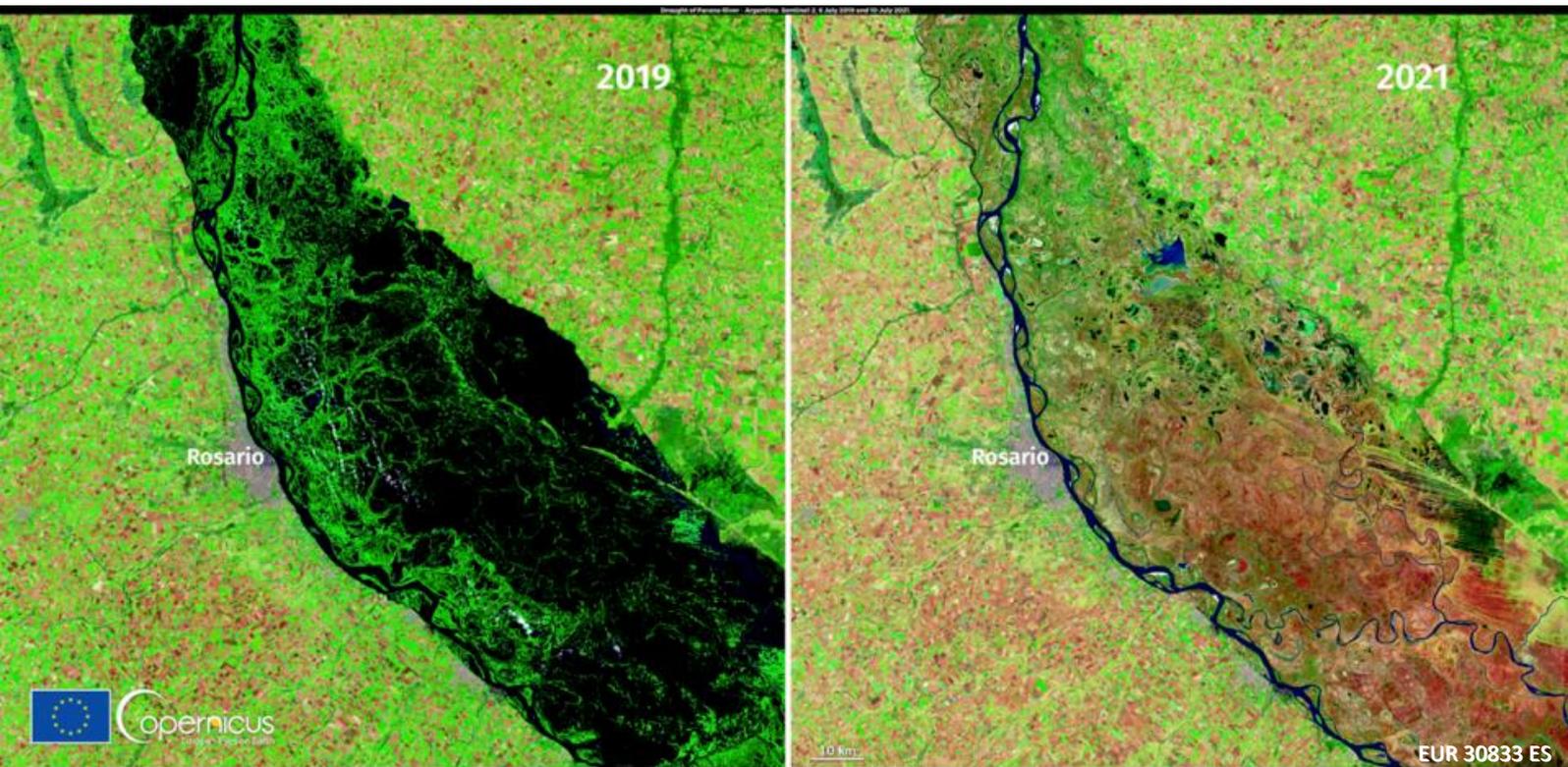
European
Commission

El episodio de sequía extrema de 2019-2021 en la Cuenca del Plata

*Un informe conjunto del JRC
de la Comisión Europea, el
CEMADEN, el SISSA y la OMM*

Naumann, G., Podestá, G., Marengo, J., Luterbacher, J., Bavera, D., Arias Muñoz, C., Barbosa, P., Cammalleri, C., Chamorro, L., Cuartas, A., de Jager, A., Escobar, C., Hidalgo, C., Leal de Moraes, O., McCormick N., Maetens, W., Magni, D., Masante, D., Mazzeschi, M., Seluchi, M., Skansi, M. M., Spinoni, J., Toreti, A.

2022



Joint
Research
Centre



La presente publicación es un informe del Centro Común de Investigación (JRC), el servicio de ciencia y conocimiento de la Comisión Europea, que aspira a prestar un apoyo científico factual al proceso de elaboración de las políticas de la Unión. Los resultados científicos que figuran en esta publicación no reflejan un posicionamiento político de la Comisión Europea. Ni la Comisión Europea ni ninguna persona que actúe en su nombre son responsables del uso que pueda hacerse de esta publicación. Para más información sobre la metodología y la calidad de los datos utilizados en esta publicación cuya fuente no es ni Eurostat ni otros servicios de la Comisión, los usuarios deben ponerse en contacto con la fuente referenciada. Las designaciones empleadas y la presentación del material en los mapas no implican juicio alguno de la Unión Europea sobre la condición jurídica de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto del trazado de sus fronteras o límites.

Información de contacto

Nombre: Andrea Toreti

Dirección: Via E. Fermi 2749, I-21027 ISPRA (VA), Italia

Correo electrónico: Andrea.TORETI@ec.europa.eu

EU Science Hub (Plataforma Científica del JRC)

<https://ec.europa.eu/jrc>

JRC126508

EUR 30833 ES

PDF

ISBN 978-92-76-47671-9

ISSN 1831-9424

doi:10.2760/346183

Luxemburgo: Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, 2022

© Unión Europea 2022



La política de reutilización de la Comisión Europea se rige por la Decisión 2011/833/UE de la Comisión, de 12 de diciembre de 2011, relativa a la reutilización de los documentos de la Comisión (DO L 330 de 14.12.2011, p. 39). Salvo que se indique otra cosa, la reutilización del presente documento queda autorizada en virtud de la licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>). Esto significa que se permite la reutilización siempre que la fuente esté adecuadamente identificada y se indique cualquier cambio. La Comisión Europea declina toda responsabilidad por las consecuencias que puedan derivarse de la reutilización. Para cualquier uso o reproducción de fotografías u otro material que no sea propiedad de la UE, debe solicitarse permiso directamente a los titulares de los derechos de autor.

Todo el contenido © Unión Europea 2022, salvo que se indique lo contrario. Cubierta: Par de imágenes obtenidas por uno de los satélites Sentinel-2 de Copernicus el 6 de julio de 2019 (izquierda) y el 10 de julio de 2021 (derecha). Las imágenes ofrecen pruebas de la sequía que afecta al río Paraná en Argentina, cerca del puerto de Rosario. En la imagen derecha se aprecian bancos de arena expuestos y humedales desecados. Créditos: Unión Europea, imágenes del Sentinel-2 de Copernicus.

Cómo citar este informe: Naumann, G., Podestá, G., Marengo, J., Luterbacher, J., Bavera, D., Arias Muñoz, C., Barbosa, P., Cammalleri, C., Chamorro, L., Cuartas, A., de Jager, A., Escobar, C., Hidalgo, C., Leal de Moraes, O., McCormick N., Maetens, W., Magni, D., Masante, D., Mazzeschi, M., Seluchi, M., Skansi, M. M., Spinoni, J., Toreti, A.: «El episodio de sequía extrema de 2019-2021 en la Cuenca del Plata», EUR 30833 ES, Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, Luxemburgo, 2022, ISBN 978-92-76-47671-9 (en línea), doi:10.2760/346183 (en línea), JRC126508.

Índice

Agradecimientos	2
Resumen.....	3
1 Introducción.....	4
2 Evolución y situación de la sequía que afecta a la CDP desde 2019 hasta hoy	6
2.1 Precipitación total y anomalías acumuladas desde septiembre de 2016.....	7
2.2 Índice de precipitación estandarizado (SPI)	8
2.3 Evolución de la superficie bajo diferentes categorías de sequía basada en las estimaciones de precipitación del CHIRPS	9
2.4 Variables hidrológicas.....	11
2.5 Respuesta de la vegetación	15
3 Causas de la reciente sequía	16
3.1 Fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS)	16
3.2 Cambio en el uso del suelo y deforestación.....	19
4 Episodios históricos de sequía en la CDP	20
5 Impactos reportados de la sequía en curso	23
5.1 Declaración de emergencia por sequía	23
5.2 Ecosistemas - humedales	23
5.3 Incendios.....	25
5.4 Agricultura, ganadería y economía	27
5.5 Transporte por vías navegables.....	29
5.6 Generación de energía hidroeléctrica y otros impactos energéticos	31
5.7 Suministro de agua para consumo humano	33
5.8 Salud humana	33
6 Conclusiones.....	35
Referencias.....	36
Lista de abreviaturas y definiciones	39
Lista de gráficos.....	40
Lista de cuadros.....	42
Anexos	43
Anexo 1. Descripción de los indicadores de sequía utilizados en el presente informe	43

Agradecimientos

La investigación en el «Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais» (CEMADEN) fue financiada en parte por el proyecto INCT-Cambio Climático Fase dos (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, número de subvención/adjudicación: 465501/2014-1; Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, número de subvención/adjudicación: 88887.136402/2017-; Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, número de subvención/adjudicación: 2014/50848-9; CNPq, número de subvención/adjudicación: 301397/2019-8).

El Sistema de Información sobre Sequías para el Sur de Sudamérica (SISSA) es un componente del Centro Regional del Clima para el Sur de América del Sur, una colaboración de seis naciones para producir y difundir información y servicios climáticos oportunos, pertinentes y utilizables para apoyar la toma de decisiones en los sectores de la sociedad sensibles al cambio y la variabilidad del clima. El principal apoyo que recibe el SISSA en sus actividades proviene del programa de Bienes Públicos Regionales del Banco Interamericano de Desarrollo y del programa Euroclima+ financiado por la Unión Europea a través de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo.

Autores

Gustavo Naumann, Comisión Europea, Centro Común de Investigación, Italia
Guillermo Podestá, SISSA, Argentina
José Antonio MARENGO, CEMADEN, Brasil
Jürg Luterbacher, Director del Departamento de Ciencia e Innovación y Científico Jefe de la Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza
Davide Bavera, Arcadia SIT, Vigevano, Italia
Carolina Arias Muñoz, Arhs Development, Milán, Italia
Gustavo Naumann, Comisión Europea, Centro Común de Investigación, Italia
Carmelo Cammalleri, Comisión Europea, Centro Común de Investigación, Italia
Lucas Chamorro, Entidad Binacional Yaciretá, Paraguay-Argentina
Luz Adriana Cuartas, CEMADEN, Brasil
Alfred de Jager, Comisión Europea, Centro Común de Investigación, Italia
Cristián Escobar, Organización Meteorológica Mundial, Oficina Regional para América del Sur, Paraguay
Cecilia Hidalgo, SISSA, Argentina
Marco Mazzeschi, Unisystems Luxembourg Sàrl, Luxemburgo
Osvaldo Luiz Leal de Moraes, CEMADEN, Brasil
Niall McCormick, Comisión Europea, Centro Común de Investigación, Italia
Willem Maetens, Comisión Europea, Centro Común de Investigación, Italia
Diego Magni, Arcadia SIT, Vigevano, Italia
Dario Masante, Comisión Europea, Centro Común de Investigación, Italia
Marcelo Enrique Seluchi, CEMADEN, Brasil
María de los Milagros Skansi, Servicio Meteorológico Nacional, Argentina
Jonathan Spinoni, Comisión Europea, Centro Común de Investigación, Italia
Andrea Toreti, Comisión Europea, Centro Común de Investigación, Italia

Resumen

Una sequía extrema y persistente que comenzó en 2019 todavía hoy sigue afectando a la Cuenca del Plata, la segunda cuenca hidrográfica más grande de Sudamérica y la quinta del mundo. En el presente informe se ofrece una visión general del episodio, su contexto climatológico, su evolución espaciotemporal, sus causas y características y sus impactos en los sistemas naturales y humanos.

La sequía de 2019-2021 comenzó con precipitaciones inferiores a las normales en la parte superior de la cuenca a mediados de 2019 y, debido a su persistencia, se ha propagado a través del ciclo hidrológico afectando a la humedad del suelo, los caudales, las aguas subterráneas y la vegetación. En las cuencas altas de los ríos Paraguay y Paraná, en la zona centro-sur de Brasil, iniciaron a aparecer condiciones de sequía severas, extremas y excepcionales. A finales de 2019, la sequía ya afectaba a los estados brasileños de Mato Grosso, Goiás, São Paulo y Paraná, así como a Paraguay y al centro de Argentina. Esta situación continuó a lo largo de 2020 y alcanzó su mayor extensión espacial a finales de ese año, cuando también la zona norte y las pampas de la zona centro-este de Argentina sufrieron una sequía generalizada.

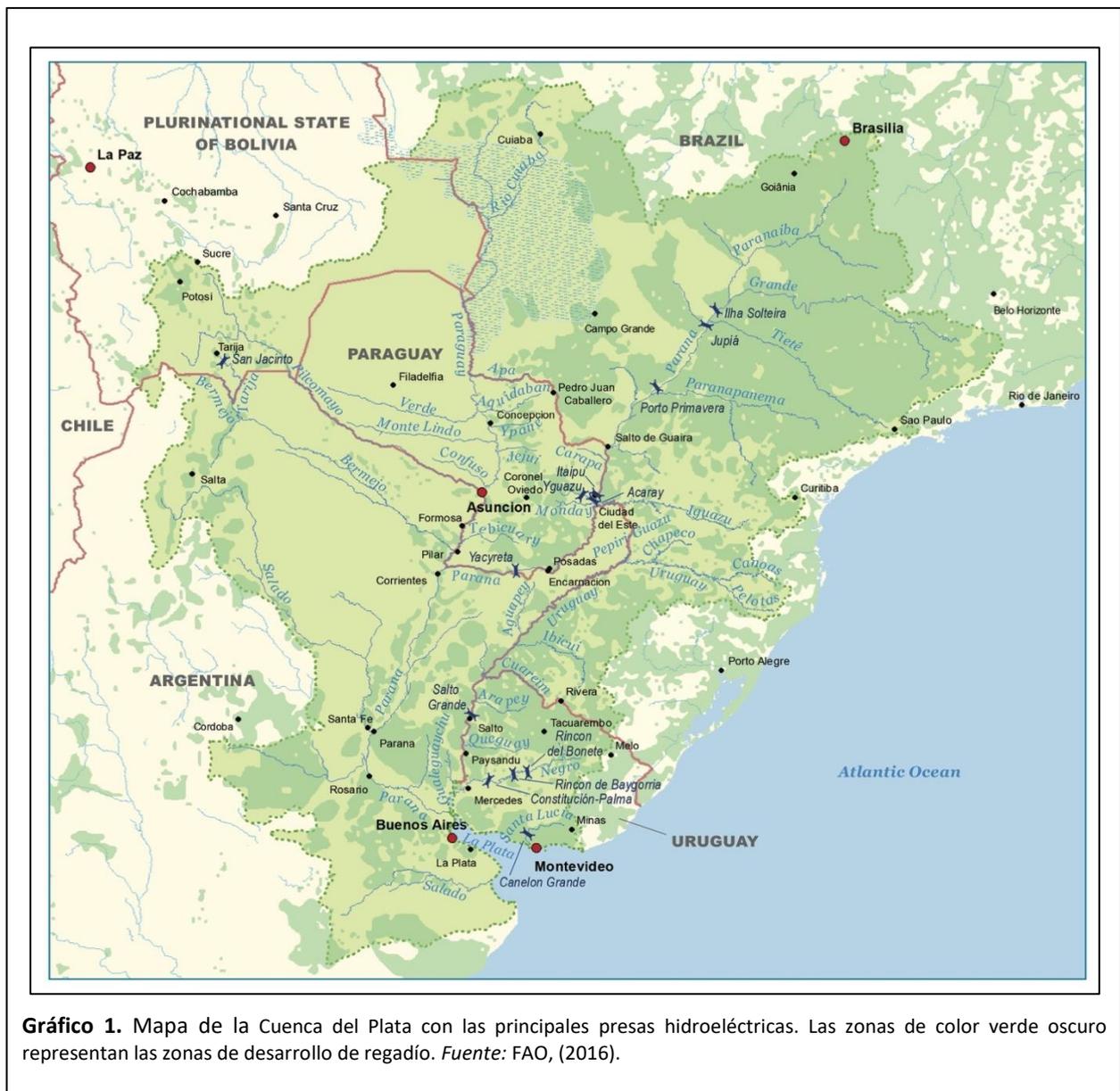
El episodio de sequía de la Cuenca del Plata de 2019-2021, que todavía continúa, se encuentra ya entre los cinco peores episodios registrados en el Sudeste de Sudamérica desde la década de 1950. La mayoría de los parámetros incluidos en la clasificación actual (severidad, intensidad y pico) sitúan la sequía en curso por detrás del episodio de 1968-1971 debido a su menor duración.

En la mayoría de las zonas de la Cuenca del Plata, La Niña suele ir acompañada de sequías, lo que provoca impactos especialmente negativos en el sur de Brasil, el nordeste de Argentina, Paraguay y Uruguay. Las recientes observaciones y previsiones estacionales apuntan a que el fenómeno de La Niña podría volver a producirse en octubre-noviembre de 2021 y durar hasta la primavera de 2022, con lo que se retrasaría el retorno de la Cuenca del Plata a sus condiciones normales, en particular los caudales fluviales. Esto coincide con la mayoría de las previsiones de precipitaciones estacionales de los conjuntos de modelos globales, que indican un escenario de déficit de precipitaciones en la parte media y baja de la Cuenca del Plata.

Según los impactos notificados y atribuidos a este episodio, muchos sectores, como la agricultura, la navegación fluvial, la producción de energía, el suministro de agua y varios ecosistemas, se han visto afectados por la sequía actual. Sin embargo, solo será posible llevar a cabo la estimación de los daños totales y la caracterización de todos los sectores afectados una vez que haya finalizado el episodio.

1 Introducción

La Cuenca del Plata (en lo sucesivo, la «CDP») abarca el sur de Brasil, el sudeste de Bolivia, Paraguay, la mayor parte de Uruguay y el nordeste de Argentina. Con una superficie de 3,1 millones de km², la CDP es la segunda cuenca hidrográfica más grande de Sudamérica y la quinta del mundo, ya que cubre el 17 % de la superficie terrestre del continente sudamericano. La región depende principalmente de las precipitaciones para mantener una vasta producción agrícola, la generación de energía hidroeléctrica y el transporte de mercancías por sus ríos, así como para satisfacer la demanda de agua domésticas, industriales y medioambientales. La CDP se compone de tres grandes sistemas fluviales: el Paraná, el Paraguay y el Uruguay, todos los cuales convergen hacia el estuario del Río de la Plata que desemboca en el Atlántico. Cada una de estas cuencas hidrográficas presenta características socioeconómicas únicas que reflejan las características del origen de sus aguas y la consiguiente variabilidad de sus caudales (Gráfico 1). La Hidrovía Paraguay-Paraná, por ejemplo, es un corredor fluvial de flujo libre de 3 500 km de longitud que, debido a la ausencia de presas y otras intervenciones importantes, aún mantiene sus funciones hidrológicas y ecológicas (Baigún and Minotti, 2021).



La población total que vive en la CDP es de unos 100 millones de personas, casi la mitad de la población de los países que componen la cuenca. En ella se produce alrededor del 70 % del PIB agregado de los países de la cuenca (Barros et al., 2006). En la actualidad, los ríos de la CDP están expuestos a factores que modifican la cantidad y la calidad de sus aguas. Estas presiones se ven exacerbadas por la extraordinaria variabilidad del régimen hidrológico vinculada en parte al cambio y la variabilidad del clima, con sequías o inundaciones recurrentes. Otros factores importantes están asociados a cambios en: el uso del suelo, el crecimiento demográfico, la urbanización y el desarrollo de la agricultura, la industria y las infraestructuras. Es fundamental comprender el impacto de las condiciones climáticas y medioambientales pasadas, presentes, así como evaluar escenarios futuros (por ejemplo, una mayor frecuencia e intensidad de los episodios de sequía) es crucial para apoyar las políticas y decisiones gubernamentales, así como para fomentar el progreso hacia economías con bajas emisiones de carbono, una alta resiliencia y sociedades más equitativas en la región (Coelho et al., 2016).

Desde 2019, la región de la CDP ha sufrido un largo, excepcional y devastador episodio que empezó como una sequía meteorológica¹ (déficit de precipitaciones), pero que, debido a su persistencia, se ha extendido por el ciclo hidrológico y afectado a toda la hidrología (la humedad del suelo, los ríos, el almacenamiento de agua en superficie y en acuíferos) y a los ecosistemas de la región. Se considera «la sequía más severa desde el año 1944» (INA, 2021) y ha causado graves impactos en las sociedades, los ecosistemas y la economía de la región. Aquí ofrecemos una visión general del desarrollo de la sequía y sus impactos en los ecosistemas y en sectores socioeconómicos clave. Las principales características y los factores climáticos se describen en las siguientes secciones, junto con una visión general de los principales sectores sensibles a la sequía.

¹ Las sequías son un fenómeno recurrente de todos los climas y se definen generalmente en relación con el clima medio a largo plazo de una región determinada. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) define la sequía como «un período de tiempo anormalmente seco lo suficientemente prolongado como para causar un grave desequilibrio hidrológico» (IPCC, 2021). Es el resultado de un déficit de precipitaciones durante un período determinado, de la inoportunidad o ineficacia de las precipitaciones, o de un balance hídrico negativo debido al aumento de la demanda de agua atmosférica a causa de altas temperaturas o fuertes vientos (UNDRR, 2021).

2 Evolución y situación de la sequía que afecta a la CDP desde 2019 hasta hoy

Varios informes (GDO², CEMADEN³, INA⁴ y OMM^{5,6}) han analizado las primeras fases de esta sequía, que comenzó a mediados de 2019 en el norte de la CDP y se ha extendido recientemente hasta afectar a casi todo el territorio de la cuenca. Las recientes observaciones⁷ y el monitoreo realizado por el CEMADEN, las agencias hidrológicas y los servicios meteorológicos de la región confirman que el déficit de precipitaciones y caudales fluviales ha empeorado.

