



TEKOHA HA
AKÁRAPUÁ KATUIRÁ
Motenondcha
Ministerio del
AMBIENTE Y DESARROLLO
SOSTENIBLE



TEKOATY HA MBA' EREREKOPY
AKÁRAPU' ÁRÁ RAPE' APO
Sambiyhita
Secretaría
TÉCNICA DE PLANIFICACIÓN
DEL DESARROLLO ECONÓMICO
Y SOCIAL

Fundación
Avina

TETÁ REKUÁI
GOBIERNO NACIONAL

ESTADO DEL CLIMA PARAGUAY 2019

CAMBIO CLIMÁTICO, EVIDENCIAS
CIENTÍFICAS E IMPACTOS

Benjamín Grassi



Producción general

Ulises Lovera Gaona, Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible

Nora Clotilde Páez Ortiz, Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible

Jorge González, Secretaría Técnica de Planificación del Desarrollo Económico y Social

Briham Piñáñez, Secretaría Técnica de Planificación del Desarrollo Económico y Social

Jéssica Servín, Secretaría Técnica de Planificación del Desarrollo Económico y Social

Mabel Cubilla, Secretaría Técnica de Planificación del Desarrollo Económico y Social

Andrea Rodríguez, Fundación Avina

Eduardo Rotela, Fundación Avina

Paula Burt, Fundación Avina

Paula Ellinger, Fundación Avina

Virginia Scardamaglia, Fundación Avina

Maquetación

Nathalia Rojas Balsevich

Fotografías de tapa y contratapa

Juan Carlos Meza (@fotociclo) | www.unsplash.com

Aprobación del reporte por el Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible Agosto 2020

Se permite la reproducción total o parcial del contenido de esta publicación para propósitos académicos o sin fines de lucro, siempre y cuando la fuente sea citada inequívocamente.

Para citar la fuente

Grassi, B., 2020: Estudio del Clima Paraguay 2019. MADES-STP. Asunción, Paraguay.



TEKOHA HA
AKÁRAPUÁ KATUIRÁ
Motenondcha
Ministerio del
AMBIENTE Y DESARROLLO
SOSTENIBLE



TEKOATY HA MBA' EREREKOPY
AKÁRAPU' ÁRÁ RAPE' APO
Sambityha
Secretaría
TÉCNICA DE PLANIFICACIÓN
DEL DESARROLLO ECONÓMICO
Y SOCIAL

Fundación
Avina

TETÃ REKUÁI
GOBIERNO NACIONAL

ESTADO DEL CLIMA PARAGUAY 2019

CAMBIO CLIMÁTICO, EVIDENCIAS
CIENTÍFICAS E IMPACTOS

Benjamín Grassi

AGRADECIMIENTOS

A las personas que aportaron mucho profesionalismo a este trabajo; Lic. Raquel Rodríguez, Lic. Diana Benítez, Lic. Sergio Méndez (IB), Lic. Héctor López (DINAC) y Ana Jara (SEN), entre otros. A la Dirección de Meteorología e Hidrología (DMH) de la Dirección Nacional de Aeronáutica Civil (DINAC) por facilitar los datos meteorológicos que hicieron posible este estudio, como así también a la ITAIPÚ Binacional y al Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), a la Administración Nacional de Navegación y Puertos (ANNP) por facilitar los datos hidrométricos. A la Secretaría Técnica de Planificación del Desarrollo Económico y Social (STP), a la Dirección Nacional de Cambio Climático (DNCC) del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADES) y a la Fundación Avina por la confianza y el soporte necesario.

El estudio del Estado del Clima Paraguay 2019 fue realizado en el marco del proyecto “Fortaleciendo el rol de los Consejos Locales de Desarrollo para contribuir a la implementación de las NDC y el acceso a finanzas climáticas,” financiado por el Fondo Verde para el Clima, implementado por Fundación Avina y ejecutado en coordinación con la Secretaría Técnica de Planificación del Desarrollo Económico y Social, y la Dirección Nacional de Cambio Climático del Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible.

ÍNDICE

Siglas y Abreviaturas	4
Introducción	5
Resumen	7
Abstract	8

Capítulo 1 Marco Científico 9

Capítulo 2 Estado del Clima Paraguay 2019 17

2.1 Datos	23
2.2 Métodos	29
2.3 Resultados	37
2.3.1 Temperatura	37
2.3.2 Precipitación	44
2.3.3 Eventos extremos	49

Capítulo 3 Impactos del Clima en Paraguay en el año 2019 58

3.1 Sequía severa afecta a la agricultura	60
3.2 Inundaciones repentinas en el norte del país	61
3.3 Inundaciones cíclicas del río Paraguay	63
3.4 Lluvia extrema e inundaciones en Ñeembucú	65
3.5 Inundaciones urbanas en Asunción	68
3.6 Sequías, olas de calor e incendios forestales	69
3.7 Sequía hidrológica en primavera	73
3.8 Tormentas severas a finales de la primavera	77

Conclusiones	78
Recomendaciones y sugerencias	80
Glosario	81
Bibliografía	86
Anexo 1. Red de estaciones meteorológicas de la DINAC	90
Anexo 2. Corrección de la temperatura media anual en Villarrica, Guairá	91
Anexo 3. Olas de calor en el Aeropuerto Internacional Silvio Pettrossi (1980-2019)	92

SIGLAS Y ABREVIATURAS

AMV	Variabilidad Multidecadal del Atlántico, siglas en inglés
ANDE	Administración Nacional de Electricidad
ANNP	Administración Nacional de Navegación y Puertos
AP	Armada Paraguaya
BCP	Banco Central del Paraguay
CAPECO	Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas
CAFyM	Centro de Armadores Fluviales y Marítimos del Paraguay
CBVP	Cuerpo de Bomberos Voluntarios del Paraguay
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
DINAC	Dirección Nacional de Aeronáutica Civil
DMH	Dirección de Meteorología e Hidrología
EBY	Entidad Binacional Yacyretá
ENSO	El Niño Oscilación del Sur, siglas en inglés
FECOPROD	Federación de Cooperativas de la Producción
GCF	Green Climate Fund
GEI	Gases de Efecto Invernadero
IB	ITAIPI Binacional
IPCC	Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, siglas en inglés
IPTA	Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria
MADES	Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
MEC	Ministerio de Educación y Ciencias
MSPyBS	Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social
NASA	Agencia Nacional de Administración Espacial, siglas en inglés
NOAA	Administración Nacional de Océano y Atmósfera, siglas en inglés
OMM	Organización Meteorológica Mundial
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PDV	Variabilidad Decadal del Pacífico, siglas en inglés
PIB	Producto Interno Bruto
SEN	Secretaría de Emergencia Nacional
SMHN	Servicio Meteorológico e Hidrológico Nacional
STP	Secretaría Técnica de Planificación del Desarrollo Económico y Social
TAJY	Tajy Seguros
TRMM	Tropical Rainfall Measuring Mission
TSM	Temperatura de la superficie del mar
UCA	Universidad Católica “Nuestra Señora de la Asunción”
UGP	Unión de Gremios de la Producción
UNCA	Universidad Nacional de Caaguazú
UNA	Universidad Nacional de Asunción
UTC	Tiempo Coordinado Universal
WWF	Fondo Mundial para la Naturaleza, siglas en inglés
WMO	Organización Meteorológica Mundial, siglas en inglés

INTRODUCCIÓN

El Estado del Clima Paraguay 2019 presenta evidencias científicas e impactos del cambio climático en el país, con el fin de aportar herramientas técnicas y contribuir con el debate sobre las medidas de mitigación y adaptación, presentes y futuras, que se deberían de implementar ante el avance del cambio climático.

Se demuestran algunos de los cambios que se han registrado en el clima del Paraguay desde la segunda mitad del siglo XX hasta el año 2019, basados en registros de observaciones meteorológicas en el país. Se analizaron los datos meteorológicos de 25 estaciones meteorológicas distribuidas en todo el territorio nacional y que cuenten con una longitud de datos que superen los 30 años. Los datos fueron proveídos por la Dirección Nacional de Aeronáutica Civil (DINAC), en la mayoría de los casos la serie de datos empieza en 1960, pero en algunos pocos casos estos datos se inician en 1940.

Según el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), la influencia humana sobre el clima es clara (IPCC, 2014), y esta influencia se manifiesta a través de tendencias significativas observadas de algunos indicadores del cambio climático. En su análisis sobre el estado del clima 2019, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) informó que la temperatura global de la Tierra estuvo 1,1 °C por encima de la media de la era preindustrial 1850-1900, siendo el segundo año más caliente después de 2016, según registros históricos¹, este valor es un promedio sobre toda la Tierra (mar y tierra).