Las distintas fases de la sequía requieren diferentes indicadores para su caracterización (véase el recuadro 1). En el análisis de las sequías meteorológicas se utilizan a menudo las anomalías de precipitación y el índice normalizado de precipitaciones. Los indicadores de humedad del suelo, como el índice de severidad de la sequía basado en la humedad del suelo, caracterizan los efectos de la sequía en términos de estrés hídrico de las plantas (Vogt et al., 2018). Los indicadores hidrológicos,

Recuadro 1. Tipos de sequía

Según sus efectos en el ciclo hidrológico y su impacto en la sociedad y el medio ambiente, se suelen distinguir varios tipos de sequías:

- La sequía meteorológica es un período de varios meses o años de déficit de precipitaciones o balance hídrico climatológico (es decir, precipitaciones menos evapotranspiración potencial) en una región determinada. Este déficit se define con respecto a la climatología a largo plazo. Una sequía meteorológica suele ir acompañada de temperaturas superiores a las normales y es antecedente y causa de otros tipos de sequías. Las sequías meteorológicas son provocadas por anomalías persistentes en los patrones de circulación atmosférica a gran escala, que a menudo se asocian a temperaturas anómalas en la superficie de los mares tropicales u otras circunstancias remotas. A su vez, retroalimentaciones locales como la reducción de la evaporación y la humedad asociadas a suelos secos y altas temperaturas a menudo potencian las anomalías atmosféricas.
- La sequía agrícola y ecológica es un período con un déficit anormal de humedad del suelo, que se debe a una combinación de escasez de precipitaciones y exceso de evapotranspiración, y que durante la temporada de crecimiento afecta a la producción de los cultivos o al funcionamiento de los ecosistemas en general.
- La sequía hidrológica se produce cuando el caudal de los ríos y el almacenamiento de agua en acuíferos, lagos o embalses caen por debajo de los niveles medios a largo plazo. Este tipo de sequía se desarrolla más lentamente, ya que afecta a agua almacenada que se agota, pero no se repone. Las series temporales de estas variables se utilizan para analizar la incidencia, duración y severidad de las sequías hidrológicas.

Fuente: Adaptado de Vogt et al. (2018); IPCC (2021)

2 GDO, 2021. *GDO Analytical report. Drought in centre-south Brazil* [«Informe analítico de GDO. La sequía en el centro-sur de Brasil, junio de 2021»]. Observatorio Mundial de la Sequía (GDO) del Servicio de Gestión de Emergencias de Copernicus (SGEC) del JRC. Disponible en: <https://edo.jrc.ec.europa.eu/gdo/php/index.php?id=2050>.

3 CEMADEN, 2021. Monitoramento De Secas E Impactos No Brasil – Julho/2021. Disponible en: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/rede-mcti/cemaden/conteudo/monitoramento/monitoramento-de-seca-para-o-brasil/monitoramento-de-secas-e-impactos-no-brasil-2013-julho-2021>.

4 INA, 2021. Posibles escenarios hidrológicos en la Cuenca del Plata durante el período septiembre-octubre-noviembre 2021. Disponible en: <https://www.ina.gob.ar/alerta/index.php?seccion=6>.

5 OMM, 2021a: Estado del clima mundial en 2020, OMM-N.º 1264.

6 OMM, 2021b: El estado del clima en América Latina y el Caribe 2020, OMM-N.º 1272.

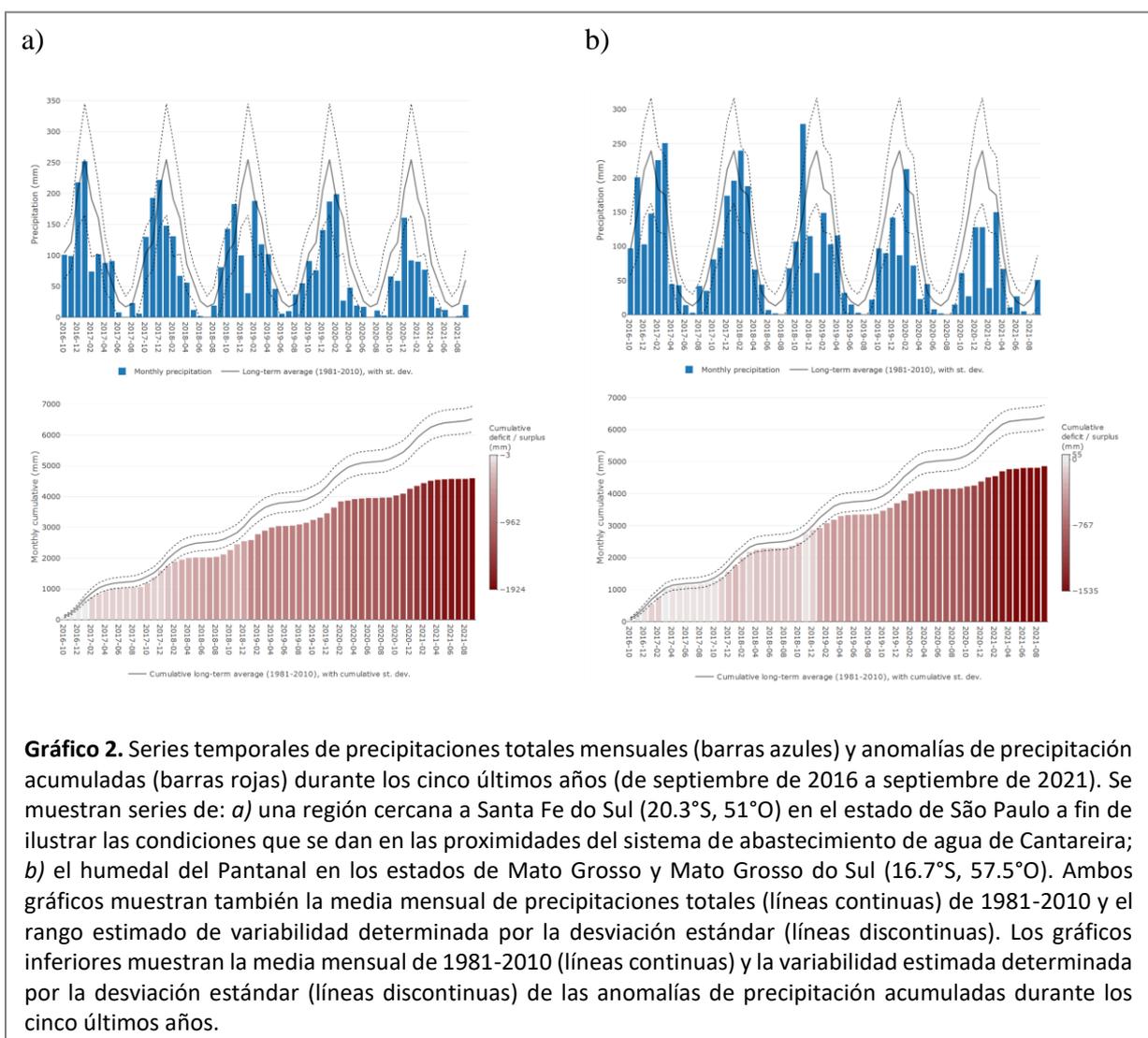
7 https://www.ina.gob.ar/archivos/alerta/Tabprono_2021sep29.pdf.

como percentiles y déficits de caudal, se utilizan para cuantificar el volumen del déficit hídrico de ríos y embalses o para controlar si se mantiene un caudal ecológico requerido o un régimen de caudal mínimo. Para controlar el estrés por sequía en la cubierta vegetal se utilizan indicadores basados en la teledetección, como la fracción de radiación fotosintéticamente activa absorbida (UNDRR, 2021).

A continuación, se describe la evolución de los diferentes indicadores de sequía meteorológica, hidrológica y relacionada con la vegetación. En el anexo 1 figura una descripción detallada de los indicadores de sequía utilizados en esta sección.

2.1 Precipitación total y anomalías acumuladas desde septiembre de 2016

El Gráfico 2 muestra la evolución temporal de las precipitaciones mensuales y de las anomalías de precipitación acumuladas durante los cinco últimos años (de septiembre de 2016 a septiembre de 2021). Se muestran las series temporales de dos localidades: *a*) una cerca de Santa Fe do Sul, en el estado de São Paulo, para describir las condiciones del sistema de abastecimiento de agua de Cantareira que suministra agua a la megaciudad de São Paulo (paneles de la izquierda) y *b*) el Pantanal, en el estado de Mato Grosso, uno de los mayores humedales del mundo (paneles de la derecha).



Es evidente que, durante los cinco últimos años, las precipitaciones han sido siempre inferiores a la media de 1981-2010 en ambos lugares, por lo que no han contribuido significativamente a aliviar las condiciones de sequía precedentes. Sin embargo, los doce últimos meses destacan con valores muy bajos. Durante el último quinquenio, se ha acumulado un fuerte déficit de precipitaciones superior al 25 % (con respecto al período de 1981-2010). En los dos últimos años, el total de precipitaciones se ha situado en torno al 50 % de la media.

2.2 Índice de precipitación estandarizado (SPI)

Esta sección pone el foco en las series cronológicas del Índice de precipitación estandarizado (SPI, un indicador de la sequía meteorológica; para más información, véase el anexo) correspondiente a las dos localidades descritas en la sección anterior (el sistema de abastecimiento de agua de Cantareira y el humedal del Pantanal). Las series del SPI se muestran en el Gráfico 3 y el Gráfico 4 para tres escalas temporales: 3, 6 y 12 meses.

El análisis de las series temporales del SPI muestra que el SPI-03 ha alcanzado valores muy secos o extremadamente secos entre veinte y treinta veces desde 1981. No obstante, cabe destacar que dos terceras partes de estos episodios se han producido en los cuatro últimos años. En los seis últimos meses, el SPI-12 arrojó valores negativos, lo que indica un fuerte déficit hidrológico. Esta información confirma que la sequía actual representa uno de los períodos más secos y prolongados de precipitaciones inferiores a la normal en el curso alto de la CDP en los cuarenta últimos años.

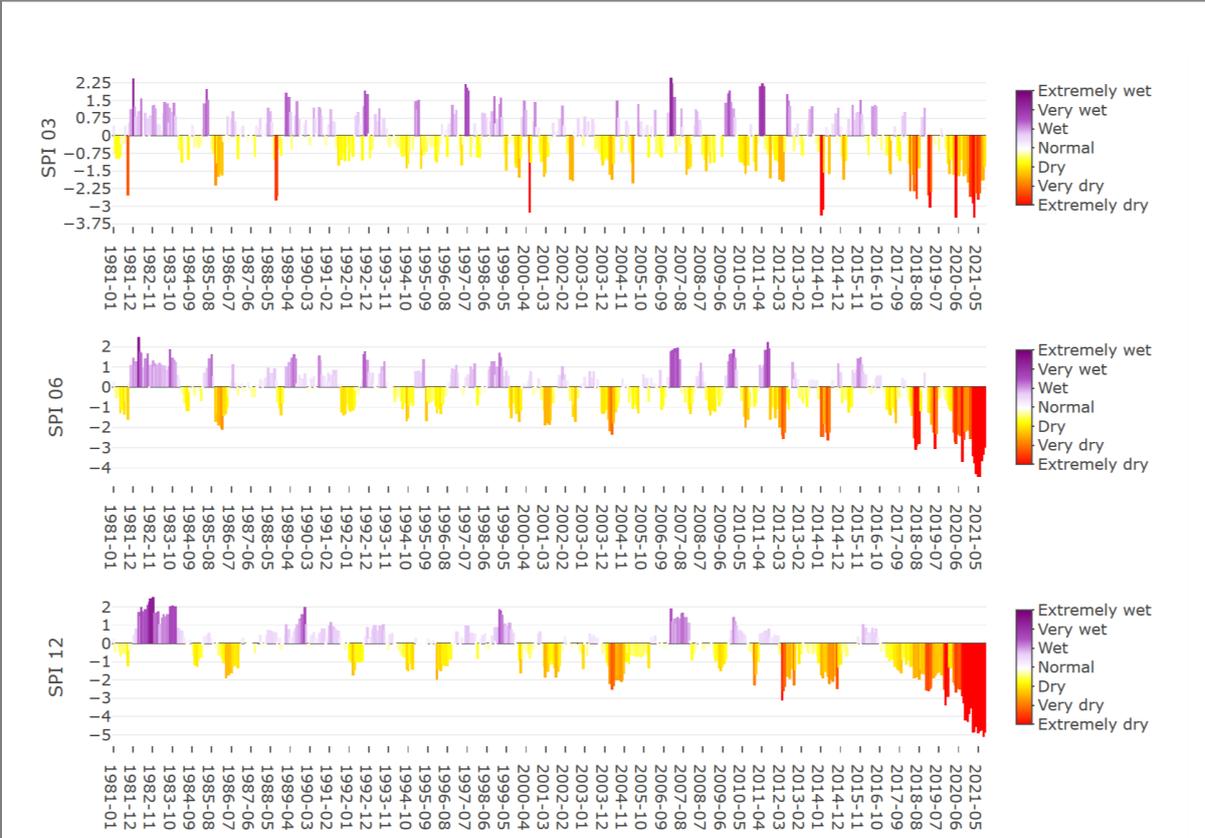
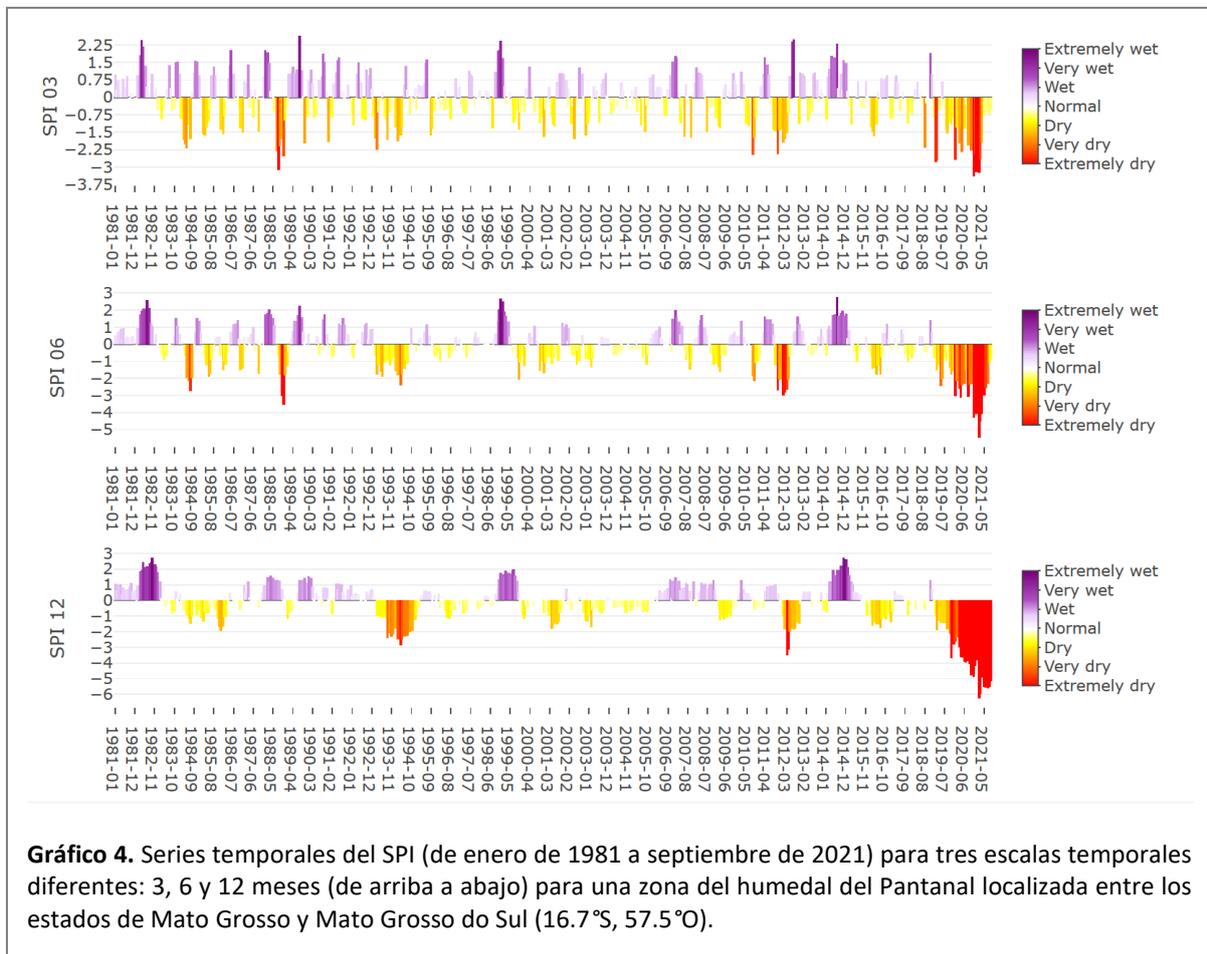


Gráfico 3. Series temporales del SPI (de enero de 1981 a septiembre de 2021) para tres escalas temporales diferentes: 3, 6 y 12 meses (de arriba a abajo) para un lugar cercano a Santa Fe do Sul (20.3°S, 51°O) en el estado de São Paulo a fin de ilustrar las condiciones que se dan en las proximidades del sistema de abastecimiento de agua de Cantareira.

La serie temporal del SPI del período de acumulación a largo plazo (doce meses) explica el impacto de la falta de precipitaciones en la hidrología de la región. El intenso déficit del SPI-12 afecta prácticamente a toda la parte septentrional de la Cuenca del Plata (no se muestra). El déficit de precipitaciones a largo plazo es extremadamente grave en la mayor parte del centro y sur de Brasil, sudeste de Bolivia y norte de Paraguay, nordeste de Argentina y este de Uruguay.



2.3 Evolución de la superficie bajo diferentes categorías de sequía basada en las estimaciones de precipitación del CHIRPS

Para observar la evolución temporal de las últimas sequías en la Cuenca del Plata, también utilizamos mapas de categorías de sequía calculados a partir de las estimaciones de precipitación del CHIRPS (Climate Hazards InfraRed Precipitation with Station data) (Funk et al., 2015). Los campos del CHIRPS se derivan tanto de datos de satélites como de observaciones *in situ*; se producen cada péntada (períodos de cinco días) y están disponibles desde 1981 en una cuadrícula aproximada de 5 x 5 km. El conjunto de datos del CHIRPS ha sido validado en todo el mundo, incluidas algunas regiones brasileñas, y se ha comprobado que su rendimiento es mejor que el de otros conjuntos de datos de precipitación en el centro de Brasil (Marengo et al., 2021b).

Aquí, las estimaciones de precipitación del CHIRPS se acumulan a lo largo de períodos de seis meses que finalizan en las fechas indicadas en la esquina superior derecha de cada mapa en el Gráfico 5. Por ejemplo, el mapa de la parte superior izquierda con la indicación «2019-03-15» incluye valores del

Plata Basin Drought Categories (6-month periods)

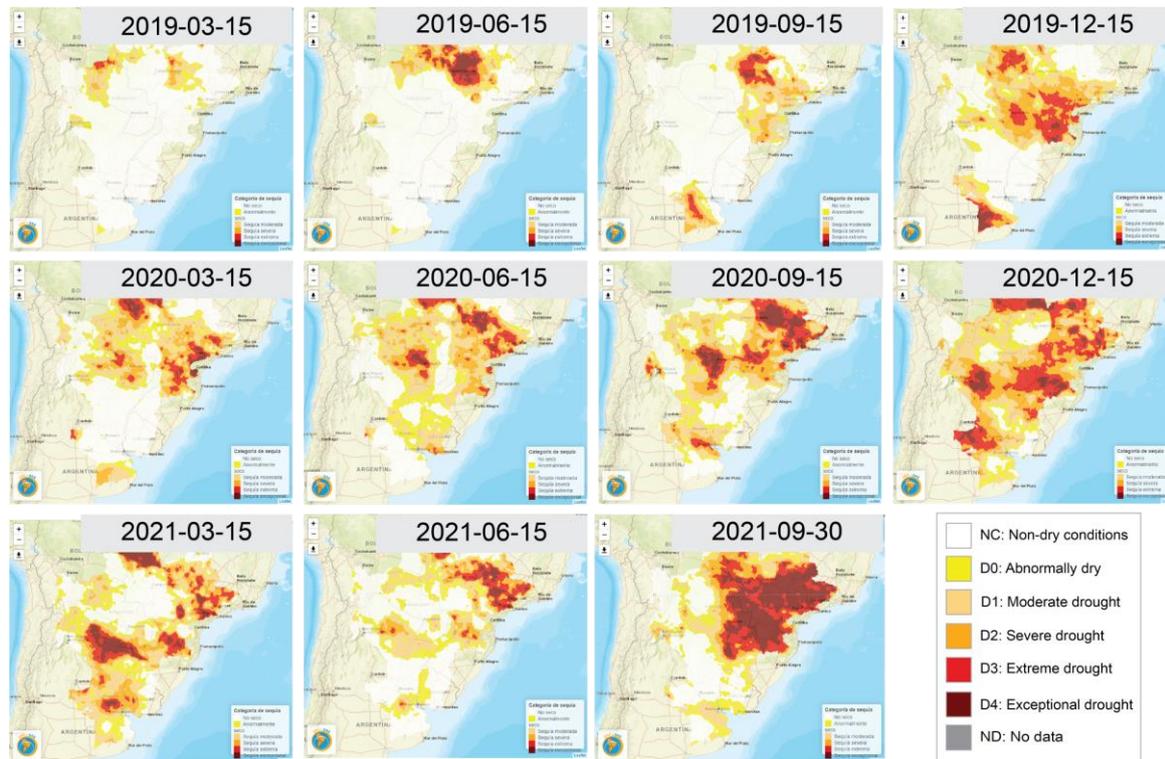
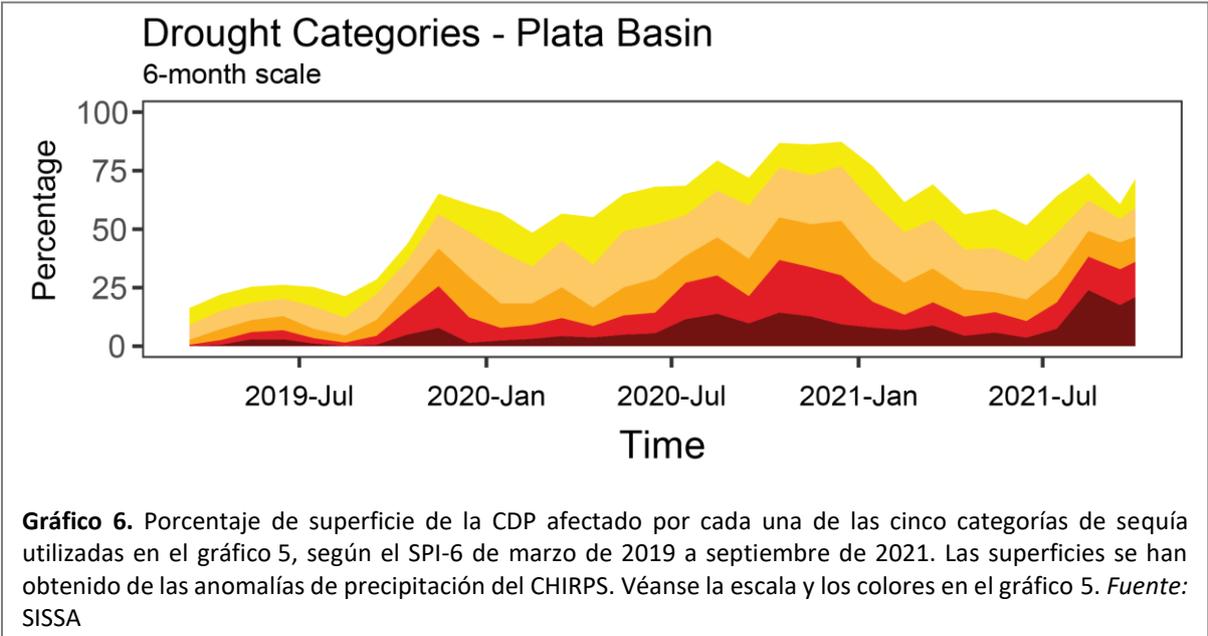


Gráfico 5. Categorías de sequía en la Cuenca del Plata derivadas de las anomalías de precipitación del CHIRPS para el SPI-6 desde el 15 de marzo de 2019 hasta el 30 de septiembre de 2021. *Fuente:* SISSA

período comprendido entre el 16 de septiembre de 2018 y el 15 de marzo de 2019. A continuación se utiliza un enfoque no paramétrico (Kooperberg and Stone, 1991) para cada celda y fecha/año de finalización para estimar los percentiles de cada serie temporal de precipitaciones. Estos percentiles se utilizan para asignar cada celda de la cuadrícula y combinación de fecha/año de finalización a una de las seis categorías de sequía que se rigen por el sistema de monitoreo de sequía de los Estados Unidos (Svoboda et al., 2002). Las sequías se dividen en varias categorías: desde «sin sequía» (valores del percentil > 30) hasta «sequía excepcional» (percentiles ≤ 2).