El cambio climático es un proceso global y podría sentirse en cualquier parte del mundo, en el Paraguay se han informado acerca de algunas investigaciones relacionadas a probables cambios en la temperatura del aire y la intensidad con la que se estaría dando (Grassi, 2005). Este estudio podría ayudar a llenar vacíos de información de esta naturaleza y de algunos otros aspectos relacionados al clima. Estos datos también pueden ser de gran valor para el diseño de medidas adecuadas de mitigación y adaptación al cambio climático.

En este proceso de generación de conocimientos el Estado paraguayo promueve y apoya la investigación científica climática y socioeconómica, con el propósito de facilitar la comprensión de los efectos, la magnitud y la distribución cronológica del cambio climático, de las consecuencias económicas y sociales, así como lo establece la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)².

1 Informe Provisional sobre el Estado del Clima 2019, Organización Meteorológica Mundial (OMM)

2 Ley 251/93.

A partir del compromiso asumido como país donde se reconoce la necesidad de una respuesta progresiva y eficaz a la amenaza apremiante del cambio climático³, sobre la base de los mejores conocimientos científicos disponibles, la Fundación Avina, junto con el Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADES) y la Secretaría Técnica de Planificación del Desarrollo Económico y Social (STP), con recursos del Fondo Verde para el Clima (GCF, siglas en inglés) encomendaron el trabajo denominado “*Estudios climáticos de base científica y económica*” de forma de obtener resultados que sirvan de herramienta para la toma de decisiones y para apoyar la implementación de políticas públicas que busquen mejorar la calidad de vida de los paraguayos.

Este estudio cuenta, en su primera parte, con un análisis de la temperatura a nivel país, con las conclusiones relacionadas a los cambios de temperatura que se han dado anualmente desde 1950 aproximadamente, por quinquenios, por décadas y por períodos de treinta años. Posteriormente, se concluye de igual forma sobre los cambios en el régimen de lluvias en el Paraguay. También se abordaron tópicos relacionados a eventos extremos como crecidas, olas de calor y sequías.

De los resultados de este estudio, resalta que el año 2019 resultó ser el más caliente en el Paraguay desde que se tienen registros meteorológicos, superando en 1,5 °C a la temperatura media del período de 1961-1990 (este valor supone una diferencia aún mayor respecto a los valores de la era preindustrial 1850-1900). Este dato ayuda a ubicarnos acerca de cómo se ha acelerado el aumento de la temperatura en el Paraguay actual, a fin de referenciar este valor respecto a los límites de temperatura mencionados en el *Acuerdo de París*. Referente a las precipitaciones, se evidencia un aumento de 3 mm por año en los últimos 70 años de datos, la última década 2010-2019 superó en un 11% a la lluvia promedio de 1961-1990. También se demuestra que la intensidad de las sequías va en aumento y que las olas de calor prácticamente se triplicaron entre 1980 y 2019, o sea en los últimos 40 años.

Se analizan algunos de los impactos económicos y sociales de los eventos climáticos extremos ocurridos en el Paraguay durante el año 2019, que posiblemente están asociados al cambio climático. Se recrea cronológicamente cómo se fueron dando, mes a mes, eventos extremos como sequías, olas de calor, incendios forestales, inundaciones y tormentas severas, señalando los sectores que fueron impactados en cada caso.

Según el Banco Central del Paraguay (BCP), el crecimiento económico durante el año 2019 estuvo contenido en gran medida por factores internos, un clima adverso con afectación negativa en los sectores agropecuario, energético y en las inversiones en infraestructuras públicas y privadas. Según la misma fuente, de un crecimiento proyectado en 4,0%, en diciembre de 2018, se redujo finalmente a un 0,0% a finales de 2019 (provisorio)⁴.

Cabe señalar que este trabajo, Estado del Clima Paraguay 2019, sirvió de base para 6 estudios de caracterización climática y económica para los departamentos de Alto Paraná, Caaguazú, Cordillera, Guairá, Paraguarí y San Pedro. Estos estudios, que analizan los impactos económicos del cambio climático en esos departamentos, se presentarán como tomos independientes.

Finalmente, para este estudio se elaboró una base de datos climáticos a nivel país, específicamente de temperatura media mensual y anual, de precipitación total mensual y anual, y de hidrometría diaria del río Paraguay en Asunción; estos datos fueron homogeneizados y adecuados para estudios climáticos e hidrológicos a largo plazo. Esta base de datos se entrega con el informe.

3 Ley 5681/16.

4 BCP, 2020.

RESUMEN

Las concentraciones de gases de efecto invernadero, en particular el dióxido de carbono (CO₂), continúan aumentando y la temperatura media global de la Tierra del año 2019 estuvo 1,1 °C sobre los promedios de la temperatura del período industrial 1850-1900 estimados, siendo el segundo año más caliente después del año 2016.

El calentamiento global de origen antrópico tuvo su impacto en el Paraguay y en este informe se revela los cambios que han acontecido en el clima del país desde mediados del siglo pasado hasta el presente.

Uno de los resultados concluye que **el año 2019 fue el más caliente en nuestro país con una temperatura de 1,5 °C por encima del promedio del período 1961-1990**, también se observa que de los 10 años más calientes, 8 de ellos ocurrieron en este siglo indicando un claro calentamiento, también se observa que los quinquenios y las décadas se están calentando a un ritmo cada más rápido a partir de la década de los 90.

La precipitación en la zona húmeda del país tuvo un incremento en los últimos 70 años y esto indujo, entre otros factores, al aumento del nivel de los ríos. Los eventos extremos de olas de calor se han triplicado en las últimas 4 décadas y las sequías se han vuelto cada vez más extremas.

Respecto al clima del año 2019, además de ser el año más caliente, cronológicamente se han sucedido eventos extremos como sequías agrícolas, inundaciones, olas de calor extremas, sequías hidrológicas, incendios forestales y tormentas severas, eventos que han tenido un fuerte impacto en la economía.

ABSTRACT

Greenhouse gases concentrations, in particular carbon dioxide (CO₂), continue to increase. The global mean temperature of the Earth for the year 2019 was 1.1 °C above the estimated temperature averages of the industrial period 1850-1900. In this way, it is being the second hottest year after 2016.

Global warming of anthropic origin had its impact on Paraguay and this report reveals the changes that have occurred in the country's climate from the middle of the last century to the present.

One of the results concluded that **the year 2019 was the hottest in our country with a temperature of 1.5 °C above the average for the period 1961-1990**. It is also observed that of the 10 hottest years, 8 of them occurred in this century indicating an obvious warming. In addition, it is detected that the five-year periods and decades are warming at an increasingly rapid rate since the 1990s

Precipitation in the humid zone of the country had an increase in the last 70 years and this phenomenon induced, among other factors, an increase in the level of the rivers. Extreme heat wave events have tripled in the last 4 decades and droughts have become increasingly extreme.

Regarding the climate of 2019, apart from being the warmest year, extreme events, that have had a strong impact on the economy, have occurred chronologically such as; agricultural droughts, floods, extreme heat waves, hydrological droughts, forest fires and severe storms.