La evolución espaciotemporal de esta sequía, tal como indican las categorías estimadas basadas en percentiles (aproximadamente cada tres meses, excepto en el panel inferior derecho, que muestra los datos más recientes disponibles hasta el 30 de septiembre de 2021, es decir, tres meses después del mapa anterior), se refleja en el Gráfico 5. En cuanto al período de seis meses que terminó en marzo de 2019 (gráfico 5, panel superior izquierdo), en la mayor parte de la CDP no hubo sequía. En las cuencas altas de los ríos Paraguay y Paraná, en la zona centro-sur de Brasil, se inició una sequía de características severas, extremas y excepcionales en el período que finalizó a mediados de junio de 2019. A finales de 2019 (gráfico 5, panel superior derecho), la sequía estaba bastante extendida en los estados brasileños de Mato Grosso, Goiás, São Paulo y Paraná, así como en Paraguay y el centro de Argentina. En otoño de 2020, la sequía persistía (Barbosa et al., 2021) y se vio agravada por una intensa ola de calor que afectó a la mayor parte de la zona central de América del Sur entre septiembre y octubre (Marengo et al., 2021a). Esta situación continuó y alcanzó su máxima extensión a finales de 2020, cuando el norte de Argentina y la región Pampeana en el centro-este del país mostraron una sequía generalizada.

Estas condiciones críticas se aliviaron en parte en Paraguay y en la zona centro-sur de Brasil en marzo de 2021, pero las zonas al norte y al sur de esta zona *sin déficits de precipitación* siguieron sufriendo una sequía entre severa y extrema. La zona *sin sequía* se amplió a mediados de 2021, excepto en el centro-sur de Brasil. Por último, si examinamos el período de seis meses que finalizó en septiembre de 2021 (gráfico 5, panel inferior derecho), observamos que la zona afectada por sequía entre severa y excepcional ha aumentado de forma considerable abarcando el centro-sur de Brasil, Paraguay, la mayor parte de Uruguay y el norte y centro de Argentina.



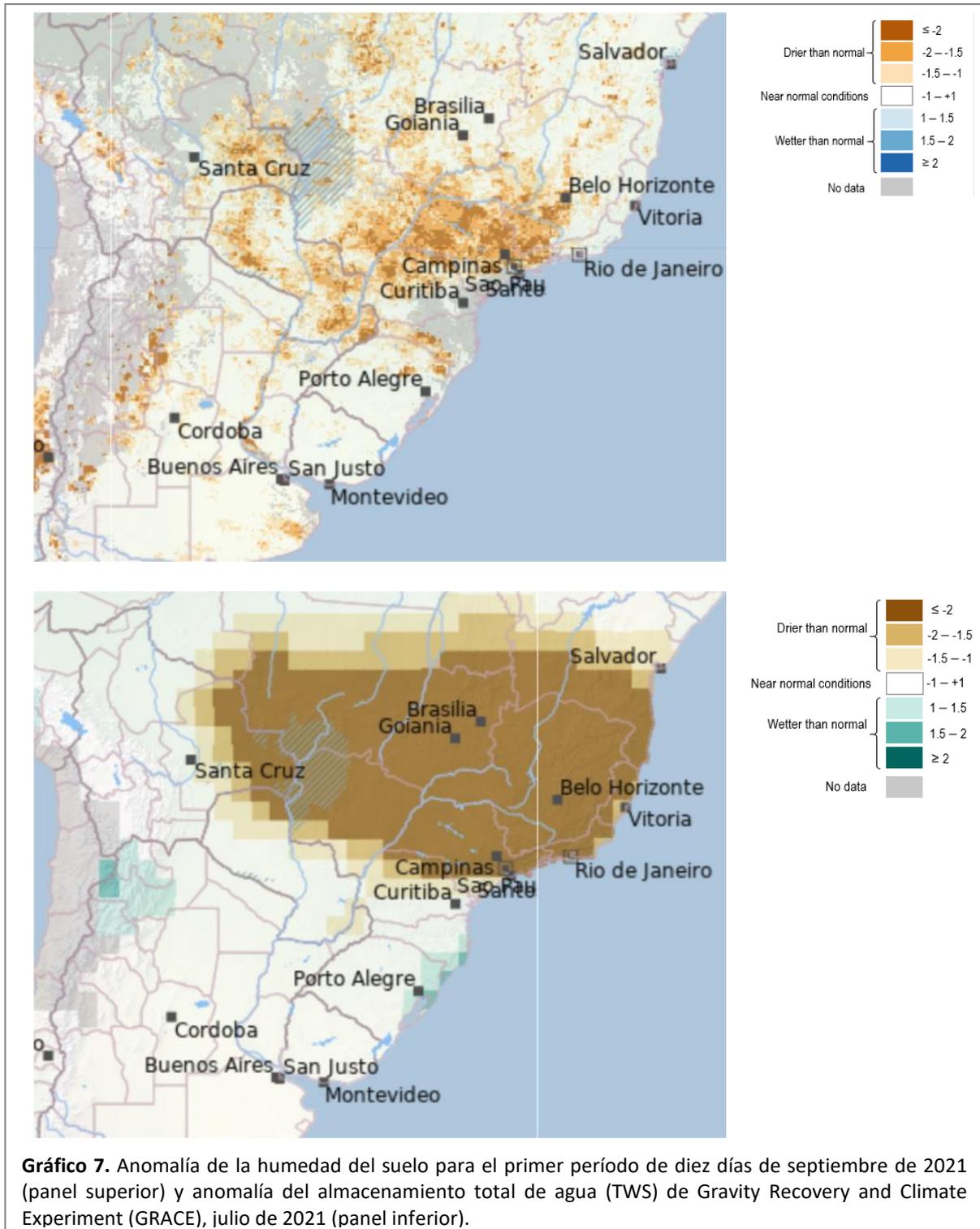
La zona afectada por la sequía y, por consiguiente, la población y los bienes expuestos se han duplicado con creces desde mediados de 2019. La serie temporal de la proporción de superficie de la CDP afectada por cada una de las cinco categorías de sequía (gráfico 5) se muestra en el Gráfico 6. Este gráfico muestra que más de la mitad de superficie de la Cuenca del Plata ha sufrido alguna categoría de sequía (entre anormalmente seca y excepcional) desde octubre de 2019 hasta septiembre de 2021. Esto significa que las condiciones de sequía pertinaz han durado alrededor de dos años. La sequía alcanzó su mayor extensión espacial en el último trimestre de 2020, cuando afectó a unas tres cuartas partes de la gran Cuenca del Plata (Gráfico 6).

2.4 Variables hidrológicas

Las precipitaciones registradas en la CDP en 2019 y en 2020 se situaron entre las mínimas históricas. La escasez de precipitaciones ha tenido importantes repercusiones en el ciclo hidrológico de la cuenca, ya que afectó, por ejemplo, a la humedad del suelo y al almacenamiento de aguas subterráneas, así como a los caudales fluviales. Con respecto a esto último, las anomalías de precipitación parecen amplificarse: es decir, la respuesta a la disminución de las precipitaciones se traduce en una reducción más que proporcional del caudal de agua superficial y subterránea.

El prolongado déficit de precipitaciones en la CDP se traduce directamente en anomalías de la humedad del suelo y del almacenamiento total de agua. El indicador de humedad del suelo del Observatorio Mundial de la Sequía (GDO) estima el contenido de agua de la zona radicular, que es una medida directa de las condiciones de sequía, en particular en lo que se refiere a la dificultad de las

plantas para extraer agua, lo que, a su vez, limita su capacidad para producir biomasa. Los efectos de la sequía que continúa padeciendo la CDP en la humedad del suelo se han mitigado de manera intermitente durante 2020 por precipitaciones esporádicas, pero que no han sido suficientes para restablecer el almacenamiento total de agua (subterránea), lo que ha provocado el aumento de una anomalía negativa clara y persistente del almacenamiento total de agua.



Las anomalías de la humedad del suelo al final de los diez primeros días de septiembre de 2021 reflejan el aumento de la sequía (Gráfico 7, panel superior) en la parte norte de la CDP (que se extiende por Paraguay y por el sur de Brasil), aproximadamente en las mismas regiones donde el SPI-6 alcanzó los

valores más bajos (Gráfico 5). Esto refuerza la hipótesis de que el principal factor desencadenante de esta sequía es, en gran medida, una leve pero persistente carencia de precipitaciones durante un período prolongado.

El indicador de anomalía del almacenamiento total de agua (TWS) (Gráfico 7, panel inferior) se utiliza para detectar la aparición de las condiciones de una sequía hidrológica a largo plazo; a menudo se utiliza como indicador de sequía de las aguas subterráneas. La anomalía del TWS se calcula en función de las anomalías del TWS estimadas a partir de los datos recogidos por la misión satelital GRACE (Landerer and Swenson, 2012). El TWS está estrechamente correlacionado con el SPI a largo plazo, es decir, 12, 24 y 48 meses (Cammalleri et al., 2019). La anomalía del TWS representa un indicador fiable de anomalías en la disponibilidad de aguas subterráneas y, por lo tanto, es una aproximación útil para las anomalías en los caudales fluviales. Las anomalías de TWS en julio de 2021 reflejan las condiciones más secas en la parte septentrional de la CDP, aproximadamente en las mismas zonas donde el SPI-6 y las anomalías de humedad del suelo alcanzaron los valores más bajos.

El índice de caudal bajo (LFI) utiliza las salidas de caudales diarios del modelo de simulación⁸ del ciclo hidrológico LISFLOOD, con el fin de registrar períodos consecutivos de caudal inusualmente bajo, y compara el consiguiente déficit hídrico de esos períodos con las condiciones climatológicas históricas, a fin de determinar la severidad de los episodios. Durante los diez primeros días de septiembre de 2021, el LFI siguió en gran medida la tendencia de la humedad del suelo y de las condiciones de las aguas subterráneas en la CDP, como cabía esperar (Gráfico 8). Hay grandes déficits en la parte oriental de la cuenca alta y cerca de la desembocadura⁹ de la CDP. Las zonas donde no es posible calcular el índice de caudal bajo de forma fiable (principalmente en la parte central de la CDP) debido a incoherencias entre los datos en tiempo casi real y los datos históricos aparecen sombreadas en gris (Cammalleri et al., 2020).



Gráfico 8. Índice de caudal bajo (LFI) para el primer período de diez días de septiembre de 2021. En el índice de caudal bajo, el valor 0 corresponde a la ausencia de sequía y el valor 1 al máximo riesgo de sequía.

Otras fuentes de información locales, sin embargo, apuntan a un gran déficit en la parte central de la CDP. Un informe del «Instituto Nacional del Agua» (INA) de Argentina¹⁰ describe las condiciones

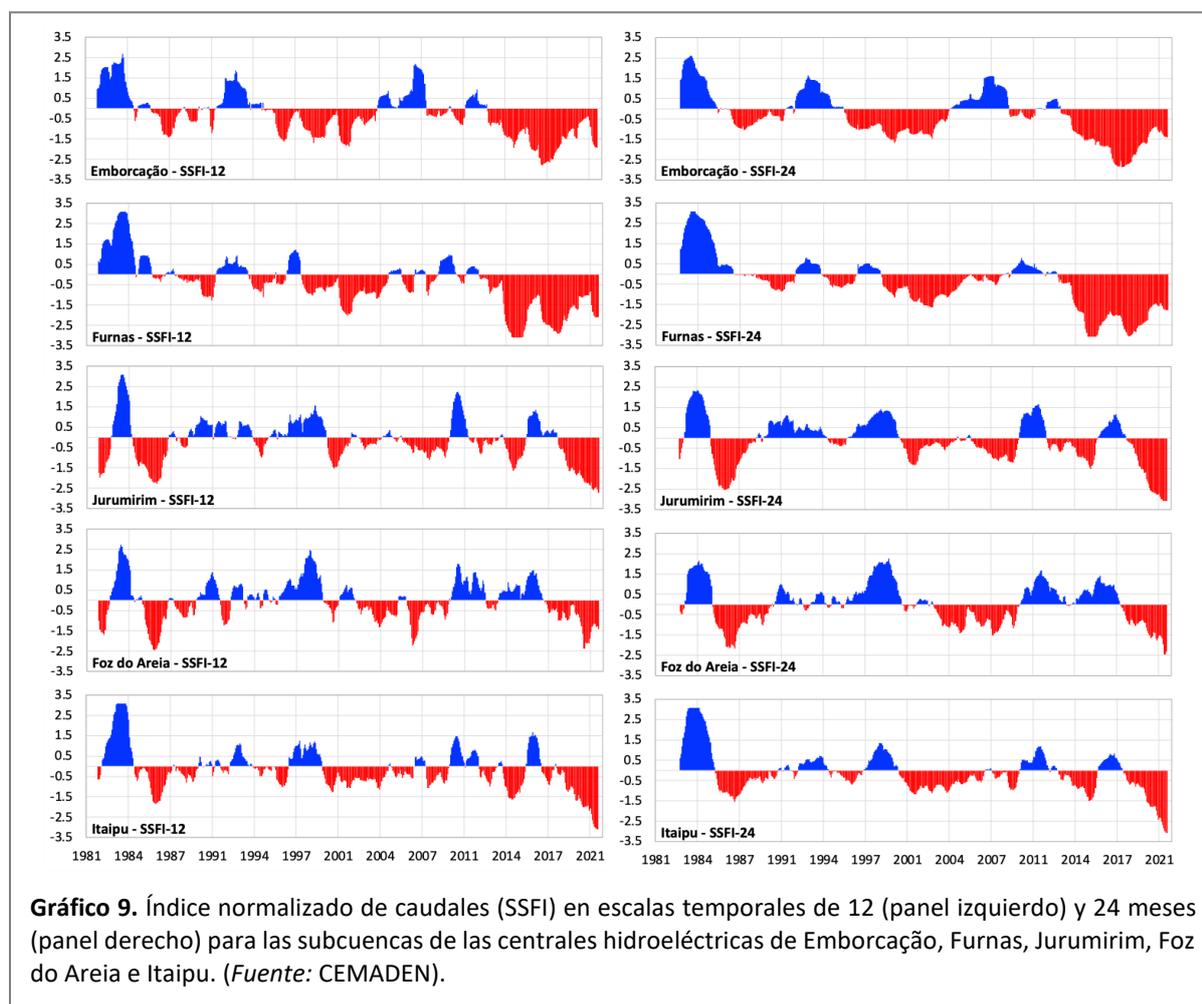
⁸ <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC78917>.

⁹ La desembocadura de un río es la parte por la que este vierte sus aguas a una masa de agua más grande, como otro río, un lago o embalse, un mar o un océano.

¹⁰ https://www.ina.gov.ar/archivos/alerta/Escenario2021_Septiembre.pdf.

durante la primera semana de septiembre de 2021. Este informe destaca que los bajos valores de caudal de los ríos Paraná y Paraguay confirman la situación de sequía que afecta a la mitad central y septentrional de la CDP. En el tramo de confluencia entre estos dos ríos, los niveles de ambos continuaron bajando gradualmente durante la primera mitad de agosto de 2021. Los caudales del Paraná en Corrientes y Rosario en agosto de 2021 fueron inferiores a la mitad del valor medio de ese mes calculado utilizando los veinticinco últimos años.

Los caudales del río Paraná se han visto afectados, con valores muy por debajo de la media. Según el índice normalizado de los caudales (SSFI) en escalas temporales de 12 y 24 meses, las centrales hidroeléctricas de Emborcação (cuenca del Paranaíba) y Furnas (cuenca del Río Grande), situadas al nordeste de la cuenca del Paraná (Gráfico 9) padecen una sequía hidrológica desde 2014, clasificada como severa ($SSFI < -1,3$) y excepcional ($SSFI < -2,0$). Desde febrero de 2019, las centrales de Jurumirim (cuenca del Paranapanema) y Foz do Areia (cuenca del Iguazú) padecen una sequía hidrológica

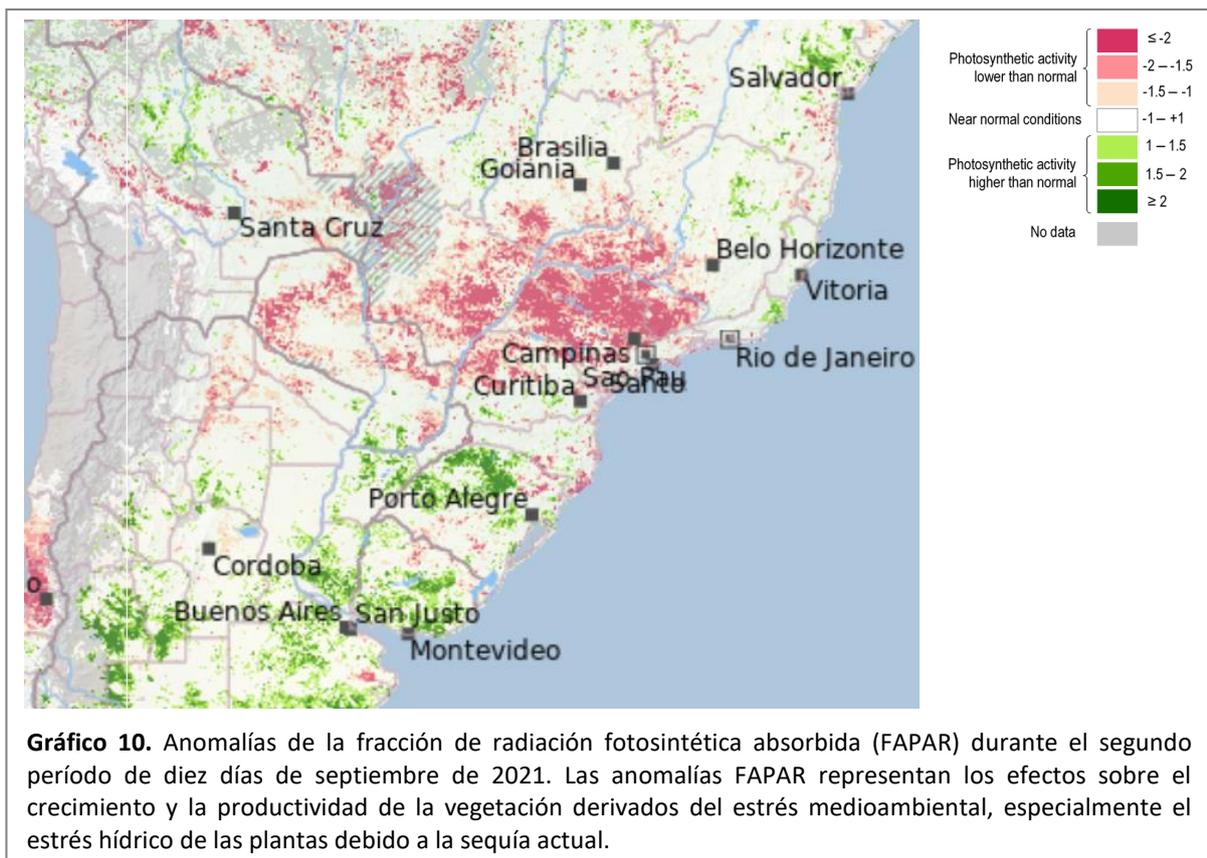


clasificada entre severa y excepcional. Actualmente, la central hidroeléctrica de Jurumirim es la que se encuentra en las condiciones más críticas ($SSFI-12 = -2,7$ y $SSFI-24 = -3,1$). La central de Itaipu padece una sequía hidrológica desde abril de 2019 y se encuentra en condiciones de sequía «excepcionales» desde diciembre de 2020 ($SSFI < -2,0$). En conjunto, la sequía hidrológica actual es la más severa desde al menos enero de 1981.

En el tramo de la desembocadura de la cuenca del Paraná, el valor extremo del índice de caudal bajo ilustra claramente la sequía severa que afecta a toda la cuenca y la magnitud del episodio¹¹. El caudal que fluye hacia el Delta del Paraná (en la desembocadura del estuario del Río de la Plata) registró una tendencia a la baja durante todo el mes de agosto de 2021. El caudal observado en este tramo fue de $7\,000\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$, muy por debajo de las condiciones anteriores a 2019. Dados los bajos niveles del Paraná, todo el delta depende en gran medida de las fluctuaciones procedentes del estuario.

2.5 Respuesta de la vegetación

La fracción de radiación fotosintéticamente activa absorbida (FAPAR, un indicador de GDO basado en información satelital) es un indicador de anomalía que se utiliza para detectar y supervisar los efectos sobre el crecimiento y la productividad de la vegetación derivados de factores de estrés medioambiental, especialmente el estrés hídrico de las plantas debido a la sequía. Este indicador representa la fracción de la energía solar absorbida por la vegetación. Las anomalías FAPAR, específicamente las desviaciones negativas de la media a largo plazo durante el mismo período, son un buen indicador de los efectos de la sequía en la vegetación. Durante los diez últimos días de septiembre de 2021 y en concordancia con los demás indicadores de sequía, se detecta un impacto significativo en la actividad fotosintética de la vegetación en el curso superior de la CDP (Gráfico 10).



¹¹ En la actualidad, este índice se elabora y se distribuye oficialmente solo para Europa (Observatorio Europeo de la Sequía <https://edo.jrc.ec.europa.eu>), pero, en principio, se basa en el mismo algoritmo y se aplicará a escala mundial.

3 Causas de la reciente sequía

3.1 Fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS)

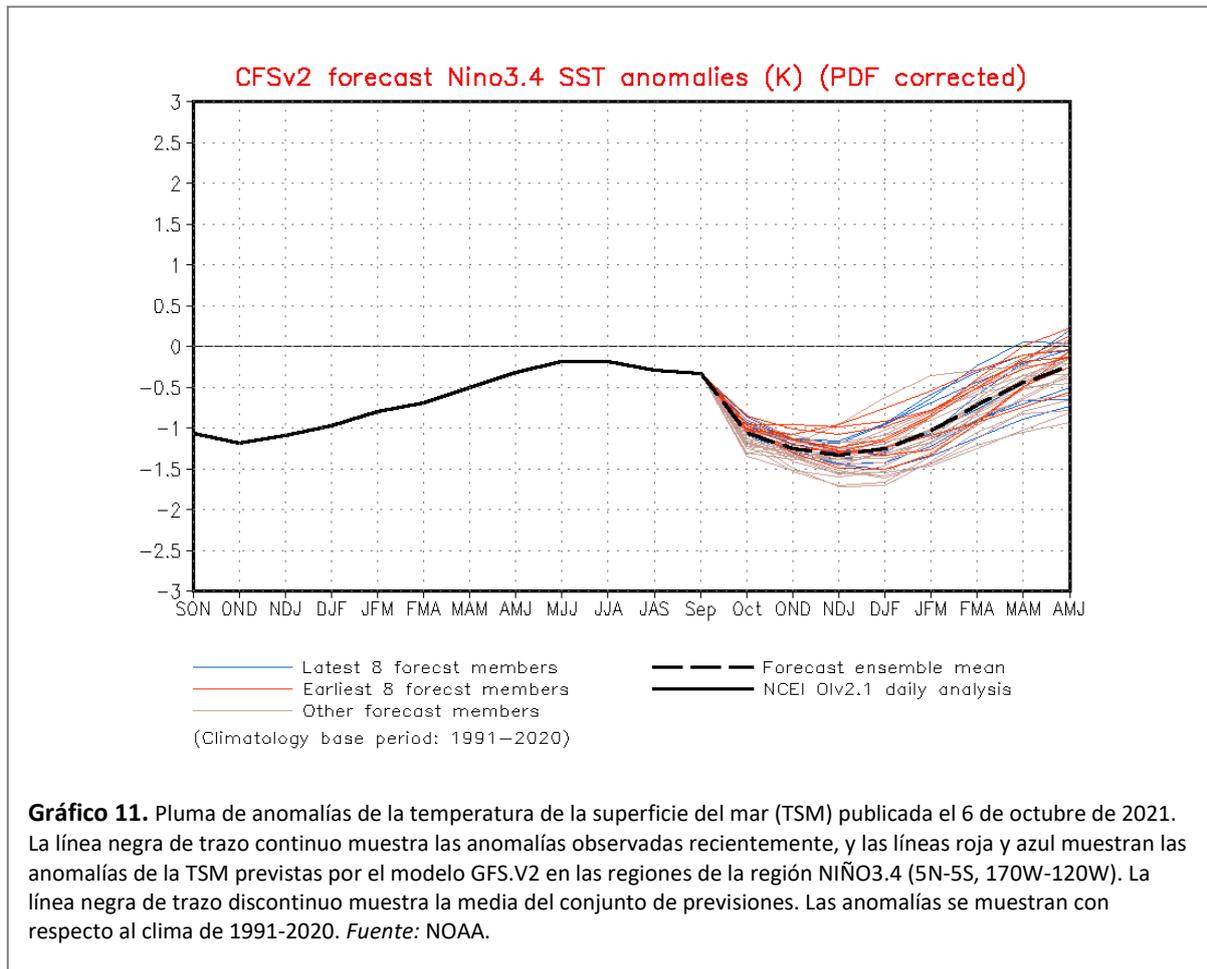
El fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) es la principal fuente de fluctuaciones climáticas interanuales en muchas partes del mundo (Cai et al., 2020; Davey et al., 2014). El clima de la mayor parte de América del Sur está estrechamente relacionado con El Niño/La Niña, las fases extremas del fenómeno ENOS, que históricamente se describe como temperaturas anómalas en la superficie del mar en el Pacífico ecuatorial (Cai *et al.*, 2020). Los cambios relacionados con el ENOS en la circulación atmosférica sobre América del Sur influyen en el transporte de humedad tropical a las regiones extratropicales. Esta modulación de la corriente de chorro de bajo nivel al este de los Andes favorece o elimina la aparición de episodios de precipitaciones extremas (Mo and Berbery, 2011). En consecuencia, existen claros vínculos entre el ENOS y las precipitaciones en la CDP en primavera y verano (período crítico para los cultivos estivales de secano). Los eventos de El Niño generalmente se asocian a una mayor precipitación media en la CDP, mientras que los de La Niña muestran una pluviosidad media marcadamente más baja y una menor dispersión de las anomalías (Cai et al., 2020; Davey et al., 2014; Prieto, 2007). El ENOS también influye en la frecuencia de los episodios de precipitaciones extremas que desencadenaron impactos socioeconómicos graves en el pasado (Grimm and Tedeschi, 2009; Prieto, 2007). Otros procesos que influyen en el clima de la CDP son: el transporte de humedad de la selva amazónica hacia el este, desde el Océano Atlántico; el desplazamiento de la zona de convergencia intertropical (ZCIT); las corrientes en chorro de capas bajas de la atmósfera en Sudamérica; la fuerza y la variabilidad del sistema de alta presión de Bolivia subtropical; la variabilidad de la circulación antártica.

En toda América del Sur, las precipitaciones y las temperaturas muestran una asociación notable, si bien de forma regionalmente diversa, con el fenómeno ENOS. En el curso alto de la CDP, la señal del ENOS en la variabilidad interanual no está tan bien definida como en la cuenca inferior, ya que esta región se encuentra en la banda de transición entre efectos opuestos del ENOS (Coelho et al., 2002). No obstante, un estudio reciente de la Cuenca del Paraná realizado por (Santos et al., 2021) constató que la mayoría de los episodios considerados de sequía extrema en la cuenca alta estaban asociados a episodios de La Niña. En la mayor parte de la CDP, La Niña suele ir acompañada de sequía, lo que provoca impactos particularmente negativos en el sur de Brasil, el nordeste de Argentina, en Paraguay y Uruguay. La estrecha asociación entre los episodios de La Niña y las condiciones secas en toda la CDP es muy preocupante, ya que las recientes observaciones y previsiones estacionales indican que las condiciones de La Niña podrían volver a darse en octubre-noviembre y durar hasta el otoño del hemisferio sur de 2022, lo que podría retrasar el retorno a las condiciones normales, en particular los caudales, en la CDP (Gráfico 11 y recuadro 2).

Debido a su extensión espacial, especialmente hacia el sur, la CDP presenta regímenes climáticos diferentes. La región de la cuenca alta, situada en latitudes tropicales en el centro de Brasil, tiene un clima monzónico con una estación marcadamente lluviosa que se prolonga de noviembre a marzo y una estación seca que se extiende de mayo a septiembre. En general, esta región ha experimentado un descenso gradual de las precipitaciones en las últimas décadas (Cunha et al., 2019). Dicha disminución ha afectado al nivel de los embalses de la región, especialmente en la última década.

Además de la señal interanual, la CDP también ha mostrado una marcada variabilidad climática decadal (Boulanger et al., 2016; Cavalcanti et al., 2015; Seager et al., 2010). Las tendencias de las precipitaciones en esta región se encuentran entre las mayores observadas en el siglo XX (Cavalcanti et al., 2015). Desde la década de 1970 se observa un aumento de las precipitaciones anuales (especialmente en primavera y verano) en la mayor parte del centro-este de Argentina (Haylock et al., 2006; Jacques-Coper and Garreaud, 2015). Sin embargo, en esta zona hay evidencia de inversiones de las tendencias en la superficie afectada por la sequía en torno a la década de 1990, pasando de

tendencias decrecientes durante el primer período a tendencias crecientes durante los últimos años (Rivera and Penalba, 2014). Es necesario un análisis exhaustivo de la variabilidad a escala decadal, que abarque múltiples regímenes pluviométricos de la CDP, (Grimm, 2011) y a lo largo de todo el año, especialmente en vista de que los servicios climáticos futuros se centrarán en predicciones climáticas plurianuales.



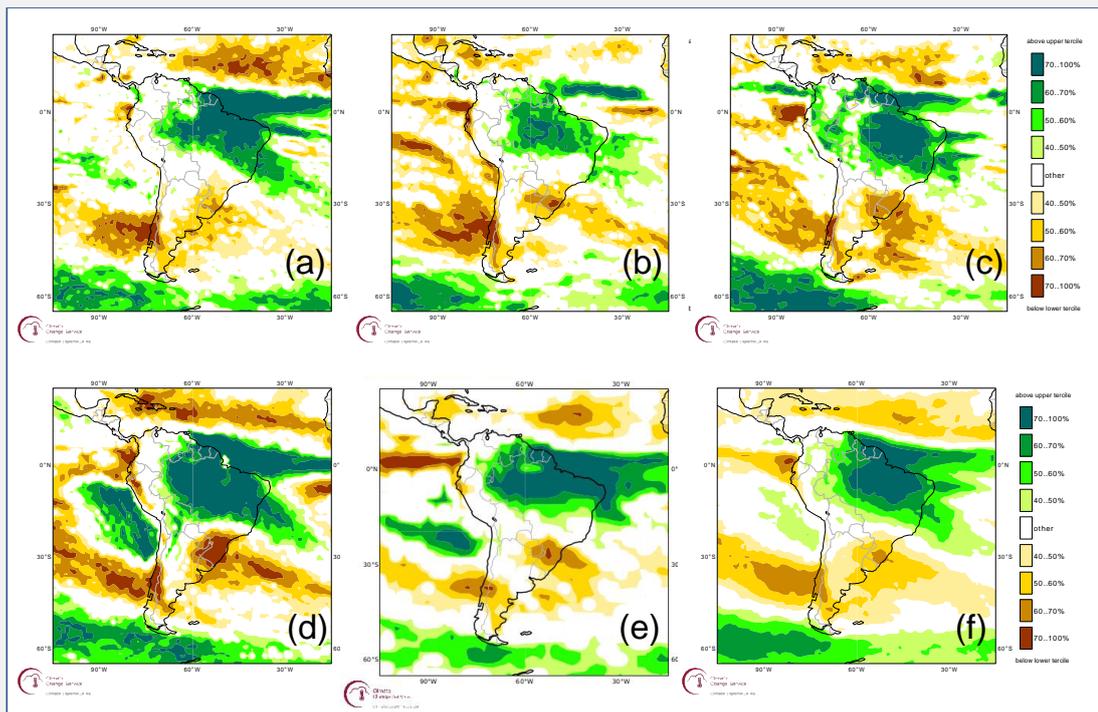
La influencia del Modo Anular del Sur (SAM) en los episodios de sequía que afectaron al río Paraná en Argentina se ha observado con los episodios severos acaecidos durante las décadas de 1940 y 1960, finales de la década de 1980 y los más recientes de 2011 y 2013 (Díaz et al., 2018). El SAM, también conocido como Oscilación Antártica (AAO), describe el movimiento de norte a sur del cinturón de vientos del oeste que rodea la Antártida, dominando las latitudes medias y altas del hemisferio sur. La influencia de La Niña se ha observado en los episodios de sequía acaecidos durante las décadas de 1950 y 1960 (severos por su larga duración), y durante los años 1988-1989, 1993-1995, 2002-2004 y 2011-2013. La influencia de las temperaturas de la superficie del mar sobre el Atlántico Sur tropical se ha observado durante los episodios de sequía ocurridos entre 1962-1971 y precedente a las sequías de 1988-1990 y 2005-2010. Desde 1950, estas sequías han sido las más largas registradas hasta la fecha (Díaz et al., 2018).

Recuadro 2. Perspectiva de precipitaciones

Durante condiciones normales, el ciclo de lluvias en la CDP empieza gradualmente, registrándose las primeras precipitaciones en la segunda mitad de septiembre. No obstante, la transición a la temporada lluviosa se produce a mediados de octubre. En la actualidad, es difícil pronosticar el inicio y la intensidad de la temporada de lluvias. El comportamiento de la convección en el noroeste de América del Sur no presenta una señal clara y no es posible predecir con una alta certeza el inicio de la precipitación estacional al margen de la información climatológica. No obstante, cabe señalar que no existe una clara relación entre la fecha de inicio de la temporada de lluvias y la pluviosidad total registrada durante los meses más húmedos.

En la actualidad, la mayoría de las previsiones de precipitación estacionales de los conjuntos de modelos globales y la perspectiva de consenso regional del CRC-SAS de la OMM indican un escenario de precipitaciones deficitarias en el curso medio y bajo de la CDP (véase el gráfico siguiente).

En resumen, en las cabeceras de la cuenca del río Paraná, en condiciones normales, las precipitaciones más abundantes solo deberían producirse después de mediados de octubre. Sin embargo, debido a la escasa humedad que queda en el suelo tras la temporada seca y a que la pluviosidad durante la estación lluviosa es inferior a la media en los últimos años, las precipitaciones tardarán un tiempo en contribuir de forma significativa a la normalización de los caudales y al almacenamiento de los embalses. Además, la probabilidad de que se desarrolle un episodio de La Niña en los últimos meses de 2021 puede afectar a las precipitaciones en el curso medio y bajo de la CDP. En consecuencia, el escenario más probable para los próximos tres meses es que persista la situación de sequía, tanto desde el punto de vista pluviométrico como desde el punto de vista hidrológico.



Previsiones climáticas relativas a las precipitaciones de octubre a diciembre de 2021 en Sudamérica procedentes de diversas fuentes. a) ECMWF, b) NCEP, c) Met Office, d) DWD, e) JMA y f) predicción estacional multi-sistema de C3S. En todos los paneles, las zonas de color marrón/amarillo (verde) corresponden a precipitaciones por debajo (por encima) de lo normal. Las probabilidades se calculan comparando la función de densidad de probabilidad (pdf) pronosticada con la correspondiente pdf de los modelos climáticos estimada a partir de la información retrospectiva. Las probabilidades se estratifican de acuerdo con: la mediana, el tercio inferior / superior / medio, y el 20 % más bajo / más alto de la distribución climática del modelo. A modo de resumen de las previsiones estacionales, se presenta un gráfico sinóptico para las categorías de terciles, que muestra en un solo gráfico las superficies que tienen una probabilidad mayor (superior al 40 %) de estar por debajo del tercil inferior o por encima del tercil superior.

Fuentes: C3S, https://climate.copernicus.eu/charts/c3s_seasonal/ y CRC-SAS https://www.crc-sas.org/en/perspectivas_climaticas.php.

3.2 Cambio en el uso del suelo y deforestación

Estudios previos sobre la relación precipitación - escorrentía realizados en la CDP determinaron que el clima tiene un efecto más dominante en el caudal fluvial que el uso del suelo (Collischonn et al., 2001; Tucci, 2003). A escala de las sub-cuencas, el clima es el principal responsable de las variaciones de los caudales, pero también el uso del suelo tiene efectos en la respuesta hidrológica de las cuencas (Saurral et al., 2008). Los estudios realizados en la cuenca alta del río Grande, en el estado de Minas Gerais, Brasil, mostraron que la conversión de bosques en pastizales condujo a un incremento de la escorrentía total y del caudal máximo y una disminución del caudal de base y de la evapotranspiración (Oliveira et al., 2018).

Sin embargo, los efectos negativos del uso del suelo sobre los caudales son bien conocidos a escala mundial, ya que aumentan los caudales máximos y una disminuyen de los caudales permanentes. El papel de la cubierta vegetal, las llanuras aluviales y los humedales es almacenar y retrasar la escorrentía, un efecto que, hasta cierto punto, contrarresta las consecuencias de las sequías. Por lo tanto, los impactos de la sequía actual se ven agravados por cambios en el uso del suelo como la deforestación y la agricultura intensiva, que con toda probabilidad se están produciendo en la CDP.

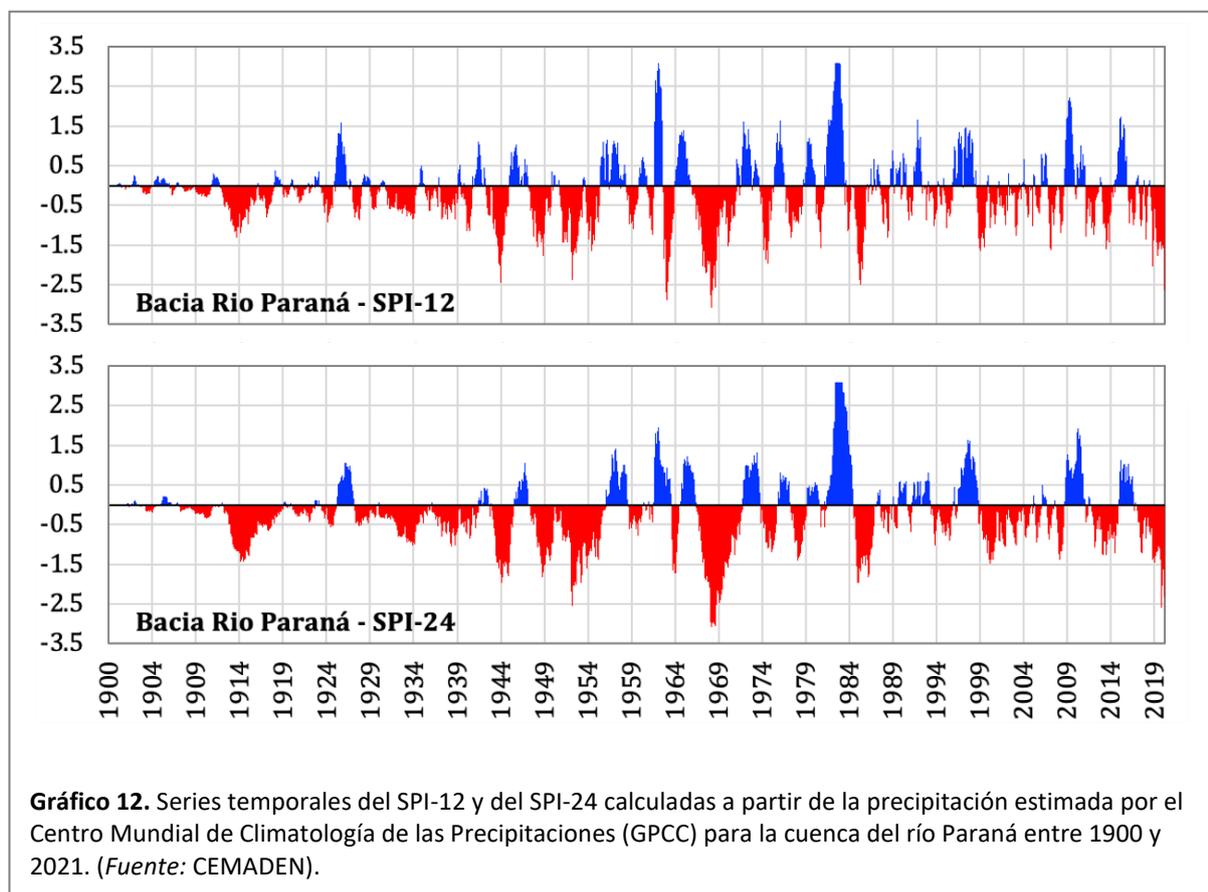
Estos cambios en el uso del suelo han caracterizado a las tres subcuencas principales de la CDP (Paraguay, Paraná y Uruguay) en las últimas décadas. La expansión agrícola a partir de 1960, especialmente en Brasil, ha dejado algunas zonas con solo el 5 % de su cubierta forestal original (FAO, 2016). En el estado brasileño de São Paulo, la superficie de bosque primario se había reducido del 58 % al 8 % a finales del siglo XX. Del mismo modo, la superficie forestal del este de Paraguay se redujo del 55 % en 1945 a tan solo el 15 % en 1990 (FAO, 2016).

Los efectos de las represas en el sistema fluvial también son visibles en la CDP. En la cuenca alta del río Paraguay, el número de represas aguas arriba del Pantanal se ha elevado a más del doble en los últimos veinte años, lo que ha afectado significativamente a la frecuencia y duración de los pulsos altos y bajos (Ely et al., 2020). A mayor escala, los datos obtenidos antes y después de la construcción de la represa de Porto Primavera en el curso alto del río Paraná mostraron cambios en la descarga de agua, la erosión de las riberas, el pulso de inundación y otras variables (Stevaux et al., 2009).

4 Episodios históricos de sequía en la CDP

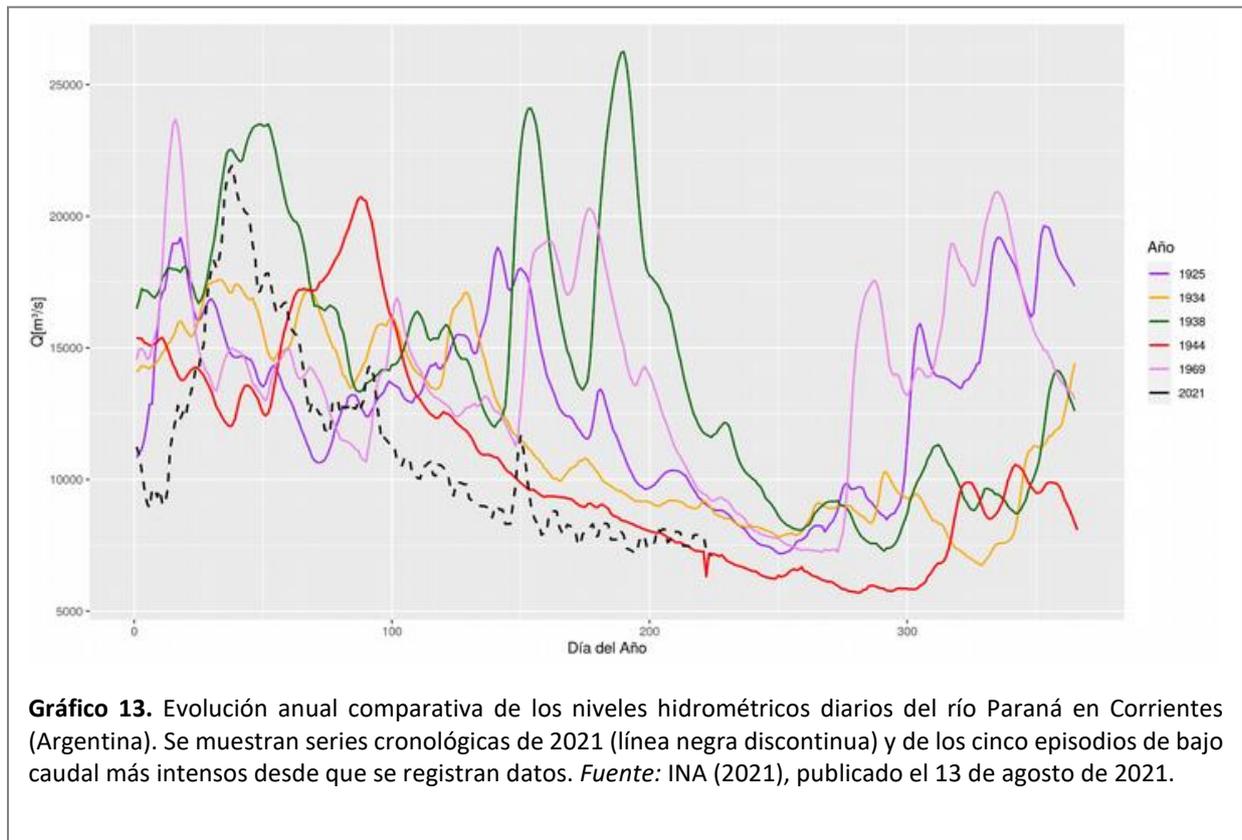
Desde la década de 1960, siete sequías (1977, 1984, 1990, 1992, 2001, 2012 y 2014) han reducido el suministro de agua para los embalses del estado de São Paulo en Brasil (Coelho et al., 2016). En algunas partes de la CDP, como la cuenca alta del Paraná, se han registrado sequías hidrológicas entre severas y excepcionales desde 2014. No obstante, esta situación ha empeorado en los dos últimos años.

Como muestra el índice de precipitación estandarizado (SPI) a escala de 12 y 24 meses (Gráfico 12), las precipitaciones en la cuenca del Paraná han sido inferiores a la media en los últimos años. Las series temporales del SPI muestran varios ciclos secos y lluviosos desde principios de la década de 1900, con la sequía más severa registrada entre diciembre de 1968 y septiembre de 1971, que alcanzó su máximo déficit en marzo de 1969. Sin embargo, es importante señalar que, en ese momento, la demanda de agua en el conjunto de la cuenca del Paraná era muy inferior a la actual. Según el SPI-24 de los últimos veintidós años, han predominado condiciones por debajo del promedio, con breves excepciones en 2010 y 2015. Desde finales de 2019, las condiciones de sequía se han intensificado, fluctuando entre severas ($SPI < -1,3$) y excepcionales ($SPI < -2,0$).