MARCO CIENTÍFICO



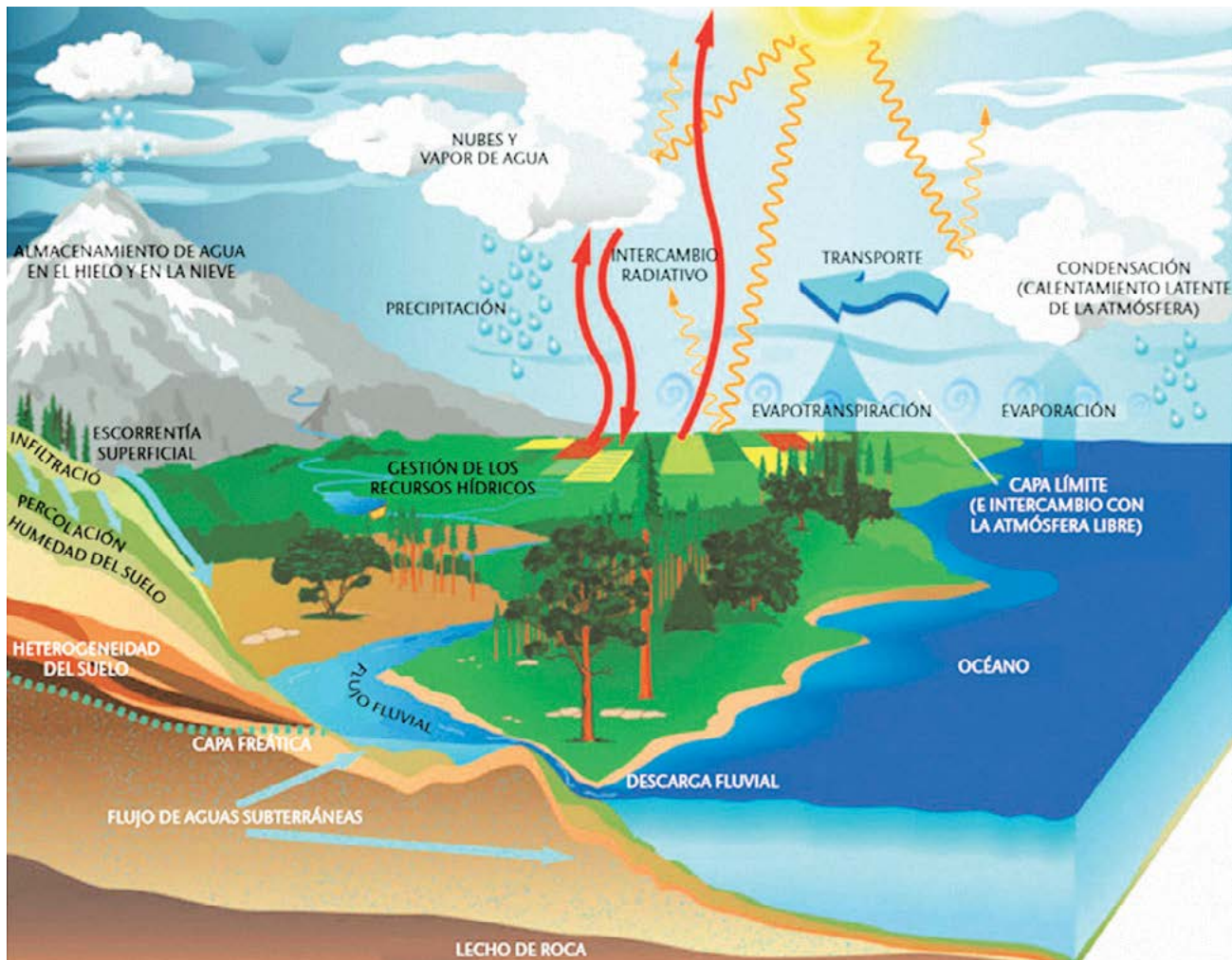
El clima se define como el estado promedio de la atmósfera, incluidas sus variaciones, es una descripción estadística del tiempo atmosférico en términos de sus valores medios y de la variabilidad de sus magnitudes, durante períodos que pueden abarcar desde meses hasta miles o millones de años. Para el estudio del clima, se utiliza un período promedio habitual de 30 años, según la Organización Meteorológica Mundial (OMM)⁵. Las magnitudes son casi siempre variables de superficie (por ejemplo, temperatura, humedad, precipitación o viento). En un sentido más amplio, el clima es el estado del *sistema climático*⁶ (Figura 1).



En un sentido más amplio, el clima es el estado del sistema climático.

La climatología consiste en el estudio del clima, el funcionamiento del sistema climático, sus variaciones, sus extremos y su influencia en diversas actividades, entre ellas los recursos hídricos, la salud, la seguridad, la economía y el bienestar humano. La misma estudia tanto la variabilidad del clima como el cambio climático (OMM, 2018).

Figura 1. El sistema climático y sus componentes



Fuente: OMM, 2018.

5 La Organización Meteorológica Mundial es un organismo de las Naciones Unidas especializado en meteorología (tiempo y clima), hidrología operativa y ciencias geofísicas conexas.

6 Sistema muy complejo que consta de cinco componentes principales: *atmósfera, hidrosfera, criosfera, litosfera y biosfera* y de las interacciones entre ellos.

Los cambios en el clima de la Tierra fueron y son producidos por diversos procesos naturales que afectan al sistema climático o a algunos de sus componentes, por ejemplo, las variaciones de la órbita terrestre, la actividad volcánica o los movimientos de las placas tectónicas, estos cambios se dan de manera lenta y se manifiestan en el clima solo en la escala de decenas de miles de años (Barros, 2006).

Los cambios producidos por las variaciones de la órbita terrestre, conocidos como los ciclos de Milankovitch⁷, son 3 ciclos orbitales que la Tierra tiene alrededor del Sol; el primero de ellos se debe a la excentricidad de la órbita terrestre alrededor del Sol, que varía de casi un círculo a una elipse en un ciclo que tarda alrededor de 100.000 años; en segundo lugar, la oblicuidad (inclinación) del eje de la Tierra con respecto al plano de su órbita, variando entre 22,1° y 24,5° en un ciclo de 41.000 años, y en tercer lugar, la precesión que es el cambio gradual en la dirección a la que apunta el eje de la Tierra, que completa un ciclo cada 21.000 años. La combinación de estos ciclos orbitales produce un efecto de aumento o reducción de la luz solar recibida en la Tierra⁸.

Recientes perforaciones en el hielo en la estación de Vostok⁹, en la Antártida Oriental, han permitido la extensión del registro de la composición atmosférica y el clima a los últimos cuatro ciclos glaciares-interglaciares. La sucesión de cambios a lo largo de cada ciclo climático fue similar, las propiedades atmosféricas y climáticas oscilaban entre límites estables. Los períodos interglaciares diferían en la evolución temporal y la duración. Las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono (CO₂) se correlacionan bien con la temperatura del aire antártico a lo largo del registro en los pasados últimos 420.000 años (Petit, 1999) (Figura 2).

Estas observaciones terrestres presentan ciclos cercanos a los 100.000 años y es de observar cómo la temperatura ascendió y descendió con una periodicidad similar, y notablemente el CO₂ siguió el mismo ciclo (Figura 2), en una reproducción casi exacta al registro de la temperatura. Esta lección nos enseña que estas series paralelas de temperatura y el CO₂ mantienen una relación mutua y estrecha en los procesos que producen las eras glaciales (Barnola, 2003).

La presencia de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera terrestre, especialmente el CO₂ y el metano (CH₄), hacen posible el clima que conocemos; sin ellos, la temperatura media de la Tierra, que es de unos 15 °C, tendría 33 °C menos, o sea, sería un planeta con una temperatura media de -18 °C, gracias a este efecto invernadero natural, la Tierra es el planeta del agua, en vez de ser uno más de los muchos astros helados del sistema solar (Pollack, 2010).

El cambio climático al cual nos referiremos en este estudio, es el cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables¹⁰.

Al finalizar la última glaciación, se inicia el Holoceno ("Entero reciente"), nombre dado a la época geológica posglacial, iniciado hace diez a doce mil años, según lo acordado por el Congreso Geológico Internacional en Bolonia en 1885 (Enciclopedia Británica 1976), que se caracteriza por un clima más cálido. Durante el Holoceno, se desarrollan la agricultura y la civilización, posteriormente el período industrial. A partir de este período, las actividades humanas están ejerciendo un impacto creciente en el medio ambiente en todas las escalas,



“La presencia de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera terrestre, hacen posible el clima que conocemos; sin ellos, la temperatura media de la Tierra, que es de unos 15 °C, tendría 33 °C menos, o sea, sería un planeta con una temperatura media de -18 °C, gracias a este efecto invernadero natural, la Tierra es el planeta del agua, en vez de ser uno más de los muchos astros helados del sistema solar”.

Pollack, 2010.

7 Milutin Milankovitch (1879-1954), geofísico serbio que señaló su importancia para el cambio climático.

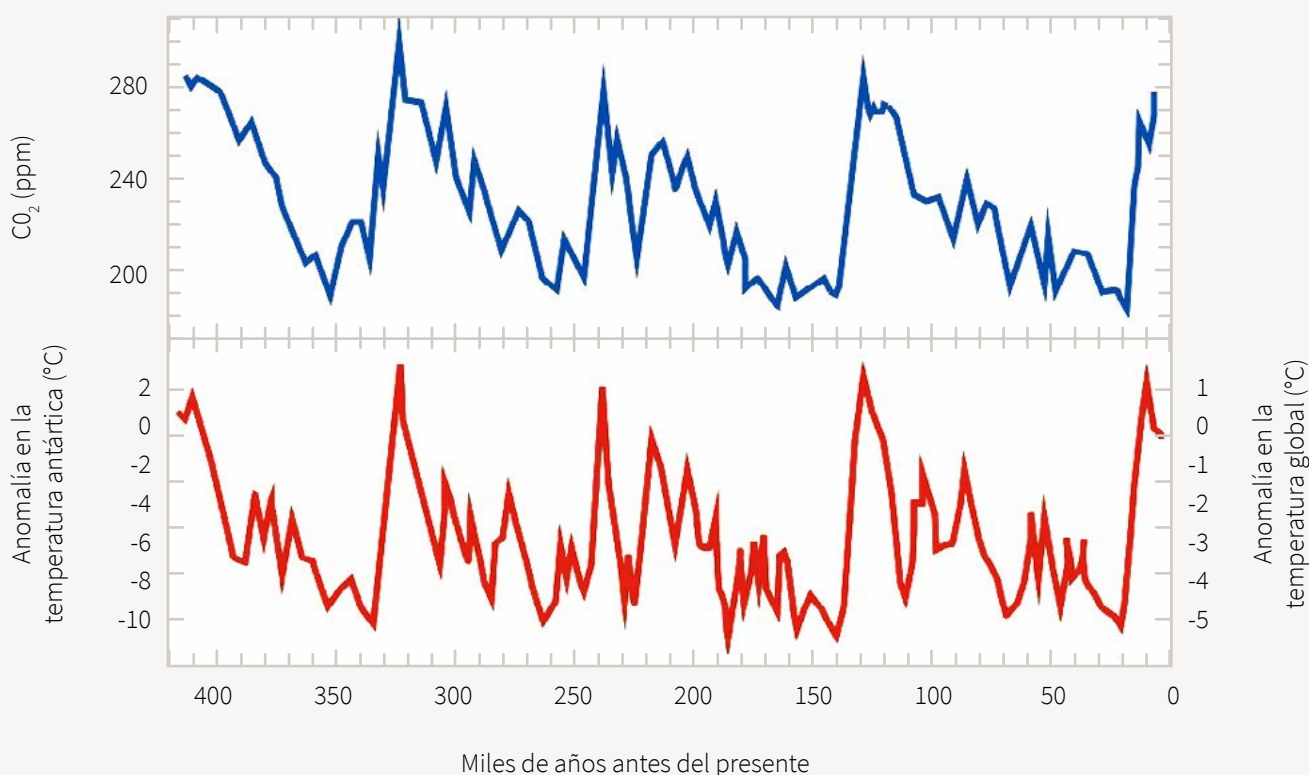
8 También llamada insolación.