El análisis del SPI a largo plazo refleja un grave empeoramiento de las condiciones de sequía en los dos o tres últimos años, lo que confirma que este episodio se ha ido acrecentando lentamente por lo menos desde 2019 y su larga duración es la principal razón de su severidad (Cunha et al., 2019; Leal Filho et al., 2021; Libonati et al., 2020).

El Gráfico 13 muestra el nivel hidrométrico del río Paraná en Corrientes para algunos años del siglo XX, aguas arriba de la importante complejo de procesamiento y embarque de grano del Gran Rosario. En el gráfico 13 se observa la evolución temporal del nivel hidrométrico diario del Paraná hasta agosto de 2021 (línea negra discontinua) y para los cinco años con los niveles históricos más bajos (líneas continuas). La severidad del episodio actual de estiaje es evidente y su evolución es comparable a la experimentada durante los dos episodios de estiajes más graves ocurridos desde que se registran datos, es decir, en 1934 y en 1944. Además, los patrones anteriores muestran que los niveles mínimos en Corrientes se han producido históricamente entre septiembre y noviembre, por lo que quedan algunas semanas desde el momento de redactar el presente documento (principios de octubre de 2021) hasta que los niveles del Paraná puedan empezar a recuperarse.



Una sequía fue identificada en la parte sur de la CDP por Abelen et al., (2015) y Lovino et al., (2018) durante el intenso evento de La Niña de 2008/2009. Esta sequía se ha considerado como la peor del siglo pasado en Argentina, ya que afectó a la región agrícola más productiva provocando una fuerte reducción de la producción de cereales y carne. Según el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), la sequía de 2008/2009 provocó una importante caída en la producción de trigo, pasando de 16 millones de toneladas en la cosecha anterior a unos 8 millones tras el evento.

En 1999/2000 se produjo un episodio de La Niña de mucha mayor intensidad, que se asoció a una grave sequía en la CDP. Sin embargo, parece que este episodio (al menos en el curso bajo de la CDP) fue de menor magnitud que la sequía actual, según indican los datos de precipitaciones. Esto apunta a que hubo otros factores (además de La Niña) que desempeñaron un papel importante (Chen et al., 2010). La sequía severa de 2011-2012 causó pérdidas económicas valoradas en 2 500 millones USD en la producción de soja y maíz de Argentina (Naumann et al., 2019).

Entre finales de 2017 y principios de 2018, se produjo otra grave sequía en las pampas del centro-este de Argentina, la parte meridional de la CDP. Esta sequía se vinculó a un episodio débil de La Niña, así

como a otros modos intraestacionales de variabilidad atmosférica (Bert et al., 2021). Varias localidades en la región pampeana registraron mínimos históricos de precipitación durante este episodio. La falta de precipitaciones se vio agravada por las altas temperaturas asociadas a las olas de calor de principios de 2018. Esta sequía tuvo un gran impacto en la producción de cultivos estivales como el maíz y la soja. Cuando las pérdidas de las cosechas (alrededor de 1 550 millones USD) se propagaron por toda la economía argentina, su impacto global fue tres veces mayor (alrededor de 4 600 millones USD). Según estimaciones conservadoras, el PNB argentino disminuyó al menos un 0,8 % debido a esta sequía (Bert et al., 2021).

Para comparar la sequía actual con episodios anteriores ocurridos en la misma región, se examinaron series históricas de dos conocidos indicadores de sequía, en concreto el SPI y el SPEI (que también utiliza indirectamente la temperatura y, por tanto, incluye los efectos del calentamiento). Ambos indicadores se calcularon a intervalos de acumulación de 3 y 12 meses. Utilizamos el mismo procedimiento descrito en Spinoni et al., (2019), que dio lugar a la creación de la base de datos global sobre episodios de sequía meteorológica alojados por el Observatorio Mundial de Sequías de la Comisión Europea¹². Esta base de datos se actualizó a lo largo de 2016 y clasifica los episodios de sequía que pueden considerarse finalizados desde el punto de vista meteorológico. Hemos realizado nuevos análisis que amplían la base de datos a 2021 y adaptado el sistema de clasificación para que incluya episodios que aún no han concluido. En cuanto a la ampliación del procedimiento, utilizamos los datos del GPCC y de ERA5¹³.

La cuenca del Paraná abarca más de un país pero, de acuerdo con las nuevas macrorregiones incluidas oficialmente en el último informe del IPCC-AR6 (IPCC, 2021; Iturbide et al., 2020), hemos seleccionado el Sudeste de Sudamérica como objetivo de nuestros análisis retrospectivos. Como ya se ha mencionado, cuando se consideran los indicadores de precipitaciones (SPI) y temperatura (SPEI) destaca un episodio de sequía histórico, en concreto el que comenzó a finales de la década de 1960 (1967 o 1968) y duró hasta 1971 (o 1972 en algunas zonas). Este fue el único evento en esta región que puede clasificarse como «excepcional» desde 1950 hasta 2016. Refinando la puntuación de clasificación —que ahora va de 1 a 100, en lugar de 1 a 25 como en la versión publicada de la base de datos histórica—, el episodio de 1967-1972 recibe un valor de 60, por lo que puede considerarse uno de los veinte episodios más severos ocurridos en todo el mundo desde 1950.

La actual sequía de 2019-2021 en la CDP aún no ha alcanzado el estatus de excepcional (puntuación superior a 58), pero está muy cerca (puntuación: 55) y puede clasificarse ya entre los cinco peores episodios registrados en el Sudeste de Sudamérica desde la década de 1950. La mayoría de los parámetros incluidos en la clasificación (severidad, intensidad y pico) sitúan la sequía actual por detrás del episodio de 1968-1971 debido a su menor duración. No obstante, es probable que este episodio pase de «muy severo» a «excepcional» si las precipitaciones se mantienen por debajo de los valores normales durante otros tres a seis meses y si la temperatura se eleva por encima de la normal durante ese período.

En Paraguay destacan tres episodios históricos de sequía meteorológica: el de 1968-1971 y posteriormente uno en 1978-1979 y otro en 2008-2010. Este último alcanzó su punto máximo en 2009, cuando una sequía extrema afectó también a Argentina y al sur de Brasil. Si se considera el episodio de sequía actual, la puntuación por país para Paraguay se sitúa en torno a 50 (muy severo), en la misma franja del episodio de 2009 (puntuación: 49) y por detrás del de 1968-1971 (puntuación: 53). Por otra parte, también se han registrado puntuaciones elevadas en Uruguay, lo que confirma que el episodio en la cuenca del Paraná ya puede considerarse uno de los más severos de los setenta últimos años también a escala de país.

12 <https://edo.jrc.ec.europa.eu/gdo/php/index.php?id=2020>.

13 <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/dataset/ecmwf-reanalysis-v5>.

5 Impactos reportados de la sequía en curso

Las sequías prolongadas pueden afectar a grandes superficies y poblaciones y tener impactos muy diversos en la sociedad, las actividades económicas y el medio ambiente. Estos impactos pueden ser directos e indirectos y a menudo son difíciles de cuantificar en términos económicos. La sequía actual en la CDP ya ha tenido impactos considerables en la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas naturales y ha puesto en peligro el bienestar de sectores importantes de la sociedad. En esta sección se presenta una recopilación de los impactos reportados y atribuidos a este episodio hasta la fecha. La mayoría de los informes proceden de medios de comunicación reconocidos, informes gubernamentales y publicaciones científicas. Dado que el episodio aún sigue en curso en el momento de redactar el presente documento, solo será posible llevar a cabo la estimación de los daños totales y la caracterización de todos los sectores afectados una vez que el evento haya finalizado.

5.1 Declaración de emergencia por sequía

Argentina¹⁴, Brasil¹⁵ y Paraguay¹⁶ han declarado formalmente la emergencia por sequía en 2021. El 24 de julio de 2021, el Gobierno de Argentina declaró el estado de emergencia hídrica por un período de 180 días con efecto en siete provincias ribereñas de los ríos Paraná, Paraguay e Iguazú. El 8 de julio de 2021, el Gobierno de Paraguay declaró el estado de emergencia para la navegación en los ríos Paraná, Paraguay y Apa.

5.2 Ecosistemas - humedales

A medida que la disponibilidad de agua en los humedales se reduce durante las sequías, los corredores húmedos que conectan tramos de aguas abiertas disminuyen su superficie y se secan, lo que da lugar a la pérdida de hábitats, de estructura del suelo y a la erosión, la oxidación orgánica del suelo y la liberación de carbono a la atmósfera (Dollar et al., 2013). La extensión de los ecosistemas de humedales en la CDP es considerable, cubriendo un área continua que se extiende sin interrupción desde el Pantanal en el norte hasta el estuario del río de La Plata en el sur.

Las amplias regiones de la cuenca del Gran Chaco, el Pantanal y el Paraná (norte de Argentina, Bolivia, Paraguay y Mato Grosso do Sul en Brasil) han sufrido intensas sequías desde el verano austral de 2018 (Marengo et al., 2021b), con amplias repercusiones en los ecosistemas naturales, la agricultura, el transporte y la generación de energía. Desde 2019, el Pantanal sufre una sequía prolongada que ha supuesto un desastre para la región con cientos de miles de hectáreas afectadas por incendios (Marengo et al., 2021b). En diciembre de 2020, la sequía extrema en los estados brasileños de Mato Grosso y Mato Grosso do Sul había afectado a 4,17 millones de personas (el 76 % de la población de ambos estados). Un total de 218 municipios de esta zona (casi el 100 %) se vieron afectados por la sequía.

Más al norte, la sequía también ha afectado al Parque Nacional del Pantanal Matogrossense (Mato Grosso y Mato Grosso do Sul, 135 000 ha de extensión), que forma parte del mayor humedal de agua

14 <https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/247302/20210726>.

15 <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/monitoramento-e-eventos-criticos/eventos-criticos/salas-deacompanhamento/Paraná/ResolucaoANA771junho2021.pdf>.

16 <https://www.bacn.gov.py/archivos/9613/LEY%206767.pdf>.

dulce permanente del hemisferio occidental. Está situado en una gran depresión que funciona como un delta interior y es probablemente el humedal más importante de América del Sur.

En Argentina, las organizaciones ecologistas han advertido de cambios significativos en los ecosistemas asociados a las riberas del río Paraná, que carecen ya de vegetación acuática o de marisma en algunos lugares. Las imágenes satelitales muestran bancos de arena expuestos y humedales desecados en Rosario (Gráfico 14). En mayo de 2021, las autoridades argentinas anunciaron medidas para salvaguardar la biodiversidad del río y proteger las especies de peces y la fauna¹⁷. En la ciudad de Paraná, capital de la provincia de Entre Ríos, el presidente de la Escuela de Canotaje de Paraná ha destacado el impacto visual en el paisaje: la típica postal de barrancos verdes donde la gente disfruta y hace deporte con vistas al río Paraná muestra ahora una zona arenosa que permite cruzar el río a pie¹⁸. Se han notificado importantes hundimientos en las islas cercanas al puente que conecta Rosario y Victoria. En diferentes localidades de Entre Ríos, ha habido barcos varados en el barro seco, numerosos bancos de arena han quedado al descubierto y grandes peces han quedado atrapados en ellos. Además, los municipios han tenido que trabajar intensamente para garantizar el suministro de agua potable. Los instrumentos existentes no fueron capaces de medir con precisión esta situación extrema: la Guardia Costera argentina no pudo medir los niveles del Paraná en Victoria y Diamante entre abril y junio de 2020, ya que sus instrumentos no podían registrar alturas fluviales por debajo de un metro¹⁹.

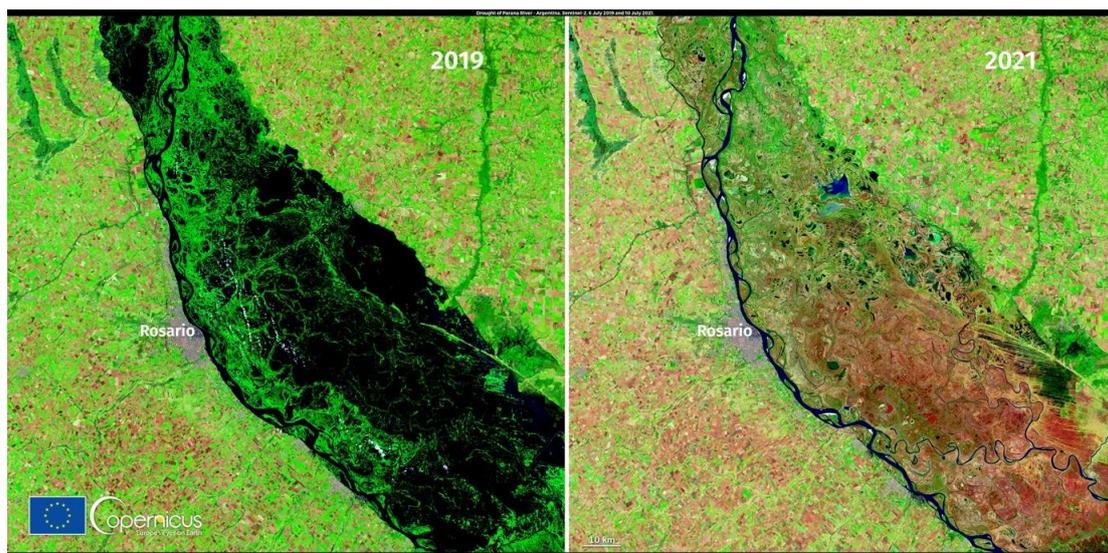


Gráfico 14. Par de imágenes obtenidas por uno de los satélites Sentinel-2 de Copernicus el 6 de julio de 2019 (izquierda) y el 10 de julio de 2021 (derecha). Las imágenes ofrecen pruebas claras de la sequía que afecta al río Paraná en Argentina, cerca del puerto de Rosario. En la imagen derecha se aprecian bancos de arena expuestos y humedales desecados. Créditos: Unión Europea, imágenes del Sentinel-2 de Copernicus.

Los bajos niveles del Paraná también han afectado a los medios de subsistencia de las comunidades pesqueras artesanales que operan a lo largo del río en las provincias argentinas de Santa Fe y Entre Ríos. Alrededor de 4 100 hogares dependen de especies de peces de agua dulce como el sábalo, el bagre, la boga y el dorado para el autoconsumo, los mercados de proximidad o incluso la

17 <https://www.cronica.com.ar/sociedad/Preocupa-la-situacion-del-Parana-el-rio-continua-bajando-en-Entre-Rios-y-se-acerca-a-niveles-historicos-20210804-0099.html>.

18 <https://www.pagina12.com.ar/364519-bajo-el-rio-y-dejo-las-heridas-expuestas>.

19 <https://www.telam.com.ar/notas/202106/557869-bajante-del-parana-ciudades-enterrerianas.html>.

exportación. Los contingentes de exportación de pescado de agua dulce se redujeron a un tercio de las 18 000 toneladas autorizadas en 2019²⁰. Pocos puestos de venta de pescado permanecen abiertos en el distrito de Bajada Grande. En consecuencia, el impacto económico para las familias de pescadores en canoa ha sido muy elevado. Como las lagunas en las que se reproducen los peces se han desecado, el Gobierno provincial decretó la prohibición de la pesca durante los fines de semana para proteger las casi doscientas especies del río^{21,22,23}. Por otra parte, la pesca en Santa Fe se limitó a tres días a la semana para proteger las pesquerías. Además de la menor disponibilidad de pescado, la poca profundidad de las aguas de los pequeños arroyos y las lagunas hacen que las redes se enreden y se pierdan artes de pesca²⁴.

5.3 Incendios

Debido a la gran cantidad de biomasa seca en el suelo y al uso de la quema como práctica asociada a las actividades humanas, se han acrecentado los incendios a lo largo del extenso corredor de humedales del río Paraná. Los incendios han tenido un fuerte impacto en determinadas zonas de la Cuenca del Paraná, especialmente en sus dos extremos: el Pantanal (**Gráfico 15**) y el Delta del Paraná.



20 <https://www.chacodiapordia.com/2021/08/23/bajante-del-parana-barcos-sin-granos-y-pescadores-sin-peces-mientras-esperan-niveles-mas-bajos/>.

21 <https://ar.radiocut.fm/audiocut/parana-seco-drama-familias-pescador-s-del-litoral-roxana-russo/>.

22 <https://www.pagina12.com.ar/364519-bajo-el-rio-y-dejo-las-heridas-expuestas>.

23 <https://elmercurio.com.mx/internacional/rio-parana-el-segundo-de-america-registra-su-peor-baja-desde-1940>.

24 <https://intainforma.inta.gob.ar/bajante-del-parana-como-afecta-a-la-pesca-artesanal/>

En el Pantanal, el «Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais» (INPE, Centro de Investigación Espacial de Brasil) informó de que el número total de incendios aumentó un 233 % en 2020 en comparación con el año anterior. Todavía no es posible hacer una estimación del número de animales muertos a causa de los incendios, pero se sabe que la pérdida de fauna silvestre ha sido significativa (Libonati *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2020). Las brigadas de bomberos han informado de la muerte de tuyuyús, armadillos, anacondas y osos hormigueros, muchos de ellos calcinados. Además, se han registrado casos de animales que circulan por autopistas intentando escapar del fuego, como coatíes, osos hormigueros, caimanes y serpientes. Couto Garcia *et al.*, (2021) mostraron que las zonas incendiadas en el Pantanal brasileño aumentaron un 376 % en 2020 en comparación con la media de 2003-2019; el 43 % de la superficie afectada en 2020 no se había quemado anteriormente en 2003-2019. A principios de octubre de 2021, el riesgo de incendio sigue siendo entre moderado y alto en la mayoría del curso alto de la CDP (Gráfico 16), incluida la zona del Pantanal en la cuenca alta del Paraguay.

A lo largo de 2020, Paraguay sufrió al mismo tiempo los efectos de la mayor sequía de los últimos años, de los incendios forestales masivos y de la pandemia de COVID-19. En conjunto, estos acontecimientos provocaron que siete años consecutivos de crecimiento económico de este país llegasen a su fin. Las poblaciones indígenas de Paraguay (la mitad de las cuales se concentran en el noreste del país, en los departamentos de Alto Paraguay, Boquerón y Canindeyú) se vieron afectadas de forma desproporcionada por la sequía y los incendios forestales²⁵.

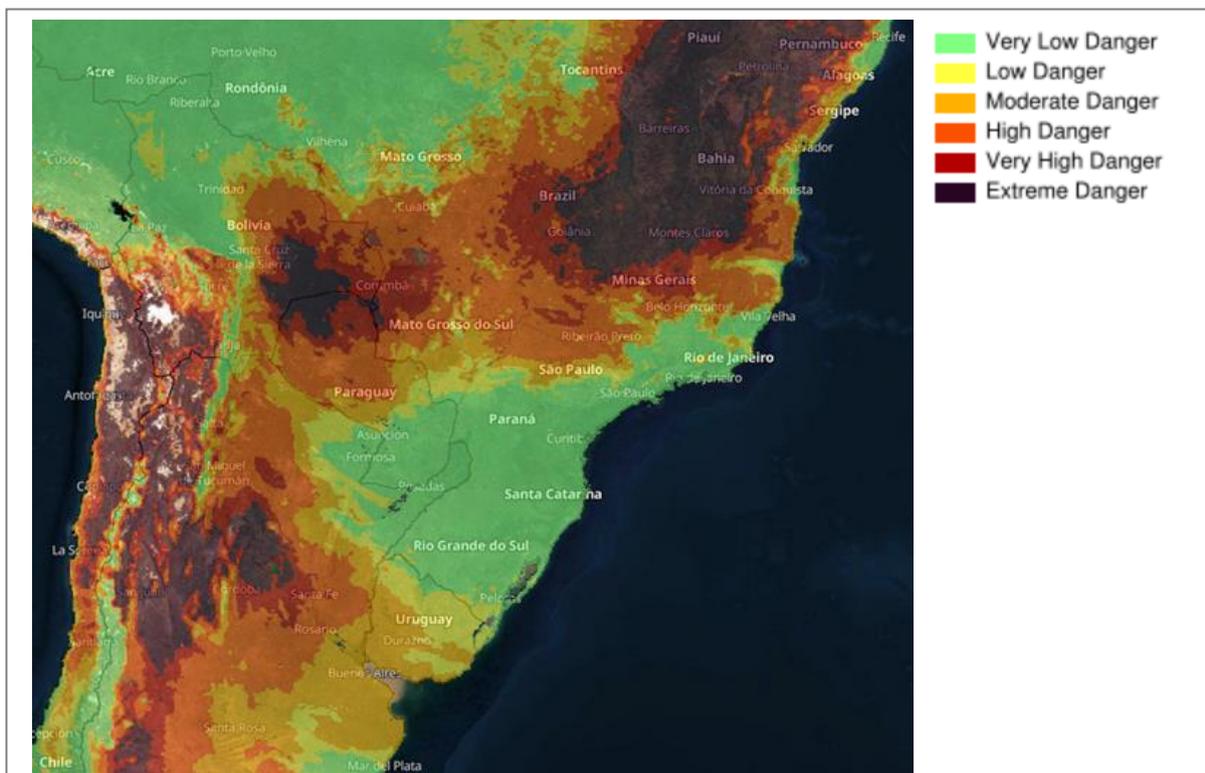


Gráfico 16. Índice meteorológico de previsión del riesgo de incendio forestal (Fire Weather Index) para el 6 de octubre de 2021, publicado el mismo día. Sistema Mundial de Información sobre Incendios, GWIS. Fuente: Sistema mundial de información sobre incendios del JRC. https://gwis.jrc.ec.europa.eu/apps/gwis_current_situation/.

En Argentina, en el período comprendido entre enero y mayo de 2021, se detectaron 273 focos de incendio por el sensor MODIS y 1 118 focos por el sensor VIIRS (Suomi-NPP). El mes con mayor número

²⁵ <https://reliefweb.int/updates?search=sequia%20Paraguay>.

de focos fue enero, con un total de 101 focos detectados por MODIS y 444 por VIIRS. El número de puntos críticos notificado en mayo fue similar, con la detección de 109 y 376 focos por los respectivos sensores. En febrero se detectaron 35 focos por MODIS y 192 por VIIRS. En los meses de marzo (16 focos por MODIS y 81 por VIIRS) y abril (12 por MODIS y 25 por VIIRS) se registró un número menor de incendios. Según el Museo Regional de Ciencias Naturales de San Nicolás de los Arroyos, en la provincia de Buenos Aires (Argentina), desde 2020 hasta agosto de 2021 se han quemado más de 700 000 hectáreas de humedales en el Delta del Paraná, que representan alrededor del 30 % de esta región. Se quemaron casas y corrales a lo largo del río; ciudades como Villa Constitución fueron invadidas de humo y cenizas. Los expertos del Observatorio Ambiental de la Universidad Nacional de Rosario (UNR) estimaron que habían quedado afectadas 7 000 hectáreas en San Nicolás y otras 20 000 entre San Pedro y Zárate, que sumaban casi 30 000 hectáreas quemadas a finales de agosto de 2021²⁶.

5.4 Agricultura, ganadería y economía

La producción agrícola de la CDP realiza una importante contribución a la disponibilidad mundial de alimentos a través de la exportación de productos básicos agrícolas. La CDP no solo exporta alimentos, sino también «agua virtual» incorporada en los productos básicos agrícolas (Hoekstra and Mekonnen, 2012). En esta región predomina la agricultura de secano, en la que el rendimiento de los cultivos y, por tanto, la producción de alimentos depende casi exclusivamente de que haya suficientes precipitaciones.