9 Vostok, base de investigación rusa en la Antártida.

10 Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).

y en muchos sentidos, superando los procesos naturales (Crutzen¹¹, 2006). Esto incluye la fabricación de compuestos químicos peligrosos que no son producidos por la naturaleza, como por ejemplo los gases clorofluorocarbonados, responsables del "agujero de ozono" y así, las actividades humanas también han crecido hasta convertirse en fuerzas geológicas significativas, por ejemplo; a través de cambios en el uso del suelo, la deforestación y la quema de combustibles fósiles, entonces, se justifica asignar el término "Antropoceno" a la época geológica actual. Esta época se puede definir que comenzó hace unos dos siglos, coincidiendo con el diseño de James Watt de la máquina de vapor en 1784.

Figura 2.
Variación de la concentración del CO₂ en partes por millón (ppm) durante los últimos 420.000 años.



Los picos y valles rastrean las edades de hielo (CO₂ bajo) y los interglaciares más cálidos (CO₂ alto). Durante estos ciclos, el CO₂ nunca fue superior a 300 ppm. (Petit, 2009).

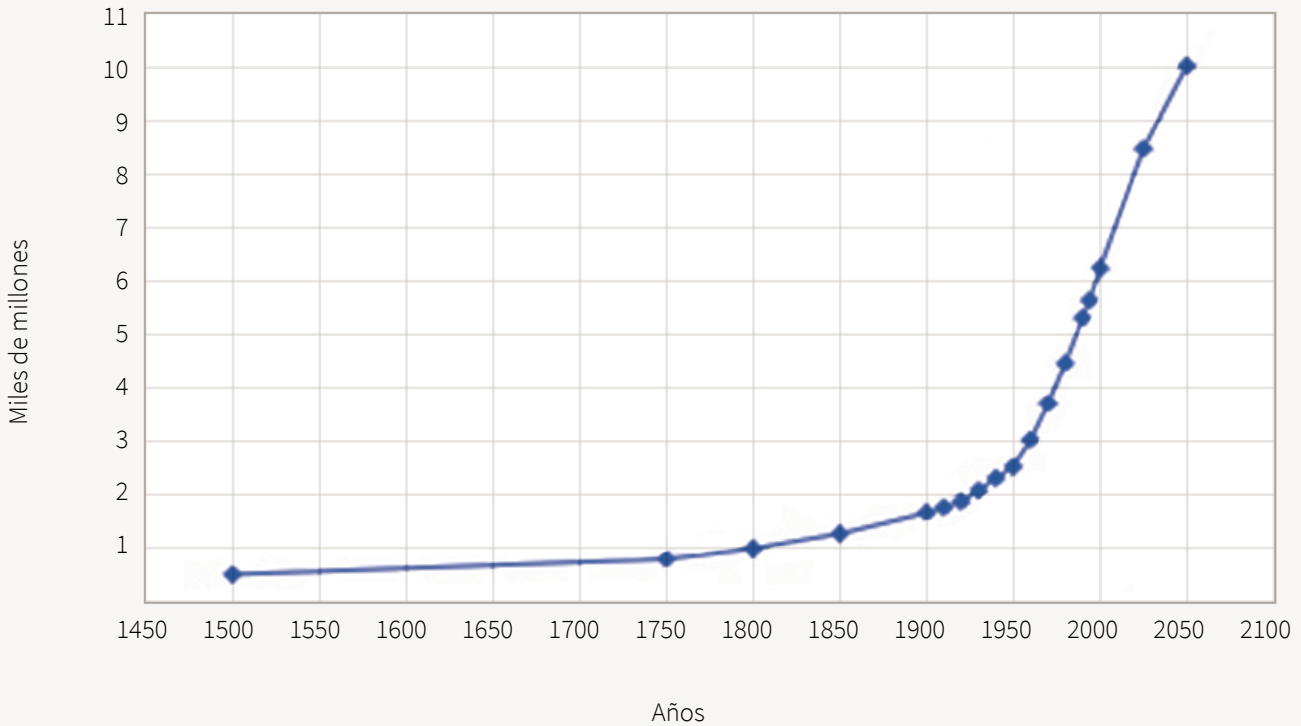
Fuente: Nature, Vol 399, 1999

El Antropoceno se caracteriza por la enorme expansión de la población mundial (Figura 3) y el uso de combustibles fósiles. Según (Steffen, 2007), la progresión del Antropoceno puede rastrearse utilizando la concentración del dióxido de carbono, que de un valor preindustrial de 270-275 ppm había aumentado a 310 ppm en 1950. Desde entonces la humanidad ha experimentado un desarrollo explosivo notable, la *Gran Aceleración*, periodo posterior a la Segunda Guerra Mundial, con consecuencias significativas para el funcionamiento del Sistema Tierra. La concentración del CO₂ atmosférico había aumentado desde 310 ppm en 1950 a 380 ppm en 2007. Según (Steffen, 2007), la Gran Aceleración está llegando a la criticidad, y lo que desarrolle en las próximas décadas será posiblemente un punto de inflexión en la evolución del Antropoceno.

11 Paul Jozef Crutzen, químico neerlandés, ganador del premio Nobel de Química en 1995 por sus investigaciones sobre la incidencia del ozono en la atmósfera.

La historia de la humanidad siempre estuvo muy ligada al clima, la variabilidad de la precipitación o de la temperatura, asociada a hambrunas por canículas o malas cosechas, enfermedades y elevadas tasas de mortalidad por olas de calor, falta de agua y contaminación, como así también tiempos de bonanza, progresos y buenas cosechas fueron en gran medida ocasionados por el clima (Le Roy Ladurie, 2017).

Figura 3. Evolución de la población mundial (1500 - 2050).



Fuentes: J.D. Durand (1974), United Nations (1966), United Nations (1973), United Nations (1992) y United Nations (1993).



“Las emisiones antropógenas de gases de efecto invernadero han aumentado desde la era preindustrial, en gran medida como resultado del crecimiento económico y demográfico, que actualmente son mayores que nunca. Como consecuencia, se han alcanzado unas concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso sin parangón en por lo menos los últimos 800.000 años. Los efectos de las emisiones, así como de otros factores antropógenos, se han detectado en todo el sistema climático y es sumamente probable que hayan sido la causa dominante del calentamiento observado a partir de la segunda mitad del siglo XX”.

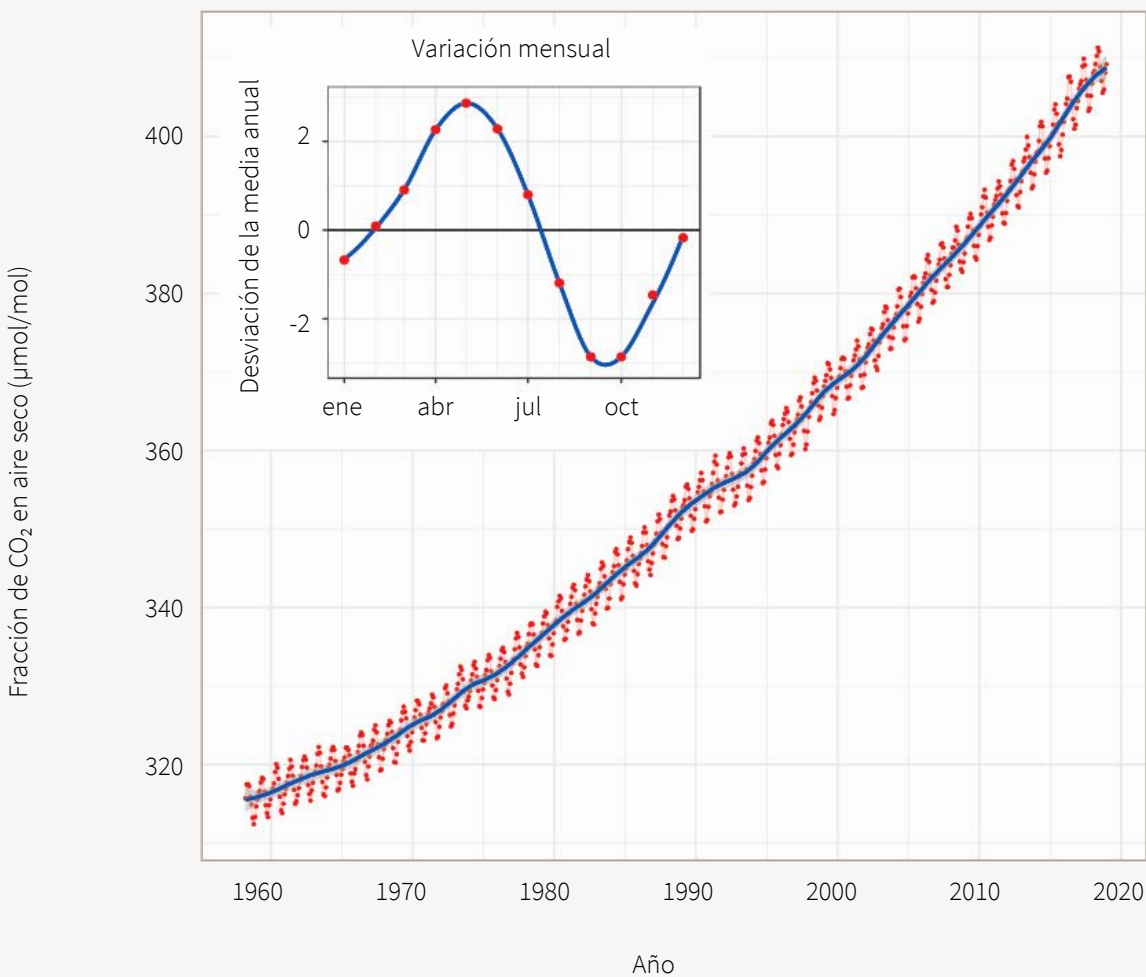
IPCC, 2014.

Estudios recientes muestran que, incluso, durante los últimos 800.000 años, el CO₂ atmosférico nunca superó las 300 ppm hasta que empieza la humanidad a emitir el CO₂ antrópico de forma significativa a partir de la era industrial 1850-1900, a partir de allí, se inicia un proceso acelerado de emisiones de origen antrópico, fundamentalmente por la quema de combustibles fósiles y no detiene su marcha hasta la actualidad¹².

Sin embargo, existen investigadores que adelantan en cinco mil años la influencia humana sobre el entorno terrestre, haciéndolo remontar a la época en que la agricultura empezó a generar el gas de efecto invernadero metano, y la deforestación hizo que quedara en la atmósfera más dióxido de carbono (Ruddiman, 2003).

En 1958, Charles David Keeling, del Instituto Scripps de Oceanografía, de California, empezó a hacer mediciones del CO₂ en la atmósfera por encima del volcán Mauna Loa, en las islas Hawai. Estas medidas diarias, que se vienen realizando hasta la actualidad, constituyen el registro instrumental más largo del mundo de las consecuencias directas de la quema de combustibles fósiles basados en el carbono. Estas mediciones muestran un incremento de la concentración de CO₂ de 315 ppm en 1958 hasta 415 ppm en 2019 (Figura 4)¹³. Un aumento del 30% en el transcurso de los últimos 60 años.

Figura 4. Variación de la concentración de CO₂ desde 1958 a 2018, en Mauna Loa, Hawai.



Fuente: Keeling, R. F., et al. Scripps CO₂ Program (<http://scrippsco2.ucsd.edu>).

12 NOAA Climate.gov, basada en los datos de EPICA Dome C (L-thi, D., et al., 2008).

13 Keeling, R. F. et al. Scripps Program. (<http://scrippsco2.ucsd.edu>, 2019).



El calentamiento del sistema climático es inequívoco, y desde la década de 1950, muchos de los cambios observados no han tenido precedentes en los últimos decenios a milenios. La atmósfera y el océano se han calentado, los volúmenes de nieve y hielo han disminuido y el nivel del mar ha aumentado.

IPCC, 2014.

Si en un futuro próximo no se toma ninguna medida eficaz para mitigar las emisiones de GEI, el CO₂ de la atmósfera alcanzaría hacia el año 2030 las 450 ppm, un nivel que, según la mayoría de los climatólogos, vendrá acompañado de unos cambios de nuestro clima cada vez más peligrosos (Pollack, 2010).

A mediados de enero de 2020, la Agencia Nacional de Administración Espacial (NASA, siglas en inglés) y la Administración Nacional de Océanos y Atmósfera (NOAA, siglas en inglés), agencias norteamericanas, adelantaban que la Tierra continuaba con su tendencia al calentamiento y confirmaban que el año 2019 fue el segundo año más caliente de la historia, en 140 años de récords de datos climáticos, superado apenas por el año 2016. Científicos del Servicio Meteorológico del Reino Unido indicaban al año 2019 como uno de los tres años más calientes, basados en sus distintas bases de datos.

En la Declaración de la OMM sobre el estado del clima mundial en 2019¹⁴, esta agencia internacional señala, que según un análisis consolidado de los principales conjuntos de datos internacionales, calculada como una media a partir de estos datos, realizados por la organización, confirmaba que globalmente, el año 2019 fue el segundo año más cálido del que se tienen datos desde el año 1850, solo superado por el año 2016, la temperatura anual mundial del año 2019 tuvo un valor de 1,1 °C por encima de la media del período 1850-1900, intervalo que se considera representativo de las condiciones preindustriales (Figura 5). El año 2016 sigue siendo el más cálido del que se tienen datos como consecuencia de la combinación de un episodio de El Niño de gran intensidad, que ejerce un efecto de calentamiento, y el cambio climático a largo plazo.

Según lo publicado por la OMM, las temperaturas medias de los últimos períodos quinquenal (2015-2019) y decenal (2010-2019) fueron las más elevadas de las que se tiene constancia. Asimismo, se prevé que esta tendencia continuará a causa de los niveles sin precedentes de gases de efecto invernadero, que atrapan el calor en la atmósfera y que continúan aumentando, sin que se muestren signos de debilitamiento.

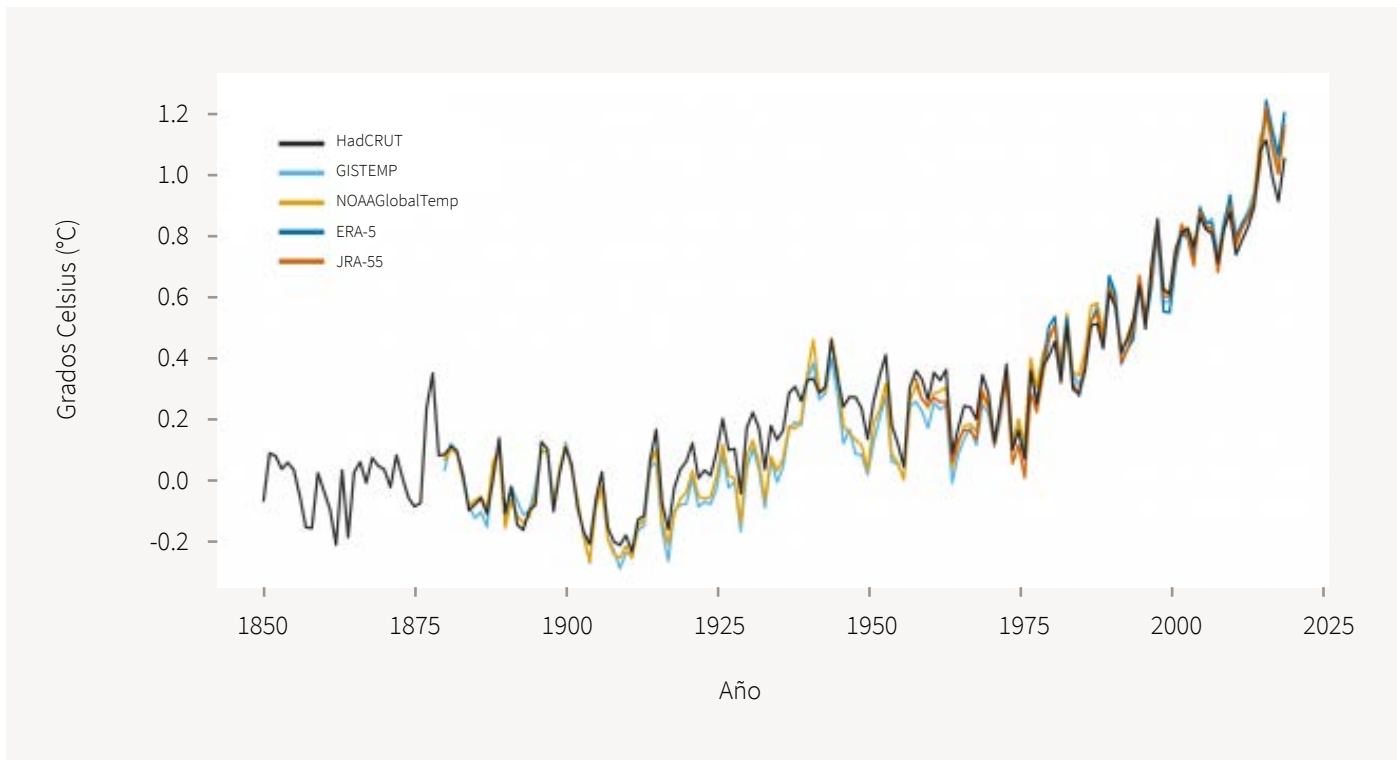
14 Organización Meteorológica Mundial (OMM-N° 1248).