El indicador de riesgo de impactos de la sequía en la agricultura (RDRI-Agri) se aplica en el Observatorio Mundial de la Sequía (GDO) del Servicio de Gestión de Emergencias de Copernicus. Este indicador se utiliza para determinar la superficie que es más probable que se vea afectada por la sequía. El indicador RDRI-Agri se calcula como la combinación de las capas dinámicas de peligro de sequía, exposición y vulnerabilidad. En las zonas con mayores valores de este indicador, es más probable que se produzcan impactos asociados a la sequía. Por lo tanto, el mapa del indicador RDRI-Agri puede utilizarse como precursor de los impactos negativos causados por la sequía de 2019-2021. Sin embargo, debido a la complejidad de la propagación de la sequía por todo el ciclo hidrológico y los distintos sectores socioeconómicos, estos impactos pueden desarrollarse y detectarse claramente con un considerable retraso temporal.

El mapa del indicador RDRI-Agri elaborado al final del segundo período de diez días de septiembre de 2021 (Gráfico 17) indica que la principal zona afectada es el curso alto de la CDP. Este mapa muestra una amplia zona con riesgo moderado de impacto en el curso alto de la CDP, que incluye los estados brasileños de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Minas Gerais, São Paulo y Paraná. En las mismas regiones, algunas zonas del Pantanal y del sudoeste de Paraguay han alcanzado un valor de alto riesgo.

Paraguay es el cuarto exportador mundial de soja y este cultivo contribuye en gran medida al PIB del país. Las sequías de 2009 y 2012 afectaron también a la producción de soja, de modo que se produjo una contracción de la economía y una reducción del PIB en un 4 % y un 1,2 %, respectivamente²⁷. Las previsiones de producción de soja en Paraguay para 2020/2021 se redujeron de 10 millones de toneladas a unos 8 millones de toneladas. Esto se debió a la falta de precipitaciones asociada a La Niña. Entre septiembre y octubre de 2020, la pluviosidad fue alrededor del 30 % de la normal en los departamentos de Canindeyú e Itapúa²⁸. La falta de precipitaciones afectó al rendimiento de la soja de ciclo corto sembrada a principios de 2021. En el departamento de Alto Paraná se esperaba que la soja

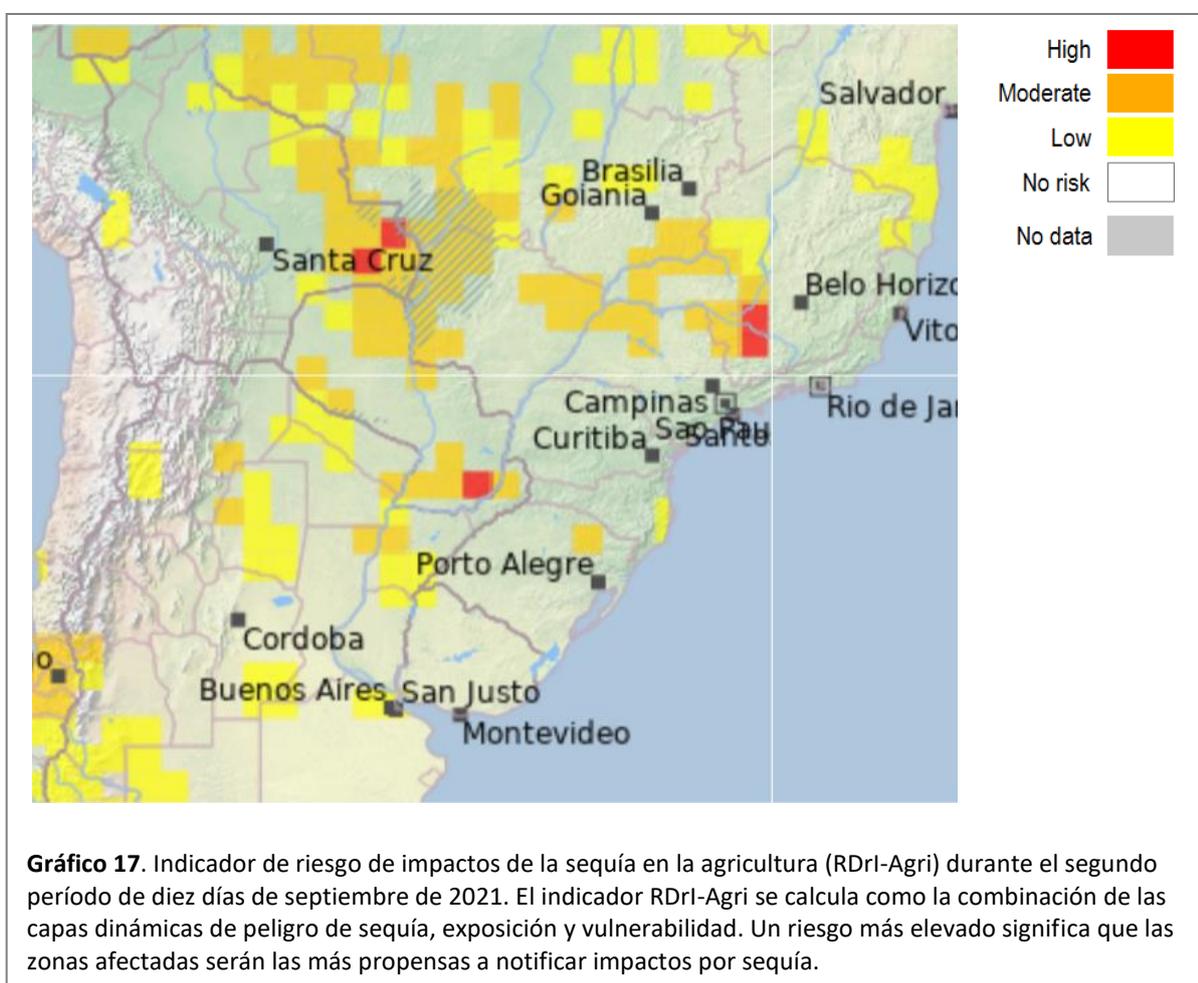
26 <http://observatorioambiental.org/informe-sobre-el-monitoreo-diario-de-focos-de-incendio-en-el-humedal-correspondiente-al-delta-del-rio-parana-en-los-primeros-5-meses-del-ano-2021/>.

27 <https://reliefweb.int/updates?search=sequia%20Paraguay>.

28 <https://www.hoy.com.py/comercio-e-industrias/dejaran-de-cosechar-al-menos-2-millones-de-toneladas-de-soja-causa-de-la-sequia>.

de ciclo corto se perdiera casi por completo. Durante el ciclo de cultivo anterior (2019/2020), se había observado una disminución similar de la superficie sembrada y del rendimiento de la soja de ciclo corto²⁹.

La Bolsa de Cereales de Buenos Aires (Argentina) declaró que la producción de soja en el ciclo de cultivo de 2020-2021 fue de 43,5 millones de toneladas, unos 3 millones de toneladas por debajo de las previsiones. La disminución de la producción —un 11 % menos que en 2019/2020— estuvo ligada a la escasez de lluvias durante los meses de febrero y marzo de 2021, período crítico para el rendimiento de este cultivo. Los rendimientos de soja promediados a nivel nacional en Argentina fueron un 10 % menor que en el ciclo 2019-2020³⁰. La Bolsa de Comercio de Rosario estimó que el bajo nivel histórico del Paraná podría suponer un coste para el sector exportador de cereales del país de 315 millones USD en seis meses (de marzo a agosto de 2021)³¹. Por último, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) ha informado de que los bajos niveles del Paraná cerca de su confluencia con el Río de la Plata (en el denominado Delta) han provocado perturbaciones en el transporte de bovinos criados en pequeñas islas y humedales³².



No obstante, conviene señalar que la agricultura en la CDP es la principal responsable de los cambios en el uso del suelo mencionados en la sección 3.2. Como se indica en dicha sección, los cambios en el uso del suelo provocados por la agricultura pueden estar disminuyendo la capacidad de

29 <https://www.lanacion.com.py/negocios/2021/04/21/sequia-afecto-cultivos-de-soja-y-maiz-zafrina-en-varios-departamentos-del-pais/>.

30 Informe de cierre de campaña soja 2020/21, Instituto de Estudios Económicos, Bolsa de Cereales de Buenos Aires.

31 <https://www.ambito.com/informacion-general/rio-parana/piden-poblacion-limitar-consumo-agua-historica-bajante-del-n5227686-1/4-7/26/2021>.

32 <https://intainforma.inta.gob.ar/bajante-del-parana-como-afecta-a-la-pesca-artesanal/>.

almacenamiento de humedad del suelo en la CDP, aumentando la escorrentía y reduciendo el caudal permanente.

5.5 Transporte por vías navegables

La sequía tiene importantes repercusiones en el transporte de mercancías por las vías navegables de la CDP. La Hidrovía Paraná-Paraguay (HPP) es un importante componente geopolítico de los sistemas de transporte en la CDP, ya que es la salida al mar de Paraguay y Bolivia. La HPP, de 3 400 km de longitud, une el sur de Brasil con el Río de la Plata y el Océano Atlántico. Cada año circulan por la HPP hasta 4 500 barcasas, remolcadores y portacontenedores, que transportan alrededor de 102 millones de toneladas de carga. Sin embargo, la navegabilidad de la HPP está estrechamente ligada a la profundidad (y al caudal) de los ríos Paraná y Paraguay. Los grandes buques marítimos (clase Panamax, 36 pies de calado) solo pueden llegar a la zona del Gran Rosario en Santa Fe, Argentina (km 420 de la vía navegable). Otros buques más pequeños («handy max», 28 pies de calado) pueden llegar más al norte hasta el puerto de Santa Fe (km 590). Al norte de Santa Fe, solo es posible el tráfico de barcasas por vías interiores (10 pies de calado).

El descenso de los niveles del río Paraguay ha afectado considerablemente al tráfico de barcasas. El Centro de Armadores Fluviales y Marítimos de Paraguay ha informado que, debido a la reducción de los niveles fluviales, las barcasas han tenido que transportar menores cargas, por lo que se generan sobrecostos. Se ha observado un incremento del número de barcasas varadas. Pese a los continuos problemas de navegación, Paraguay pudo exportar 3 309 619 toneladas de soja en mayo de 2021, un 5 % (o 165 190 toneladas) más que en el mismo momento del año anterior. Un acuerdo alcanzado entre los Gobiernos de Argentina, Brasil y Paraguay permitió a la Entidad Binacional Yaciretá (operadora de la central hidroeléctrica de Yaciretá) programar el «Operativo Ventana de Agua», que elevó el río Paraná hasta un nivel aproximado de 1 m entre los días 21 y 31 de mayo de 2021, lo que permitió que varios convoyes de barcasas varadas más al norte pasaran por las esclusas de navegación de la central eléctrica³³. Este acuerdo permitió que los envíos de cereales procedentes de las zonas de alta producción de Paraguay (Alto Paraná e Itapúa) se desplazaran al sur hacia los puertos de la zona del Gran Rosario.

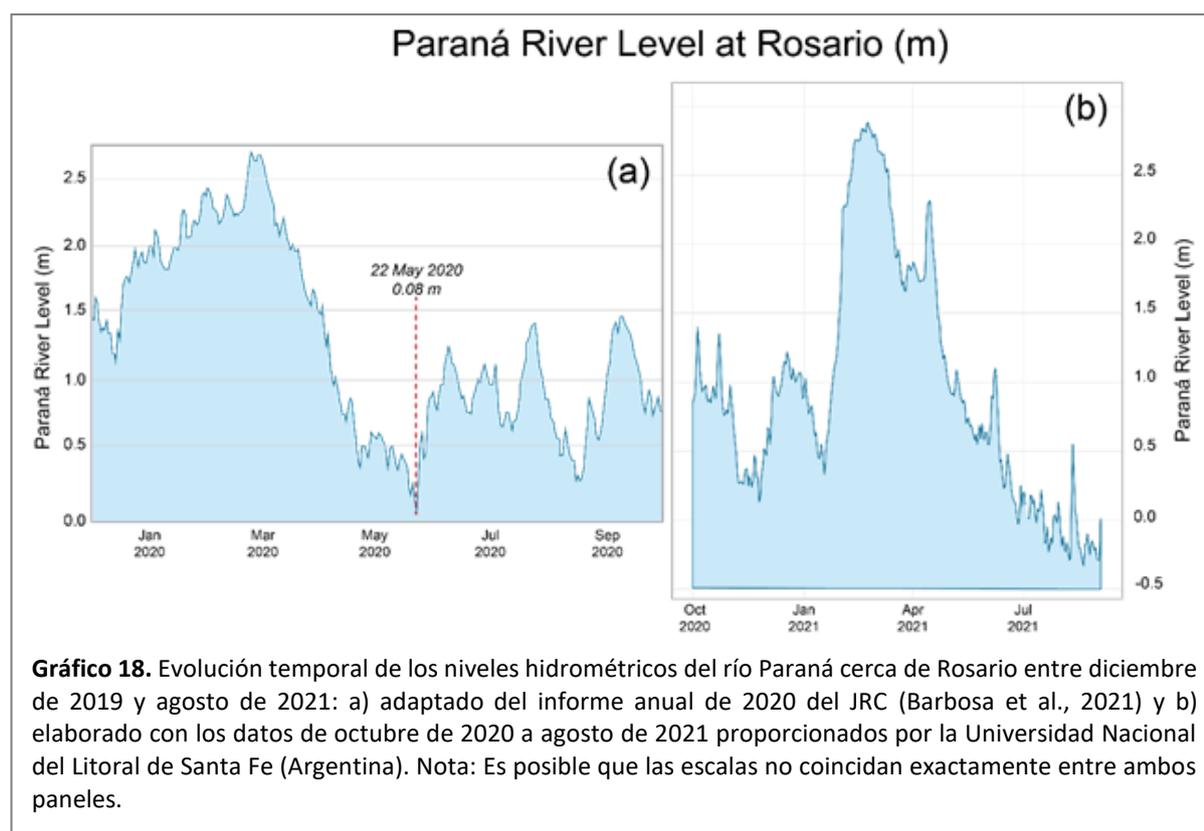
La zona denominada «Gran Rosario» o «Río Arriba» es un tramo de 70 km en el Paraná, cerca de la ciudad de Rosario en la provincia de Santa Fe (Argentina), que abarca el principal centro de procesamiento y exportación de soja del mundo, superando los nodos similares en Nueva Orleans (Estados Unidos) y Santos (Brasil). La agrupación del Gran Rosario cuenta con unas veinte plantas de transformación de semillas oleaginosas que representan alrededor del 80 % de la capacidad de trituración de Argentina; doce de estas instalaciones tienen su propia terminal portuaria. Además de la soja argentina, las habas de Paraguay, Brasil y Bolivia se transportan habitualmente a la agrupación del Gran Rosario en barcasas. Allí, las semillas oleaginosas pueden transformarse en harina y aceite o transferirse directamente a buques oceánicos para su exportación como habas.

Para valorar cómo pueden afectar los niveles del Paraná a la actividad naviera cerca de la agrupación del Gran Rosario, se muestra la evolución temporal de los niveles hidrométricos del río cerca de Rosario de diciembre de 2019 a agosto de 2021 (Gráfico 18). La profundidad de la HPP en la zona del Gran Rosario disminuyó rápidamente entre marzo y mayo de 2020; el 22 de mayo se alcanzó un nivel mínimo de 0,08 m (véase el Gráfico 18). Los niveles oscilaron entre 0,5 y 1,5 m entre el mes de junio de 2020 y el 22 de febrero de 2021, fecha en que el nivel alcanzó un máximo de 2,88 m. Desde entonces han ido en constante descenso, hasta llegar a niveles por debajo del nivel de referencia de 0,0 m después de

³³ Operativo «Ventana de agua» en Itaipu para elevar los niveles del Paraná (elabcrural.com). <https://elabcrural.com/operativo-ventana-de-agua-en-itaipu-para-elevar-los-niveles-en-el-parana/>.

julio. El 20 de agosto de 2021 se alcanzó un nivel mínimo de 33 cm por debajo del nivel de referencia cero; el nivel medio histórico de este mes se sitúa en torno a los 2,90 m. Por desgracia, en la actualidad no cabe esperar un incremento de los niveles de la HPP al menos hasta octubre de 2021 y posiblemente, debido al pronóstico de La Niña, hasta finales de año^{34, 35}.

La poca profundidad de la HPP obliga a los cargueros oceánicos que salen del Gran Rosario a reducir sus cargas normales. La pérdida de capacidad de transporte de mercancías implica, a su vez, mayores costes por carga. Normalmente, un buque «handy max» transporta entre 35 000 y 40 000 toneladas; cada pie de calado que se pierde a causa de los bajos niveles de la HPP reduce esta capacidad entre 1 500 y 1 800 toneladas. Los buques de mayor tamaño que pueden llegar a los puertos de Rosario (Panamax, de unos 235 m de eslora) pueden transportar entre 60 000 y 75 000 toneladas de grano. Un pie menos de calado en un carguero Panamax supone entre 2 000 y 2 500 toneladas de grano que no se pueden cargar. A mediados de mayo de 2020, la profundidad de la HPP en el Gran Rosario era unos 5 pies inferior a su valor normal, lo que reducía la carga de un Panamax en 11 000 toneladas, o la carga de unos 370 camiones que transportasen 30 toneladas cada uno. Además de reducir las cargas de los buques, la poca profundidad de las vías navegables también entraña riesgos para la navegación, limita a menudo las operaciones a las horas de luz diurna y aumenta la frecuencia de las inmobilizaciones. Por otra parte, el bajo caudal y la poca profundidad de la HPP también crean problemas en las operaciones en tierra: la mayor lentitud de la navegación altera el flujo global de las semillas oleaginosas y los cereales.



Pese al continuo dragado de la HPP entre Rosario y el estuario del Río de la Plata, los buques Panamax cargados de maíz salen normalmente de Rosario con tan solo el 70-80 % de su carga máxima y llenan sus bodegas en puertos oceánicos más profundos en el sur de Argentina (Quequén o Bahía Blanca) o

34 <https://www.telam.com.ar/notas/202108/564834-rio-parana-bajante-grave.html>.

35 <https://www.eldiariocba.com.ar/suplementos-especiales/2021/8/14/crisis-en-el-transporte-de-granos-por-la-bajante-del-rio-parana-52199.html>.

Brasil. Sin embargo, los cargueros oceánicos solo pueden cargar actualmente el 40-50 % de su capacidad y deben llenar sus bodegas en otros lugares, lo que genera costes adicionales. Por ejemplo, dado que las localidades de Quequén o Bahía Blanca están más alejadas de las principales regiones de producción de soja y maíz de Argentina, transportar grano hasta ellas por tierra comporta un coste adicional de 30 a 40 USD por tonelada. Debido a las dificultades logísticas de la HPP y a la baja producción de maíz de ciclo corto en Brasil, los precios FOB del maíz son considerablemente más bajos en los puertos de Gran Rosario que en los brasileños (por ejemplo, el puerto de Paranaguá): En junio de 2021, este diferencial de precios alcanzó un máximo histórico de 48 USD por tonelada de maíz³⁶. En 2020, la Bolsa de Comercio de Rosario (BCR) estimó el valor agregado de todos los impactos relacionados con los bajos niveles de caudal y profundidad de la HPP en 244 millones USD durante los cuatro primeros meses de ese año. Dado que los niveles de la HPP fueron más bajos en 2021, la BCR estimó unos sobrecostes aproximados de 315 millones USD para las exportaciones de productos básicos agrícolas durante el período de marzo a agosto de 2021, lo que equivale aproximadamente al 1 % del valor total de las exportaciones agrícolas argentinas^{37 38 39}.

Además de los beneficios económicos que aporta el sistema fluvial en términos de transporte, cabe destacar los servicios medioambientales e hidroecológicos que presta. Este sistema fluvial es uno de los mayores ríos de flujo libre del mundo; representa un sistema único de humedales desde el Pantanal, en el norte de la CDP, hasta el estuario del Río de la Plata en el sur. La ausencia de fragmentación a lo largo del canal principal y de las llanuras aluviales ha preservado la conectividad longitudinal y lateral que proporciona servicios ecosistémicos y los correspondientes medios de subsistencia (Baigún and Minotti, 2021). Entre las medidas adoptadas para mitigar los efectos de la sequía en el transporte marítimo, muchas instituciones han propuesto modificaciones importantes del sistema fluvial, como dragados y canalizaciones. Algunos de los rasgos característicos del río, como su profundidad y sus meandros, requieren el desmontaje de convoyes de remolcadores y barcazas, lo que aumenta los costes de transporte. No obstante, esta medida tendrá importantes repercusiones hidrológicas y ecológicas.

5.6 Generación de energía hidroeléctrica y otros impactos energéticos

La energía hidroeléctrica es la principal fuente de energía renovable en Sudamérica, seguida de los biocombustibles. La CDP es una de las mayores productoras de energía hidroeléctrica del mundo (Rudnick et al., 2008): esta región posee el 28 % de los recursos hídricos mundiales que, junto con sus características topográficas, contribuyen a su elevada producción actual y potencial de energía hidroeléctrica (Popescu et al., 2012). Las numerosas represas y centrales hidroeléctricas existentes en la Cuenca del Plata cubren alrededor del 55 % de la demanda energética de los países que la integran; sin embargo, la gran importancia de la energía hidroeléctrica hace que estos países dependan en gran medida de la disponibilidad de recursos hídricos (Popescu et al., 2014).

La sequía puede tener importantes repercusiones directas en la producción de energía en la CDP. La cuenca alta del Paraná cuenta con más de sesenta y tres embalses y centrales hidroeléctricas con una capacidad de generación instalada total de 61 000 MW. El Instituto Nacional del Agua (INA) de Argentina y el Operador Nacional del Sistema Eléctrico (ONS⁴⁰) de Brasil informaron que los embalses de mayor capacidad de la cuenca alta del Paraná, especialmente en el Río Grande y el río Paranaíba, se encontraban en estado crítico debido a los bajísimos caudales recibidos desde 2014 (Gráfico 9).

36 <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/la-bajante-4>.