Continuando con lo expresado por la OMM, las concentraciones atmosféricas mundiales de gases de efecto invernadero alcanzaron niveles récords en 2018, con un alcance de $407,8 \pm 0,1$ partes por millón, el 147% de los niveles preindustriales. Las mediciones de sitios individuales indican que las concentraciones de CO_2 continuaron aumentando en 2019. El metano (CH_4) y el óxido nitroso (NO_2), ambos gases de efecto invernadero importantes, también alcanzaron niveles récords en 2018.

Los gases de efecto invernadero (GEI) emitidos por el hombre han provocado un calentamiento a largo plazo e inequívoco del planeta (IPCC, 2019). Más del 90% del exceso de calor se almacena en los océanos del mundo, donde se acumula y provoca aumentos en la temperatura del océano (Rhein, 2013; Abram, 2019), este calentamiento oceánico continuó alcanzando niveles sin precedentes durante el año 2019 (Cheng, 2020).

Estos indicadores fundamentales del cambio climático se están haciendo más pronunciados. Así, los niveles de dióxido de carbono, que eran de 357,0 partes por millón (ppm) en el año 1994, cuando se publicó por primera vez la Declaración del estado del clima mundial, siguieron aumentando, habiendo alcanzado 415,4 ppm en mayo del año 2019. Se prevé que las concentraciones de gases de efecto invernadero aumenten todavía más¹⁶. En la senda actual de las emisiones de dióxido de carbono, nos dirigimos hacia un aumento de la temperatura de la Tierra, de 3 °C a 5 °C, para finales de este siglo (IPCC, 2013).

Figura 5. Anomalía de la temperatura media mundial o global, con respecto al período de referencia de 1850-1900 para los cinco conjuntos de datos mundiales.



Fuente: Centro Hadley, Met Office, UK¹⁵.

15 Oficina Meteorológica del Reino Unido.

16 OMM, public.wmo.int

ESTADO DEL CLIMA PARAGUAY 2019





Amanecer en Laguna Capitán, Chaco Paraguayo.
Fotografía: Tetsu Espósito (yluux.com)

Características climáticas

El Paraguay está ubicado en América del Sur, entre los paralelos de 19,28° y 27,55° de latitud sur y entre los meridianos de 54,33° y 62,63° de longitud oeste, posee un clima subtropical, con zonas secas al occidente y zonas húmedas al oriente, la temperatura anual media es de 23 °C y la precipitación total anual media es de 1500 mm¹⁷.

Geográficamente se encuentra bloqueado por la cordillera de los Andes ante el avance de los vientos del océano Pacífico; estos vientos con componente fundamental¹⁸ del suroeste en capas bajas son obligados a ascender la cordillera de los Andes y ocasionan precipitaciones a barlovento de la cordillera andina, las corrientes a sotavento de la cordillera llegan al Paraguay como aire frío y seco.

El océano Atlántico ejerce gran influencia en el clima del Paraguay, el Anticiclón Subtropical del Atlántico Sur (ASAS) cargado de humedad en capas bajas transporta masa de aire desde latitudes tropicales hasta el centro de Sudamérica, esta corriente de aire, con viento noreste, es el responsable del transporte de calor y humedad sobre el país, aunque la humedad va reduciéndose hacia el oeste en la medida que el recorrido del viento alcanza el gran Chaco.

Otros sistemas de presión son fundamentales, como los frentes fríos, especialmente en otoño e invierno, estos acercan al país los anticiclones fríos de origen polar, que inyectan aire frío, ocasionando en ocasiones heladas¹⁹, especialmente en invierno. Los frentes fríos también en su avance, desencadenan la inestabilidad del aire subtropical caliente y húmedo que encuentra por delante, generando sistemas convectivos que producen precipitaciones intensas. Otros sistemas importantes son los ciclones subtropicales que generan convección del aire y precipitación abundante, especialmente en primavera.

17 Datos del período climatológico normal 1971-2000

18 Dirección dominante del viento

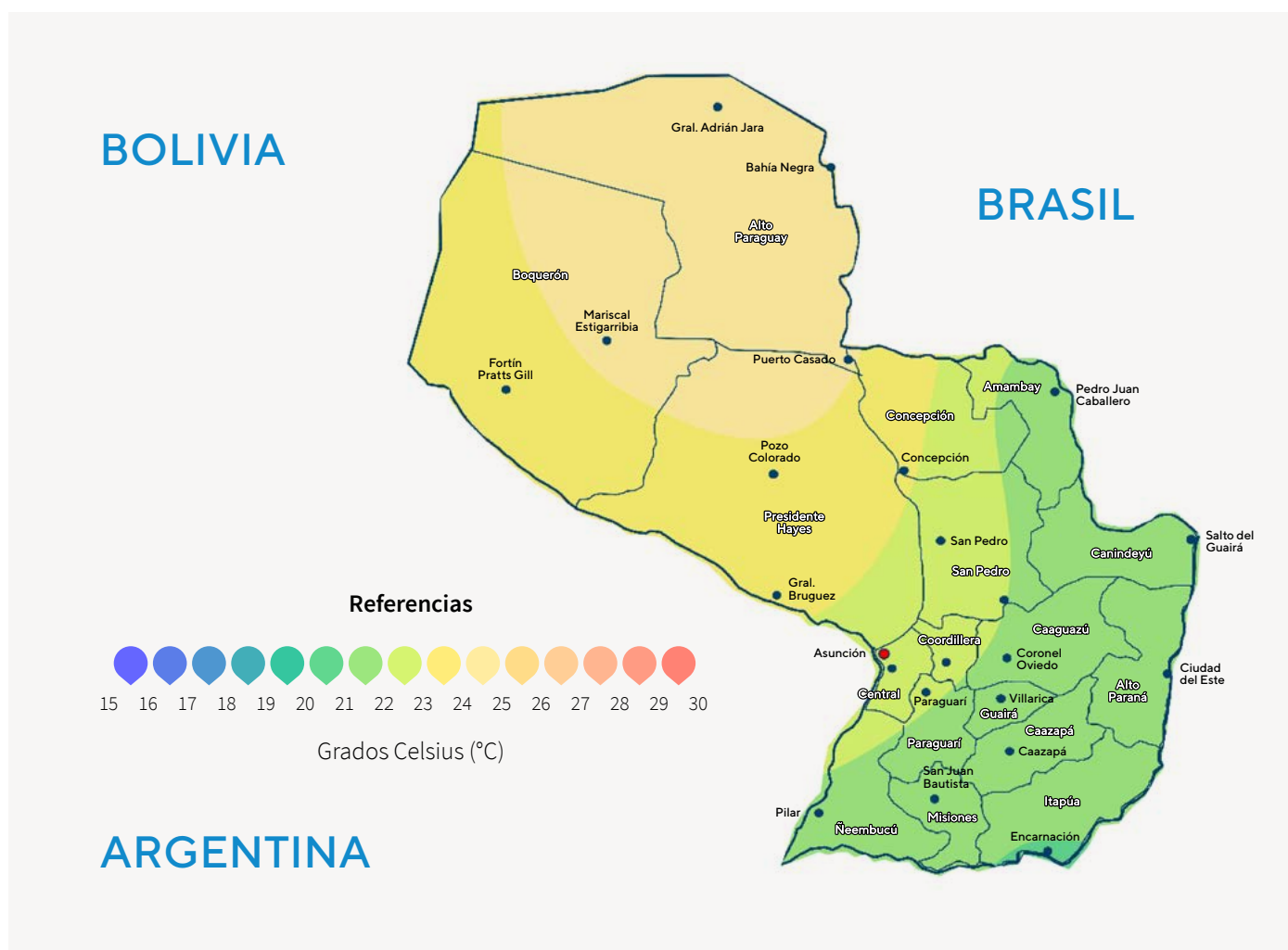
19 Temperatura del aire en casilla meteorológica igual o menor a 0 °C.