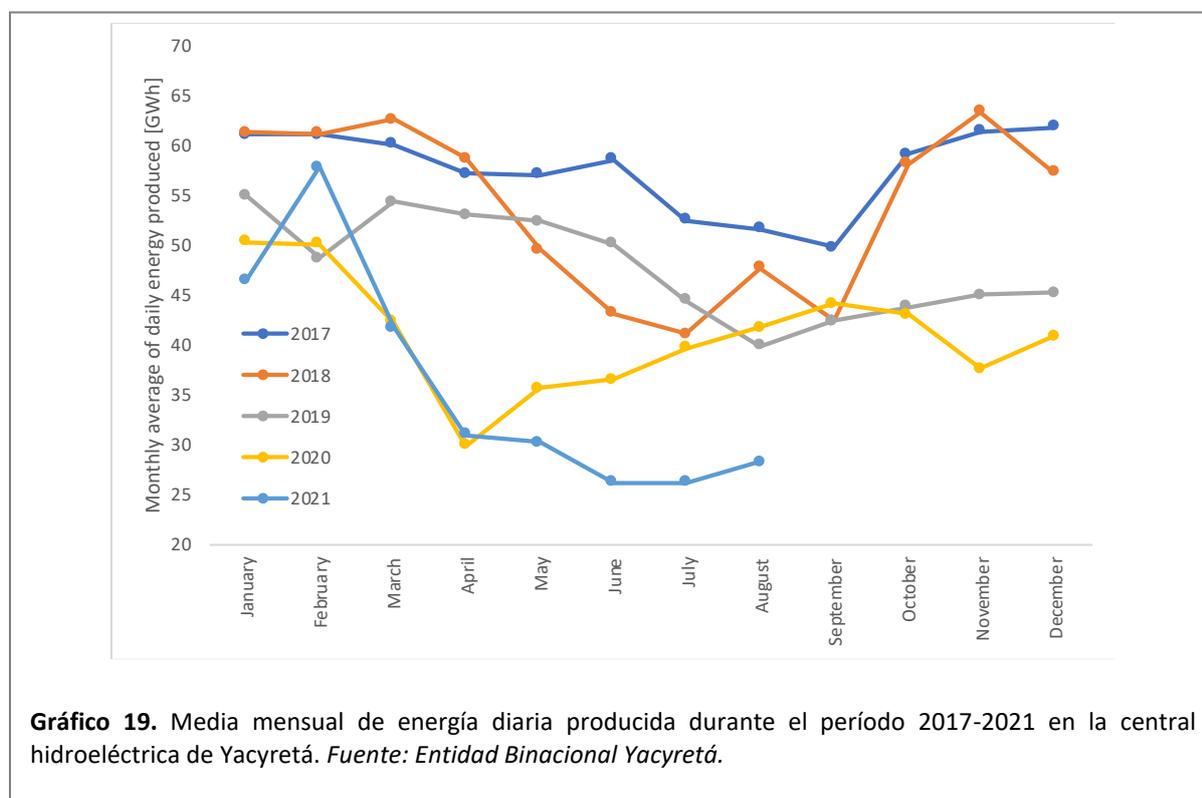
37 <https://www.chacodiapordia.com/2021/08/23/bajante-del-parana-barcos-sin-granos-y-pescadores-sin-peces-mientras-esperan-niveles-mas-bajos/>.

38 <https://bichosdecampo.com/por-suerte-ahora-lo-va-a-dragar-el-estado-la-bajante-historica-del-parana-ya-costo-312-millones-de-dolares-en-mayores-costos/>.

39 <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/la-bajante-3>.

40 <http://www.ons.org.br/paginas/energia-agora/reservatorios>.

Desde febrero de 2019, las centrales hidroeléctricas de Jurumirim (cuena del Paranapanema) y Foz do Areia (cuena del Iguazú) padecen una sequía hidrológica de características entre severas y excepcionales. En el momento de redactar el presente documento, la planta de Jurumirim sigue siendo la que se encuentra en la situación más crítica (SSFI-12 = -2,7 y SSFI-24 = -3,1). La central hidroeléctrica de Itaipu padece una sequía hidrológica desde abril de 2019 y se encuentra en situación de sequía «excepcional» desde diciembre de 2020 (SSFI < -2,0).



Debido a la escasez de energía hidroeléctrica, el ONS ha pedido a los generadores de electricidad que retrasen los trabajos de mantenimiento durante el mayor tiempo posible para evitar que se agrave la crisis energética provocada por la peor sequía que ha visto el país en casi un siglo. Las represas hidroeléctricas han registrado las entradas de agua más bajas en más de noventa años, hecho que ha elevado los precios de la electricidad y disparado las tasas de inflación. La Agencia Nacional de Energía Eléctrica (ANEEL) de Brasil anunció un aumento medio del 6,78 % en las facturas de electricidad del país desde septiembre de 2021 debido a la sequía⁴¹. El 30 de agosto de 2021, el presidente brasileño Jair Bolsonaro advirtió de que la crisis del agua situaba al país «en el límite del límite» y animaba a la población a ahorrar energía⁴².

Paraguay y Argentina comparten la central eléctrica de Yacyretá, que es la planta hidroeléctrica más meridional del Paraná. Los caudales de entrada en Yacyretá han ido disminuyendo desde 2017, pero esta planta se ha visto especialmente afectada por el episodio actual. Según los operadores de las instalaciones, el caudal medio de entrada en junio de 2021 fue de $6\,200\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$, un valor similar al registrado durante el episodio de bajos niveles fluviales de 1934, y el segundo más bajo desde 1901⁴³.

41 <https://www.milenio.com/internacional/latinoamerica/brasil-vuelve-subir-precio-electricidad-causa-sequia>.

42 <https://www.lanacion.com.ar/el-mundo/brasil-al-limite-por-su-peor-sequia-en-decadas-temen-apagones-y-jair-bolsonaro-ya-toma-medidas-nid26082021/>.

43 <https://www.telam.com.ar/notas/202108/564834-rio-parana-bajante-grave.html>.

A mediados de julio de 2021⁴⁴, los caudales de entrada del embalse de Yacyretá eran de aproximadamente $5\,700\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$, mientras que la media de esta época del año se sitúa en torno a los $13\,000\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$. A consecuencia de los bajos caudales de entrada, la producción de electricidad de Yacyretá ha disminuido significativamente. A principios de julio de 2021, se notificó una reducción del 45 % en la producción hidroeléctrica de Yacyretá en relación con los niveles de enero de 2021⁴⁵ (**Error! Reference source not found.**). Las pérdidas económicas sufridas por la planta de Yacyretá a mediados de 2021 se han estimado en unos 30 millones USD mensuales⁴⁶.

Se han experimentado otros impactos relacionados con la energía aguas abajo de Yacyretá, que afectan en particular a la entrada de agua de refrigeración en las centrales eléctricas, como las centrales térmicas de Vuelta de Obligado y San Martín, en Santa Fe (Argentina). Además, las centrales nucleares de Atucha I y Atucha II han alquilado una draga para garantizar la disponibilidad de agua⁴⁷.

5.7 Suministro de agua para consumo humano

A finales de mayo de 2021, el presidente brasileño Jair Bolsonaro emitió una declaración de emergencia hídrica. Sin embargo, esta declaración no llegó a imponer restricciones a los consumidores⁴⁸. El Gobierno de Argentina realizó una declaración en la que pedía a la población de siete provincias ribereñas de los ríos Paraná, Paraguay e Iguazú que limitara el consumo diario de agua, que utilizara agua de lluvia para el riego y que suspendiera la quema de pastos⁴⁹. El suministro de agua potable de importantes ciudades como Rosario, Santa Fe y Paraná depende del río Paraná. El 27 de julio de 2021, el Gobierno argentino asignó 1 000 millones de pesos (unos 10 millones de dólares) a un fondo de emergencia destinado, entre otros fines, a ayudar a las ciudades a mejorar sus infraestructuras de captación de agua⁵⁰.

5.8 Salud humana

La población potencialmente expuesta a diferentes niveles de riesgo de sequía representa el número de personas que pueden verse directamente afectadas por la sequía. Este número se calcula como la combinación entre el índice de riesgo de sequía (RDRI-Agri, Gráfico 17) y las capas de población, y las cifras comunicadas se refieren a la población total de cada país. Durante el segundo período de diez días de septiembre de 2021, más de 11 millones de habitantes en Argentina, 2 millones en Bolivia, 41 millones en Brasil y más de 2 millones en Paraguay viven en zonas afectadas por la sequía en alguna medida (cuadro 1). Cabe destacar que, durante este período, alrededor de 1,2 millones de personas se encontraban en zonas con alto riesgo de sequía.

Aunque en general se subestiman sus efectos, la sequía puede causar daños físicos e incluso la muerte a personas mayores y a poblaciones vulnerables debido a los efectos directos de la falta de agua y las olas de calor (UNDRR, 2021). También pueden producirse efectos indirectos a consecuencia de la pérdida de cosechas o de los cambios en las pautas de los vectores de transmisión de enfermedades, que pueden provocar desnutrición o brotes epidémicos (IPCC, 2014). Las poblaciones más vulnerables

44 <https://econojournal.com.ar/2021/07/sequia-historica-del-parana-yacyreta-al-50-problemas-en-usinas-termicas-y-contingencia-en-atucha-para-garantizar-la-toma-de-agua-de-centrales-nucleares/>.

45 <https://www.eldiariocba.com.ar/suplementos-especiales/2021/8/14/crisis-en-el-transporte-de-granos-por-la-bajante-del-rio-parana-52199.html>.

46 <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/la-bajante-4>.

47 <https://econojournal.com.ar/2021/07/sequia-historica-del-parana-yacyreta-al-50-problemas-en-usinas-termicas-y-contingencia-en-atucha-para-garantizar-la-toma-de-agua-de-centrales-nucleares/>.

48 <https://elpais.com/clima-y-medio-ambiente/2021-07-25/brasil-sufre-la-peor-sequia-en-casi-un-siglo.html>.

49 <https://www.infobae.com/sociedad/2021/07/20/historica-bajante-del-rio-parana-piden-limitar-el-consumo-de-agua-en-7-provincias/>.

50 <https://www.perfil.com/noticias/politica/gobierno-crea-fondo-emergencia-hidrica-1000-millones-pesos-zonas-afectadas-bajante-rio-parana.phtml>.

también pueden correr un riesgo aún mayor debido a factores socioeconómicos como la pobreza, que puede obligar a las personas a vivir en tierras poco fértiles o en ecosistemas que ya son propensos a la sequía (Van Lanen et al., 2017).

Cuadro 1. Número de personas potencialmente expuestas a un riesgo de sequía bajo, medio y alto (RDrl-Agri) durante el segundo período de diez días de septiembre de 2021 en cada país. El número de personas expuestas a cada categoría de riesgo se expresa en miles de personas y, entre paréntesis, el porcentaje de la población total expuesta en cada país.

	Bajo	Medio	Alto	Total
Argentina	8 947 (22 %)	2 293 (6 %)	5,6 (0 %)	11 246 (28 %)
Bolivia	869 (9 %)	1 220 (12 %)	198 (2 %)	2 288 (23 %)
Brasil	22 575(12 %)	17 778 (9 %)	842 (1 %)	41 196 (22 %)
Paraguay	349 (5 %)	2 073 (32 %)	172 (3 %)	2 594 (40 %)

Según la World Health Organization, (2012), los efectos generales de la sequía para la salud pueden clasificarse en cinco categorías principales: desnutrición; enfermedades transmitidas por el agua; enfermedades transmitidas por vectores; enfermedades transmitidas por el aire y problemas de salud mental, como la ansiedad y otras consecuencias emocionales. Durante estos años de sequía, se han presentado algunos informes que destacan los testimonios de residentes locales directamente afectados que expresan incertidumbre, miedo y ansiedad por esta situación⁵¹.

51 <https://ar.radiocut.fm/audiocut/parana-seco-drama-familias-pescador-s-del-litoral-roxana-russo/>.

6 Conclusiones

La Cuenca del Plata se ha visto afectada por varios años de sequía desde mediados de 2019. La falta de precipitaciones, principalmente en la parte superior de la cuenca, ha provocado un descenso considerable del caudal de los ríos Paraguay y Paraná.

Debido a su larga duración y severidad, esta sequía ya ha provocado numerosos impactos en varios sectores socioeconómicos y ha causado graves efectos en los ecosistemas, como interrupciones del suministro de agua, incendios forestales, reducción del rendimiento agrícola, disminución del transporte fluvial en los ríos Paraguay y Paraná y una reducción considerable de la producción de energía hidroeléctrica. Graves son los efectos regionales para los ecosistemas y la biodiversidad, especialmente agudos en el Pantanal, uno de los mayores humedales de América.

En cuanto a las perspectivas de precipitación, la mayoría de los sistemas globales de predicción prevén un escenario de déficit de precipitaciones para el período de octubre a diciembre de 2021 en el curso medio y bajo de la cuenca del Paraná, que comprende el sur de Brasil, Uruguay, el nordeste de Argentina y el este de Paraguay en las zonas situadas aguas arriba de la cuenca del Paraná. Debido a la escasísima humedad del suelo (a consecuencia de la actual temporada seca y de que la pluviosidad durante la temporada de lluvias es inferior a la media en los últimos años), las precipitaciones tardarán un tiempo en contribuir de forma significativa al caudal fluvial y al almacenamiento de los embalses. Además, es muy probable que el fenómeno de La Niña tenga consecuencias negativas para las precipitaciones en los tramos medios y bajos del Paraná durante los últimos meses de 2021. Por tanto, la hipótesis más probable para el período de octubre a diciembre de 2021 es que persista la situación de sequía, tanto desde el punto de vista de las precipitaciones como desde el punto de vista hidrológico.

Referencias

- Abelen, S., Seitz, F., Abarca-del-Rio, R., Güntner, A., 2015. Droughts and floods in the La Plata basin in soil moisture data and GRACE. *Remote Sensing* 7, 7324–7349.
- Baigún, C.R.M., Minotti, P.G., 2021. Conserving the Paraguay-Paraná Fluvial Corridor in the XXI Century: Conflicts, Threats, and Challenges. *Sustainability* 13, 5198.
- Barbosa, P., Magni, D., Vogt, J., Spinoni, J., Masante, D., De Jager, A., Naumann, G., Cammalleri, C., Mazzeschi, M., McCormick, N., Arias Muñoz, C., 2021. Droughts in Europe and worldwide 2019-2020. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Barros, V., Clarke, R., Dias, P.S., 2006. *Climate Change In The La Pata Basin*. Publication of the Inter-American Institute for Global Change Research (IAI), São José dos Campos, Brazil.
- Bert, F., de Estrada, M., Naumann, G., Negri, R., Podestá, G., de los Milagros Skansi, M., Spennemann, P., Quesada, M., 2021. The 2017-18 drought in the Argentine Pampas—Impacts on Agriculture, in: United Nations Office for Disaster Risk Reduction (2021). *GAR Special Report on Drought 2021*. Geneva.
- Boulanger, J.-P., Carril, A.F., Sanchez, E., 2016. CLARIS-La Plata Basin: regional hydroclimate variability, uncertainties and climate change scenarios. *Climate Research* 68, 93–94.
- Cai, W., McPhaden, M.J., Grimm, A.M., Rodrigues, R.R., Taschetto, A.S., Garreaud, R.D., Dewitte, B., Poveda, G., Ham, Y.-G., Santoso, A., 2020. Climate impacts of the El Niño—southern oscillation on South America. *Nature Reviews Earth & Environment* 1, 215–231.
- Cammalleri, C., Barbosa, P., Vogt, J.V., 2020. Evaluating simulated daily discharge for operational hydrological drought monitoring in the Global Drought Observatory (GDO). *Hydrological Sciences Journal* 65, 1316–1325.
- Cammalleri, C., Barbosa, P., Vogt, J.V., 2019. Analysing the relationship between multiple-timescale SPI and GRACE terrestrial water storage in the framework of drought monitoring. *Water* 11, 1672.
- Cavalcanti, I.F.A., Carril, A.F., Penalba, O.C., Grimm, A.M., Menéndez, C.G., Sanchez, E., Cherchi, A., Sörensson, A., Robledo, F., Rivera, J., 2015. Precipitation extremes over La Plata Basin—Review and new results from observations and climate simulations. *Journal of Hydrology* 523, 211–230.
- Chen, J.L., Wilson, C.R., Tapley, B.D., Longuevergne, L., Yang, Z.L., Scanlon, B.R., 2010. Recent La Plata basin drought conditions observed by satellite gravimetry. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 115. D22108, doi:10.1029/2010JD014689.
- Coelho, C.A., de Oliveira, C.P., Ambrizzi, T., Reboita, M.S., Carpenedo, C.B., Campos, J.L.P.S., Tomaziello, A.C.N., Pampuch, L.A., de Souza Custódio, M., Dutra, L.M.M., 2016. The 2014 southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections. *Climate Dynamics* 46, 3737–3752.
- Coelho, C.A.S., Uvo, C.B., Ambrizzi, T., 2002. Exploring the impacts of the tropical Pacific SST on the precipitation patterns over South America during ENSO periods. *Theoretical and Applied Climatology* 71, 185–197.
- Collischonn, W., Tucci, C.E.M., Clarke, R.T., 2001. Further evidence of changes in the hydrological regime of the River Paraguay: part of a wider phenomenon of climate change? *Journal of Hydrology* 245, 218–238.
- Couto Garcia, L., Szabo, J.K., de Oliveira Roque, F., Pereira, A. de M.M., da Cunha, C.N., Damasceno-Júnior, G.A., Morato, R.G., Tomas, W.M., Libonati, R., Ribeiro, D.B., 2021. Record-breaking wildfires in the world's largest continuous tropical wetland: Integrative fire management is urgently needed for both biodiversity and humans. *Journal of Environmental Management* 293, 112870.
- Cunha, A.P., Zeri, M., Deusdará Leal, K., Costa, L., Cuartas, L.A., Marengo, J.A., Tomasella, J., Vieira, R.M., Barbosa, A.A., Cunningham, C., 2019. Extreme drought events over Brazil from 2011 to 2019. *Atmosphere* 10, 642.
- Davey, M.K., Brookshaw, A., Ineson, S., 2014. The probability of the impact of ENSO on precipitation and near-surface temperature. *Climate Risk Management* 1, 5–24.
- Díaz, E., García, M., Rodríguez, A., Dölling, O., Ochoa, S., Bertoni, J., 2018. Temporal evolution of hydrological drought in Argentina and its relationship with macroclimatic indicators. *Tecnología y ciencias del agua* 9, 1–32.
- Dollar, E., Edwards, F., Stratford, C., May, L., Biggs, J., Laize, C., Acreman, M., Blake, J., Carvalho, L., Elliott, A., Gunn, I., Hinsley, S., Mountford, O., Nunn, M., Preston, C., Sayer, E., Schonrogge, K., Spears, B., Spurgeon, D., Winfield, I., Wood, P., 2013. *Monitoring and assessment of environmental impacts of droughts: literature synthesis*. Environment Agency, Horizon House, Deanery Road, Bristol, BS1 5AH, United Kingdom.
- Ely, P., Fantin-Cruz, I., Tritico, H.M., Girard, P., Kaplan, D., 2020. Dam-induced hydrologic alterations in the rivers feeding the Pantanal. *Frontiers in Environmental Science* 8, 256.
- FAO, 2016. *Transboundary River Basin Overview – La Plata*, FAO AQUASTAT Report. FAO, Rome, Italy.

- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harrison, L., Hoell, A., 2015. The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific data* 2, 1–21.
- Grimm, A.M., 2011. Interannual climate variability in South America: impacts on seasonal precipitation, extreme events, and possible effects of climate change. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 25, 537–554.
- Grimm, A.M., Tedeschi, R.G., 2009. ENSO and extreme rainfall events in South America. *Journal of Climate* 22, 1589–1609.
- Haylock, M.R., Peterson, T.C., Alves, L.M., Ambrizzi, T., Anunciação, Y.M.T., Baez, J., Barros, V.R., Berlato, M.A., Bidegain, M., Coronel, G., Corradi, V., Garcia, V.J., Grimm, A.M., Karoly, D., Marengo, J.A., Marino, M.B., Moncunill, D.F., Nechet, D., Quintana, J., Rebello, E., Rusticucci, M., Santos, J.L., Trebejo, I., Vincent, L.A., 2006. Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960–2000 and Links with Sea Surface Temperature. *Journal of Climate* 19, 1490–1512. <https://doi.org/10.1175/JCLI3695.1>
- Hoekstra, A.Y., Mekonnen, M.M., 2012. The water footprint of humanity. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)* 109, 3232–3237.
- INA, 2021. BAJANTE EXTRAORDINARIA. Reporte de Situación y Perspectiva. Instituto Nacional del Agua. https://www.ina.gov.ar/archivos/alerta/Situacion_Bajante_2021Ago13_report.pdf.
- IPCC, 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- IPCC, 2014. Climate change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Papers I, II, and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva.
- Iturbide, M., Gutiérrez, J.M., Alves, L.M., Bedia, J., Cerezo-Mota, R., Gimeno, E., Gochis, A.S., Di Luca, A., Faria, S.H., Gorodetskaya, I.V., Hauser, M., Herrera, S., Hennessy, K., Hewitt, H.T., Jones, R.G., Krakovska, S., Manzanaras, R., Martínez-Castro, D., Narisma, G.T., Nurhati, I.S., Pinto, I., Seneviratne, S.I., van den Hurk, B., Vera, C.S., 2020. An update of IPCC climate reference regions for subcontinental analysis of climate model data: definition and aggregated datasets. *Earth System Science Data* 12, 2959–2970.
- Jacques-Coper, M., Garreaud, R.D., 2015. Characterization of the 1970s climate shift in South America. *International Journal of Climatology* 35, 2164–2179.
- Kooperberg, C., Stone, C.J., 1991. A study of log-spline density estimation. *Computational Statistics & Data Analysis* 12, 327–347.
- Landerer, F.W., Swenson, S.C., 2012. Accuracy of scaled GRACE terrestrial water storage estimates. *Water Resources Research* 48.
- Leal Filho, W., Azeiteiro, U.M., Salvia, A.L., Fritzen, B., Libonati, R., 2021. Fire in Paradise: Why the Pantanal is burning. *Environmental Science & Policy* 123, 31–34.
- Libonati, R., DaCamara, C.C., Peres, L.F., de Carvalho, L.A.S., Garcia, L.C., 2020. Rescue Brazil's burning Pantanal wetlands. *Nature* 588, 217–219.
- Lovino, M.A., Müller, O.V., Müller, G.V., Sgroi, L.C., Baethgen, W.E., 2018. Interannual-to-multidecadal hydroclimate variability and its sectoral impacts in northeastern Argentina. *Hydrology and Earth System Sciences* 22, 3155–3174.
- Marengo, J.A., Ambrizzi, T., Barreto, N., Cunha, A.P., Ramos, A.M., Skansi, M., Carpio, J.M., Salinas, R., 2021a. The heat wave of October 2020 in central South America. *International Journal of Climatology*.
- Marengo, J.A., Cunha, A.P., Cuartas, L.A., Deusdará Leal, K.R., Broedel, E., Seluchi, M.E., Michelin, C.M., De Praga Baião, C.F., Chuchón Ângulo, E., Almeida, E.K., 2021b. Extreme Drought in the Brazilian Pantanal in 2019–2020: Characterization, Causes, and Impacts. *Frontiers in Water* 3, 13.
- Mo, K.C., Berbery, E.H., 2011. Drought and persistent wet spells over South America based on observations and the US CLIVAR drought experiments. *Journal of Climate* 24, 1801–1820.
- Naumann, G., Vargas, W.M., Barbosa, P., Blauhut, V., Spinoni, J., Vogt, J.V., 2019. Dynamics of socioeconomic exposure, vulnerability and impacts of recent droughts in Argentina. *Geosciences* 9, 39.
- Oliveira, V.A. de, Mello, C.R. de, Viola, M.R., Srinivasan, R., 2018. Land-use change impacts on the hydrology of the upper Grande river basin, Brazil. *Cerne* 24, 334–343.
- Popescu, I., Brandimarte, L., Perera, M.S.U., Peviani, M., 2012. Assessing residual hydropower potential of the La Plata Basin accounting for future user demands. *Hydrology and Earth System Sciences* 16, 2813–2823.
- Popescu, I., Brandimarte, L., Peviani, M., 2014. Effects of climate change over energy production in La Plata Basin. *International Journal of River Basin Management* 12, 319–327.
- Prieto, M. del R., 2007. ENSO signals in South America: rains and floods in the Paraná River region during colonial times. *Climatic Change* 83, 39–54.