La temperatura

El Sol en su recorrido en el zenit, llega a posicionarse sobre el norte del Paraguay durante el solsticio de verano del Hemisferio Sur (trópico de Capricornio); en esta época del año, la cantidad de radiación solar incidente en el país es alta, la insolación del verano²⁰ llega a 8 horas por día en promedio. Cuando el Sol llega al solsticio de invierno del Hemisferio Sur (trópico de Cáncer), la radiación solar incidente es mínima, llegando la insolación del invierno²¹ a unas 5 horas por día en promedio. Esta diferencia, de 60% aproximadamente, en la cantidad de insolación entre invierno y verano, es la causa fundamental de la diferencia de temperatura del invierno y del verano; además el factor dinámico, de una mayor frecuencia de viento sur (frío) en invierno, y de viento noreste (cálido) en verano, hace que la temperatura media del verano (28 °C) sea aproximadamente 10 °C mayor que la temperatura media del invierno (18 °C).

Paraguay tiene un régimen de temperatura que varía, desde un ambiente muy caliente en el noroeste del Chaco, con una temperatura media superior a los 24 °C en zona limítrofe con Bolivia, hasta un ambiente templado, en el sureste de la Región Oriental, con una temperatura media inferior a 22 °C en zona limítrofe con Argentina (Grassi, 2004), según datos del período climatológico normal 1971-2000 (Figura 6).

Figura 6. **Temperatura anual media (°C) en Paraguay, período 1971-2000.** La paleta de colores (abajo) indica el rango de temperatura en grado Celsius (°C).



Fuente: FPUNA

20 Diciembre, enero y febrero.

21 Junio, julio y agosto.

La precipitación

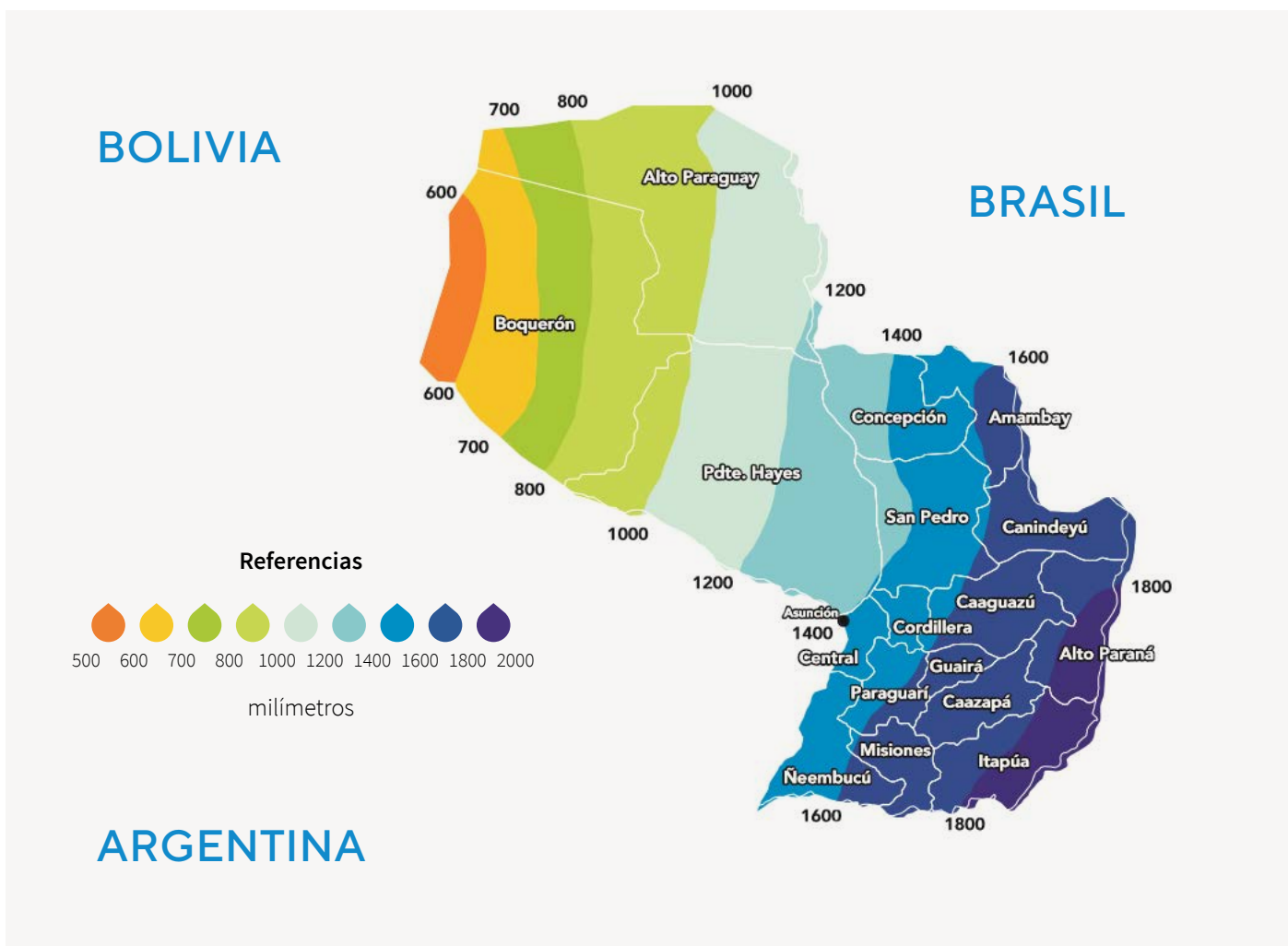
La precipitación total anual del Paraguay varía desde los escasos 600 mm del semiárido extremo occidental chaqueño, límite tripartito entre la Argentina y Bolivia, hasta los 1.800 mm o algo más en la parte subtropical húmeda del sureste de la Región Oriental, límite con la Argentina y Brasil (Grassi, 2005), según datos del período climatológico normal 1971-2000 (Figura 7).

En la Región Oriental, la época lluviosa se inicia a mediados de la primavera, entre octubre y noviembre y se prolonga durante los meses del verano hasta mediados del otoño, también es la época del año con mayor cantidad de tormentas. La época menos lluviosa es el invierno, sin embargo, en el sureste el descenso en la precipitación no logra establecer un clima seco y se mantiene húmedo (subtropical húmedo), por el contrario, en el norte de la Región Oriental el descenso de la precipitación invernal es marcada y logra conformar un clima seco en esa estación del año (subhúmedo).



La precipitación total anual del Paraguay varía desde los escasos 600 mm del semiárido extremo occidental chaqueño, hasta los 1.800 mm o algo más en la parte subtropical húmeda del sureste de la Región Oriental.

Figura 7. Precipitación media anual en el Paraguay, período 1971-2000. La paleta de colores (abajo) indica el rango de la precipitación en milímetro (mm).



Fuente: FPUNA

En la Región Occidental o Chaco, la precipitación total anual depende fundamentalmente de las lluvias del verano, que normalmente es lluvioso (más del 40 % de la precipitación total anual se produce entre diciembre y febrero), por el contrario el invierno es seco (menos del 10% de la precipitación anual se produce entre junio y agosto). En las estaciones de transición, durante la primavera las precipitaciones van aumentando en la medida en que avanza la estación, y durante el otoño van disminuyendo en la medida en que avanza la estación. Especialmente, las precipitaciones del Chaco disminuyen de este (río Paraguay) a oeste (triple frontera), siendo esta última la zona más seca del país.

Cambios recientes del clima en Paraguay

El Paraguay, como país mediterráneo y de bajo relieve topográfico, tiene un territorio que escapa de alguno de los efectos del cambio climático; como son la reducción de los hielos marinos, el derretimiento de los glaciares y el aumento del nivel del mar, al menos en forma directa, pero está afectado directamente por fenómenos meteorológicos como el aumento de la temperatura global, el cambio en el patrón de las precipitaciones y la alteración de la frecuencia e intensidad de los eventos meteorológicos extremos, y de fenómenos climáticos como las inundaciones, las sequías, las olas de calor e incendios forestales (Figura 8).