- Rivera, J.A., Penalba, O.C., 2014. Trends and spatial patterns of drought affected area in Southern South America. *Climate* 2, 264–278.
- Rudnick, H., Barroso, L.A., Mocarquer, S., Bezerra, B., 2008. A delicate balance in South America. *IEEE Power and Energy Magazine* 6, 22–35.
- Santos, E.B., de Freitas, E.D., Rafee, S.A.A., Fujita, T., Rudke, A.P., Martins, L.D., Ferreira de Souza, R.A., Martins, J.A., 2021. Spatio-temporal variability of wet and drought events in the Paraná River basin—Brazil and its association with the El Niño—Southern oscillation phenomenon. *International Journal of Climatology* 41, 4879–4897. <https://doi.org/10.1002/joc.7104>
- Saurral, R.I., Barros, V.R., Lettenmaier, D.P., 2008. Land use impact on the Uruguay River discharge. *Geophysical Research Letters* 35, L12401, doi:10.1029/2008GL033707.
- Seager, R., Naik, N., Baethgen, W., Robertson, A., Kushnir, Y., Nakamura, J., Jurburg, S., 2010. Tropical Oceanic Causes of Interannual to Multidecadal Precipitation Variability in Southeast South America over the Past Century. *Journal of Climate* 23, 5517–5539. <https://doi.org/10.1175/2010JCLI3578.1>
- Spinoni, J., Barbosa, P., De Jager, A., McCormick, N., Naumann, G., Vogt, J.V., Magni, D., Masante, D., Mazzeschi, M., 2019. A new global database of meteorological drought events from 1951 to 2016. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 22, 100593.
- Stevaux, J.C., Martins, D.P., Meurer, M., 2009. Changes in a large regulated tropical river: The Paraná River downstream from the Porto Primavera Dam, Brazil. *Geomorphology* 113, 230–238.
- Svoboda, M., LeCompte, D., Hayes, M., Heim, R., Gleason, K., Angel, J., Rippey, B., Tinker, R., Palecki, M., Stooksbury, D., 2002. The drought monitor. *Bulletin of the American Meteorological Society* 83, 1181–1190.
- Tucci, C.E., 2003. Flood flow forecasting. *Bulletin of the World Meteorological Organization* 52, 46–52.
- UNDRR, 2021. *GAR Special Report on Drought 2021*. UNDRR, Geneva.
- Van Lanen, H.A.J., Vogt, J.V., Andreu, J., Carrão, H., De Stefano, L., Dutra, E., Feyen, L., Forzieri, G., Hayes, M., Iglesias, A., Naumann, G., Pulwarty, R., Spinoni, J., Stahl, K., Stefanski, R., Stilianakis, N., Svoboda, M., Tallaksen, L., 2017. Climatological risk: droughts, in: *Science for Disaster Risk Management*. pp. 271–293.
- Vogt, J., Naumann, G., Masante, D., Spinoni, J., Cammalleri, C., Erian, W., Pischke, F., Pulwarty, R., Marinho Ferreira Barbosa, P., 2018. *Drought Risk Assessment and Management*. (EUR - Scientific and Technical Research Reports). Publications Office of the European Union.
- World Health Organization, (WHO), 2012. *Atlas of health and climate*, WMO. WMO, Geneva.

Lista de abreviaturas y definiciones

CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
CHIRPS	Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (Datos de precipitaciones de estaciones con infrarrojos del Grupo de Riesgos Climáticos)
EBY	Entidad Binacional Yacyretá
ENOS	El Niño-Oscilación Sur
FAO	Food and Agriculture Organization (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura)
FAPAR	Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation (Fracción de radiación fotosintéticamente activa absorbida)
FOB	Franco a bordo
GRACE	Gravity Recovery and Climate Experiment (Experimento de Recuperación de Gravedad y Clima)
CMCP	Centro Mundial de Climatología de las Precipitaciones
GWIS	Global Wildfire Information System (Sistema Mundial de Información sobre Incendios)
C.H.	Central hidroeléctrica
INA	Instituto Nacional del Agua
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
IRI	International Research Institute for Climate and Society – Columbia Climate School (Instituto Internacional de Investigación del Clima y la Sociedad – Escuela Climática de Columbia)
JRC	Joint Research Centre (Centro Común de Investigación de la Comisión Europea)
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (Espectrorradiómetro de imágenes de resolución moderada)
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration (Oficina Nacional de Administración Atmosférica y Oceánica)
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico — Brasil
SISSA	Sistema de Información Sobre Sequías para el Sur de Sudamérica
SMN	Servicio Meteorológico Nacional — Argentina
SPI	Standardised Precipitation Index (Índice normalizado de precipitación)
SPEI	Standardised Precipitation-Evaporation Index (Índice normalizado de precipitación-evaporación)
SSFI	Standardized Streamflow Index (Índice normalizado de los caudales fluviales)
Suomi NPP	Suomi National Polar-orbiting Partnership (Asociación nacional de orbitación polar de Finlandia)
TWS	Total Water Storage (Almacenamiento total de agua)
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura)
VIIRS	Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (Conjunto radiométrico de imágenes infrarrojas visibles)
OMM	Organización Meteorológica Mundial

Lista de gráficos

- Gráfico 1.** Mapa de la Cuenca del Plata con las principales presas hidroeléctricas. Las zonas de color verde oscuro representan las zonas de desarrollo de regadío. Fuente: FAO, (2016). 4
- Gráfico 2.** Series temporales de precipitaciones totales mensuales (barras azules) y anomalías de precipitación acumuladas (barras rojas) durante los cinco últimos años (de septiembre de 2016 a septiembre de 2021). Se muestran series de: a) una región cercana a Santa Fe do Sul (20.3°S, 51°O) en el estado de São Paulo a fin de ilustrar las condiciones que se dan en las proximidades del sistema de abastecimiento de agua de Cantareira; b) el humedal del Pantanal en los estados de Mato Grosso y Mato Grosso do Sul (16.7°S, 57.5°O). Ambos gráficos muestran también la media mensual de precipitaciones totales (líneas continuas) de 1981-2010 y el rango estimado de variabilidad determinada por la desviación estándar (líneas discontinuas). Los gráficos inferiores muestran la media mensual de 1981-2010 (líneas continuas) y la variabilidad estimada determinada por la desviación estándar (líneas discontinuas) de las anomalías de precipitación acumuladas durante los cinco últimos años. 7
- Gráfico 3.** Series temporales del SPI (de enero de 1981 a septiembre de 2021) para tres escalas temporales diferentes: 3, 6 y 12 meses (de arriba a abajo) para un lugar cercano a Santa Fe do Sul (20.3°S, 51°O) en el estado de São Paulo a fin de ilustrar las condiciones que se dan en las proximidades del sistema de abastecimiento de agua de Cantareira..... 8
- Gráfico 4.** Series temporales del SPI (de enero de 1981 a septiembre de 2021) para tres escalas temporales diferentes: 3, 6 y 12 meses (de arriba a abajo) para una zona del humedal del Pantanal localizada entre los estados de Mato Grosso y Mato Grosso do Sul (16.7°S, 57.5°O). 9
- Gráfico 5.** Categorías de sequía en la Cuenca del Plata derivadas de las anomalías de precipitación del CHIRPS para el SPI-6 desde el 15 de marzo de 2019 hasta el 30 de septiembre de 2021. Fuente: SISSA..... 10
- Gráfico 6.** Porcentaje de superficie de la CDP afectado por cada una de las cinco categorías de sequía utilizadas en el gráfico 5, según el SPI-6 de marzo de 2019 a septiembre de 2021. Las superficies se han obtenido de las anomalías de precipitación del CHIRPS. Véanse la escala y los colores en el gráfico 5. Fuente: SISSA..... 11
- Gráfico 7.** Anomalía de la humedad del suelo para el primer período de diez días de septiembre de 2021 (panel superior) y anomalía del almacenamiento total de agua (TWS) de Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE), julio de 2021 (panel inferior)..... 12
- Gráfico 8.** Índice de caudal bajo (LFI) para el primer período de diez días de septiembre de 2021. En el índice de caudal bajo, el valor 0 corresponde a la ausencia de sequía y el valor 1 al máximo riesgo de sequía..... 13
- Gráfico 9.** Índice normalizado de caudales (SSFI) en escalas temporales de 12 (panel izquierdo) y 24 meses (panel derecho) para las subcuencas de las centrales hidroeléctricas de Emborcação, Furnas, Jurumirim, Foz do Areia e Itaipu. (Fuente: CEMADEN). 14
- Gráfico 10.** Anomalías de la fracción de radiación fotosintética absorbida (FAPAR) durante el segundo período de diez días de septiembre de 2021. Las anomalías FAPAR representan los efectos sobre el crecimiento y la productividad de la vegetación derivados del estrés medioambiental, especialmente el estrés hídrico de las plantas debido a la sequía actual... 15
- Gráfico 11.** Pluma de anomalías de la temperatura de la superficie del mar (TSM) publicada el 6 de octubre de 2021. La línea negra de trazo continuo muestra las anomalías observadas recientemente, y las líneas roja y azul muestran las anomalías de la TSM previstas por el modelo GFS.V2 en las regiones de la región NIÑO3.4 (5N-5S, 170W-120W). La línea negra de

trazo discontinuo muestra la media del conjunto de previsiones. Las anomalías se muestran con respecto al clima de 1991-2020. Fuente: NOAA.	17
Gráfico 12. Series temporales del SPI-12 y del SPI-24 calculadas a partir de la precipitación estimada por el Centro Mundial de Climatología de las Precipitaciones (GPCC) para la cuenca del río Paraná entre 1900 y 2021. (Fuente: CEMADEN).	20
Gráfico 13. Evolución anual comparativa de los niveles hidrométricos diarios del río Paraná en Corrientes (Argentina). Se muestran series cronológicas de 2021 (línea negra discontinua) y de los cinco episodios de bajo caudal más intensos desde que se registran datos. Fuente: INA (2021), publicado el 13 de agosto de 2021.	21
Gráfico 14. Par de imágenes obtenidas por uno de los satélites Sentinel-2 de Copernicus el 6 de julio de 2019 (izquierda) y el 10 de julio de 2021 (derecha). Las imágenes ofrecen pruebas claras de la sequía que afecta al río Paraná en Argentina, cerca del puerto de Rosario. En la imagen derecha se aprecian bancos de arena expuestos y humedales desecados. Créditos: Unión Europea, imágenes del Sentinel-2 de Copernicus.	24
Gráfico 15. Esta imagen, obtenida por uno de los satélites Sentinel-2 de Copernicus el 14 de agosto de 2020, muestra incendios forestales en el Parque Nacional del Pantanal Matogrossense (estado de Mato Grosso). Créditos: Unión Europea, imágenes del Sentinel-2 de Copernicus.	25
Gráfico 16. Índice meteorológico de previsión del riesgo de incendio forestal (Fire Weather Index) para el 6 de octubre de 2021, publicado el mismo día. Sistema Mundial de Información sobre Incendios, GWIS. Fuente: Sistema mundial de información sobre incendios del JRC. .	26
Gráfico 17. Indicador de riesgo de impactos de la sequía en la agricultura (RDRI-Agri) durante el segundo período de diez días de septiembre de 2021. El indicador RDRI-Agri se calcula como la combinación de las capas dinámicas de peligro de sequía, exposición y vulnerabilidad. Un riesgo más elevado significa que las zonas afectadas serán las más propensas a notificar impactos por sequía.	28
Gráfico 18. Evolución temporal de los niveles hidrométricos del río Paraná cerca de Rosario entre diciembre de 2019 y agosto de 2021: a) adaptado del informe anual de 2020 del JRC (Barbosa et al., 2021) y b) elaborado con los datos de octubre de 2020 a agosto de 2021 proporcionados por la Universidad Nacional del Litoral de Santa Fe (Argentina). Nota: Es posible que las escalas no coincidan exactamente entre ambos paneles.	30
Gráfico 19. Media mensual de energía diaria producida durante el período 2017-2021 en la central hidroeléctrica de Yacyretá. Fuente: Entidad Binacional Yacyretá.	32

Lista de cuadros

Cuadro 1. Número de personas potencialmente expuestas a un riesgo de sequía bajo, medio y alto (RDrl-Agri) durante el segundo período de diez días de septiembre de 2021 en cada país. El número de personas expuestas a cada categoría de riesgo se expresa en miles de personas y, entre paréntesis, el porcentaje de la población total expuesta en cada país. 34

Anexos

Anexo 1. Descripción de los indicadores de sequía utilizados en el presente informe

Este anexo contiene una lista no exhaustiva con una breve descripción de los principales indicadores de sequía utilizados en el presente informe. El seguimiento de las sequías se basa en el análisis de una serie de indicadores que representan diferentes componentes del ciclo hidrológico (por ejemplo, las precipitaciones, la humedad del suelo, los niveles de los embalses, los caudales fluviales o los niveles freáticos) o impactos específicos (por ejemplo, el estrés hídrico de la vegetación) asociados a un tipo particular de sequía.

Para más información, véase la sección de fichas informativas del Observatorio Europeo y Mundial de la Sequía^{52,53}. El Observatorio Mundial de la Sequía (GDO) es un servicio gestionado por el Centro Común de Investigación de la Comisión Europea. El portal del GDO contiene información sobre sequía, gráficos y series cronológicas de escala mundial. Ahora es posible acceder a todos los indicadores de sequía para su descarga pública desde la página específica del GDO⁵⁴.

Índice precipitación estandarizado (SPI)

El actual episodio de sequía que padece la Cuenca del Plata se caracteriza y se describe desde el análisis de las pautas de precipitación, sobre la base del Índice de precipitación estandarizado (SPI). El SPI es uno de los indicadores más comunes y utilizados para el análisis y la evaluación de las sequías y mide las anomalías de las precipitaciones comparando la precipitación total observada de un período de acumulación definido con datos históricos a largo plazo relativos al mismo período. El SPI es un índice estadístico que compara la precipitación total recibida en un lugar determinado durante un período de *n* meses con la distribución a largo plazo de las precipitaciones durante el mismo período de tiempo en ese lugar (el período de referencia es 1981-2010). Los períodos de acumulación mensuales (*n*) son 1, 3, 6, 9, 12, 24 o 48 meses. Los SPI correspondientes se indican en el presente informe como SPI-1, SPI-3, SPI-6 y SPI-12.

Cada período de acumulación describe un aspecto diferente de la sequía y sus posibles efectos. Los SPI relativos a períodos de acumulación cortos (por ejemplo, del SPI-1 al SPI-3) son indicadores de impactos inmediatos, como la reducción de la humedad del suelo, el manto de nieve y los caudales de pequeños arroyos. Los SPI relativos a períodos de acumulación medios (por ejemplo, del SPI-3 al SPI-12) son indicadores de reducción del caudal fluvial y del almacenamiento de los embalses. Los SPI relativos a períodos de acumulación largos (del SPI-12 al SPI-48) son indicadores de reducción de la recarga de los embalses y las aguas subterráneas, por ejemplo. La relación exacta entre el período de acumulación y el impacto depende del medio natural (por ejemplo, la geología o los suelos) y de la interferencia humana (por ejemplo, la existencia de sistemas de riego). Para más información, véase *McKee, T.B., Doesken, N.J. y Kleist, J., enero de 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology* [«La relación de la frecuencia y duración de la sequía con las escalas de tiempo. En Actas de la 8.ª Conferencia sobre climatología aplicada»] (Vol. 17, n.º 22, pp. 179 a 183).

52 <https://edo.jrc.ec.europa.eu/edov2/php/index.php?id=1101>.

53 <https://edo.jrc.ec.europa.eu/gdo/php/index.php?id=2101>.

54 <https://edo.jrc.ec.europa.eu/gdo/php/index.php?id=2112>.

Anomalías de la humedad del suelo

Las anomalías de humedad del suelo se calculan en un período móvil de 30 días con una resolución espacial de 0,1 grados decimales y se actualizan cada 10 días. Este índice se calcula como la media ponderada de tres variables normalizadas: 1) la humedad del suelo en la zona radicular de LISFLOOD, 2) la temperatura de la superficie del suelo de MODIS, y 3) teledetección de la humedad del suelo de la iniciativa CCI de la ESA. Las tres variables están normalizadas en el mismo período de referencia de 2001-2016 y los factores de ponderación se calculan como se describe en *Cammalleri, C., Vogt, J. V., Bisselink, B., y de Roo, A. (2017). Comparing soil moisture anomalies from multiple independent sources over different regions across the globe. Hydrology and Earth System Sciences [«Comparación de las anomalías de la humedad del suelo procedentes de múltiples fuentes independientes en diferentes regiones del mundo. Hidrología y ciencias del sistema terrestre»], 21(12), 6329.* El conjunto completo de los tres modelos comprende hasta el segundo período de 10 días, mientras que el último período de 10 días es una estimación de «primera impresión» basada únicamente en datos de temperatura superficial del suelo de LISFLOOD y MODIS.

Anomalía de almacenamiento total de agua de GRACE

La anomalía del almacenamiento total de agua (TWS) se calcula como la desviación normalizada del equivalente de agua líquida del satélite GRACE (JPL TELLUS, nivel 3, versión 6.0, <https://grace.jpl.nasa.gov/>) a partir del período de referencia de 2002-2017. El conjunto de datos es mensual y tiene una resolución de 1 grado. Los detalles de la relación entre este indicador y los índices clásicos de sequía meteorológica (por ejemplo, SPI) se encuentran en *Cammalleri, C.; Barbosa, P.; Vogt, J.V. (2019). Analysing the Relationship between Multiple-Timescale SPI and GRACE Terrestrial Water Storage in the Framework of Drought Monitoring. [«Análisis de la relación entre el SPI de escala temporal múltiple y el almacenamiento de agua terrestre de GRACE en el marco de la vigilancia de la sequía»]. Water 2019, 11, 1672.*

Fracción de radiación fotosintéticamente activa absorbida (FAPAR)

El indicador de anomalía FAPAR que se aplica en el Observatorio Mundial de la Sequía de Copernicus (GDO) se utiliza para detectar y supervisar los efectos sobre el crecimiento y la productividad de la vegetación de los factores de estrés medioambiental, especialmente el estrés hídrico de las plantas debido a la sequía. Este indicador se calcula como las desviaciones de la variable biofísica medida por satélite de la radiación fotosintéticamente activa absorbida (FAPAR, que a veces se escribe fAPAR o FPAR), compuesta a intervalos de 10 días, a partir de sus valores medios a largo plazo. FAPAR es una de las 50 variables conocidas como «variables climáticas esenciales» (VCE) que el Sistema Mundial de Observación del Clima ha definido como viables para la observación del clima mundial e importantes para apoyar la labor de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (de las 50 VCE, 26 dependen significativamente de las observaciones por satélite). Se ha demostrado que los valores FAPAR y sus anomalías son buenos indicadores para detectar y evaluar el impacto de las sequías en las cubiertas vegetales, como los cultivos agrícolas y la vegetación natural, y, por tanto, proporcionan información potencialmente útil para la gestión del agua y la agricultura. Para más detalles, véase *Gobron N., B. Pinty, F. Mélin, M. Taberner, M.M. Verstraete, A. Belward, T. Lavergne, y J.-L. Widlowski. 2005. The state of vegetation in Europe following the 2003 drought [«El estado de la vegetación en Europa tras la sequía de 2003»] International Journal of Remote Sensing, 26 (9): 2013-2020.*

Índice de bajo caudal

El índice de bajo caudal (LFI) es un indicador utilizado para el seguimiento operativo, casi en tiempo real, de la sequía hidrológica (es decir, los caudales fluviales) en Europa. A nivel mundial, el LFI es un producto experimental. El indicador LFI utiliza los resultados de descarga diaria de aguas fluviales del modelo LISFLOOD de simulación del ciclo hidrológico, con el fin de registrar períodos consecutivos ininterrumpidos de caudal inusualmente bajo, y compara el consiguiente déficit hídrico de esos períodos con las condiciones climatológicas históricas, a fin de determinar la severidad de los episodios. Una ventaja clave del indicador LFI en comparación, por ejemplo, con el índice de escorrentía estándar (SRI), que se utiliza mucho, es que el indicador LFI utiliza directamente los valores diarios de caudal fluvial, lo que permite actualizar el índice casi en tiempo real a intervalos regulares. Para más información, véase *Cammalleri, C., Vogt, J. y Salamon, P., (2017): Development of an operational low-flow index for hydrological drought monitoring over Europe* [«Desarrollo de un índice operativo de caudales bajos para la vigilancia de la sequía hidrológica en Europa»]. *Hydrological Sciences Journal*, 62(3), pp.346-358 y *Cammalleri, C., P., Barbosa, J.V., Vogt (2020). Evaluating simulated daily discharge for operational hydrological drought monitoring in the Global Drought Observatory (GDO)* [«Evaluación de la descarga diaria simulada para la vigilancia hidrológica operativa de la sequía en el Observatorio Mundial de la Sequía (GDO)»], *Hydrological Sciences Journal* 65 (8), 1316-1325.

Riesgo de impactos de la sequía en la agricultura (RDri-Agri)

El indicador de riesgo de impactos de la sequía en la agricultura (RDri-Agri), que se aplica en el Observatorio Mundial de la Sequía, se utiliza para determinar la zona que tiene mayor probabilidad de verse afectada por las sequías. El indicador RDri-Agri se calcula como la combinación de las capas dinámicas de peligro de sequía, exposición y vulnerabilidad. Un riesgo más elevado significa que las zonas afectadas serán las más propensas a notificar impactos por sequía.

Los mapas de RDri-Agri proporcionan información sobre la distribución espacial del riesgo de sequía a escala mundial y su evolución a lo largo del tiempo. Estos mapas pueden utilizarse como indicador de la presencia de posibles impactos causados por sequías actuales. Debido a la complejidad de la propagación de la sequía por todo el ciclo hidrológico y los distintos sectores socioeconómicos, así como a sus efectos en cascada, puede que estos impactos se observen mucho más tarde. Para más información, véase *Carrão, H., Naumann, G. y Barbosa, P., 2016. Mapping global patterns of drought risk: An empirical framework based on sub-national estimates of hazard, exposure and vulnerability* [«Cartografía de los patrones globales de riesgo de sequía: marco empírico basado en estimaciones subnacionales de peligro, exposición y vulnerabilidad»]. *Global Environmental Change*, 39, pp.108-12

CÓMO PONERSE EN CONTACTO CON LA UE

En persona

Hay cientos de centros de información Europe Direct repartidos por toda la Unión Europea. Puede encontrar la dirección del centro más cercano en: https://europa.eu/european-union/contact_es

Por teléfono o por correo electrónico

Europe Direct es un servicio que le ayuda a obtener respuesta a sus preguntas sobre la Unión Europea. Puede ponerse en contacto con este servicio de las siguientes formas:

- mediante el número de teléfono gratuito: 00 800 6 7 8 9 10 11 (algunos operadores pueden cobrar por las llamadas);
- mediante el número de teléfono normal: +32 22999696; o
- por correo electrónico a través de: https://europa.eu/european-union/contact_es

BUSCAR INFORMACIÓN SOBRE LA UE

En línea

Encontrará información sobre la Unión Europea en todas las lenguas oficiales de la UE en el sitio web Europa:

https://europa.eu/european-union/index_es

Publicaciones de la Unión Europea

Puede descargar o solicitar publicaciones gratuitas y de pago de la Unión Europea en EU Bookshop:

<https://publications.europa.eu/es/publications>. Si desea obtener varios ejemplares de las publicaciones gratuitas, póngase en contacto con Europe Direct o con su centro de información local (véase https://europa.eu/european-union/contact_es).

The European Commission's science and knowledge service

Joint Research Centre

JRC Mission

As the science and knowledge service of the European Commission, the Joint Research Centre's mission is to support EU policies with independent evidence throughout the whole policy cycle.



EU Science Hub

ec.europa.eu/jrc



@EU_ScienceHub



EU Science Hub - Joint Research Centre



EU Science, Research and Innovation



EU Science Hub



Oficina de Publicaciones
de la Unión Europea

doi:10.2760/346183
ISBN 978-92-76-47671-9