Figura 8



- A. Tormenta severa con vientos de hasta 140 km/h en la ciudad de Mariano Roque Alonso, Central (2012)²².
- B. Inundación de Filadelfia, Chaco Central, Boquerón (2016)²³.
- C. Sequía en Concepción, Concepción (2013)²⁴.
- D. Ola de calor en Asunción, Capital (2019)²⁵.

22 Fuente: <https://www.abc.com.py/nacionales/un-muerto-en-roque-alonso-452476.html>
 23 Fuente: <https://www.abc.com.py/nacionales/filadelfia-inundada-ante-inesperada-lluvia-1444375.html>
 24 Fuente: <http://m.paraguay.com/nacionales/azota-la-sequia-a-concepcion-91755>
 25 Fuente: <https://www.abc.com.py/nacionales/enero-se-fue-con-record-en-calor-1783169.html>



El Paraguay está afectado por fenómenos meteorológicos como el aumento de la temperatura global, el cambio en el patrón de las precipitaciones y la alteración de la frecuencia e intensidad de los eventos meteorológicos extremos, y de fenómenos climáticos como las inundaciones, las sequías, las olas de calor e incendios forestales.

El aumento de la temperatura, las olas de calor, las sequías y los incendios forestales en el país, como así también la alteración de otros fenómenos meteorológicos extremos, están en concordancia con las noticias de base científica que llegan desde otros países y de organismos internacionales autorizados en el tema como la OMM, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, siglas en inglés).

Varios estudios e investigaciones sobre diversos aspectos del clima del Paraguay se han abordado en los últimos tiempos, especialmente sobre temas como temperaturas, precipitaciones, sequías, tormentas severas, inundaciones y otros. Este estudio recoge esas experiencias, y analizando series temporales de temperatura y precipitación disponibles en el Paraguay, intenta identificar los cambios que pudieran estar ocurriendo en el clima del Paraguay. Este conocimiento científico es fundamental por la necesidad de desarrollar acciones y diseñar políticas de adaptación y mitigación adecuadas a la realidad del avance del cambio climático local, regional y global.

Este documento ofrece en forma de resúmenes, datos concretos, cuadros y gráficos con información cuantitativa, un panorama de cómo ha evolucionado el clima del Paraguay desde que se tienen registros meteorológicos, con un análisis y enfoque lo más riguroso posible desde el punto de vista científico.



Peatones se refugian del intenso sol.
Fotografía: Juan Carlos Meza (@fotociclo)



Tormenta entrando a la capital del país.
Fotografía: Juan Carlos Meza (@fotociclo)

2.1 DATOS



Actualmente, la Dirección de Meteorología e Hidrología administra una red de 25 estaciones meteorológicas sinópticas cubriendo toda la geografía paraguaya.

La evaluación del cambio climático requiere de indicadores que puedan dar seguimiento a su estado, en este sentido se denominan indicadores climáticos a una serie de elementos de la biosfera que pueden estar dando señales de estos cambios.

Entre los indicadores climáticos se encuentran aquellos indicadores atmosféricos de la superficie terrestre como la temperatura superficial y la precipitación; la concentración de CO₂ y otros GEI son indicadores de la composición atmosférica; el nivel del mar, el contenido de calor en el océano y la acidificación de los océanos son tres indicadores para el seguimiento del estado del océano; el hielo marino en el Ártico y en la Antártida son particularmente relevantes en las regiones polares, al igual que el equilibrio de masas de los glaciares en las zonas polares y de alta montaña (Williams, 2017).

La ocurrencia de eventos de alto impacto o “eventos extremos”, definidos como aquellos eventos hidrometeorológicos o hidroclimáticos de cuya ocurrencia podrían derivarse impactos altos en pérdidas y daños, son también indicadores de cambio climático; estos eventos extremos están involucrados en la mayoría de los desastres naturales que ocurren en todo el mundo.

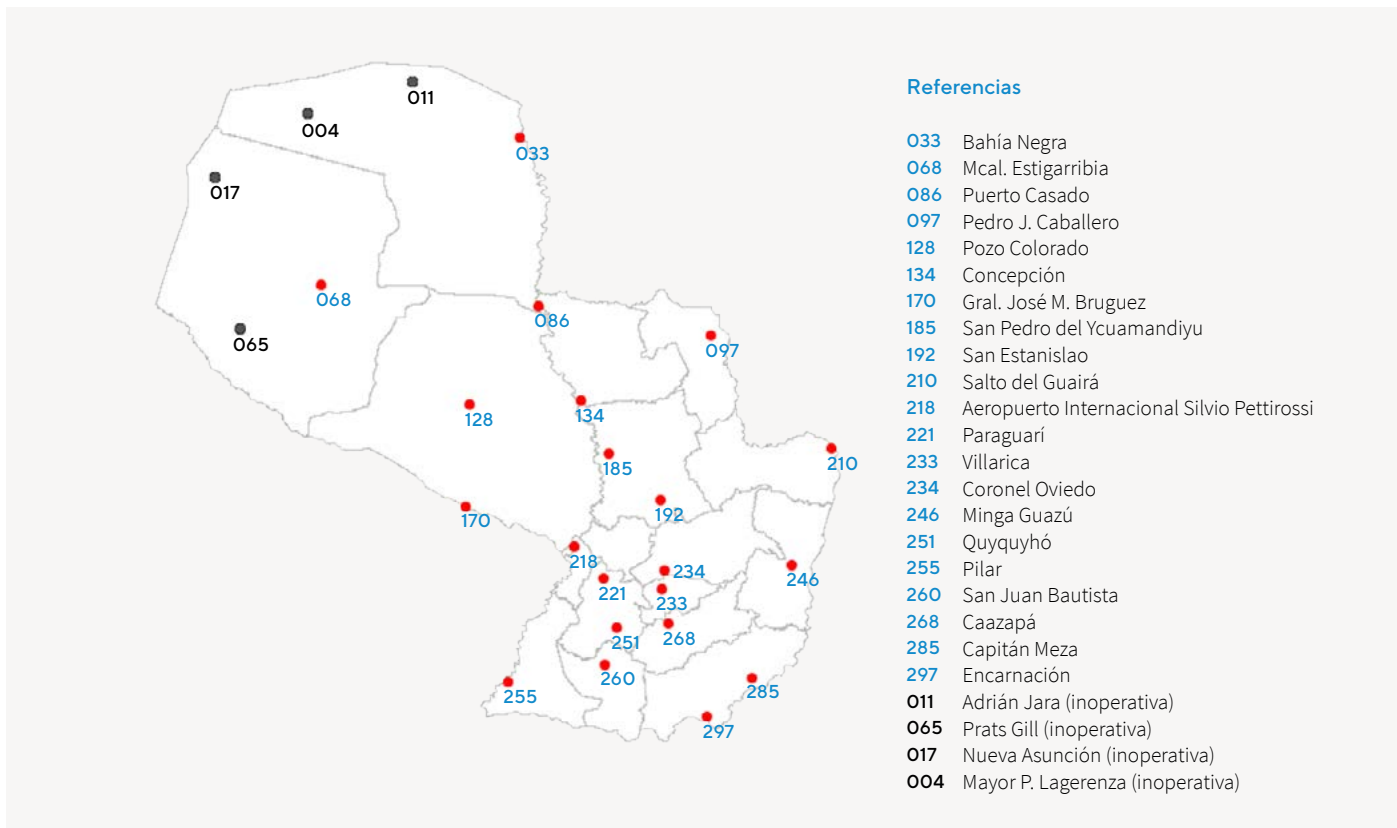
Además de estos indicadores climáticos, existen otros como pueden ser los indicadores relacionados a variables socioeconómicas determinadas, por ejemplo, la aparición y la propagación de ciertas enfermedades como el dengue, que dependen de la temperatura, la precipitación y la humedad²⁶.

En este estudio se ha optado por analizar el comportamiento de indicadores atmosféricos de superficie, temperatura y precipitación, debido a que existen suficientes datos de estaciones meteorológicas que operan en el país desde hace 60 años, y más en algunos casos, los datos de estaciones meteorológicas con series más cortas, han sido utilizados de apoyo, para comparaciones, y con fines de análisis de homogeneidad.

En el Paraguay las observaciones meteorológicas oficiales, en sus orígenes, fueron responsabilidad de la Dirección de Meteorología, dependiente del antiguo Ministerio de Guerra y Marina, posteriormente del Ministerio de Defensa Nacional y actualmente la responsabilidad recae en la Dirección de Meteorología e Hidrología (DMH) dependiente de la DINAC.

26 Boletín N° 7/2019 de Alerta Epidemiológica. Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social (MSPyBS).

Figura 9. Red de estaciones meteorológicas de la DINAC. El punto rojo indica la posición de una estación en operación (punto negro no está en operación) y el número indica el código de la estación meteorológica.



Fuente: DINAC

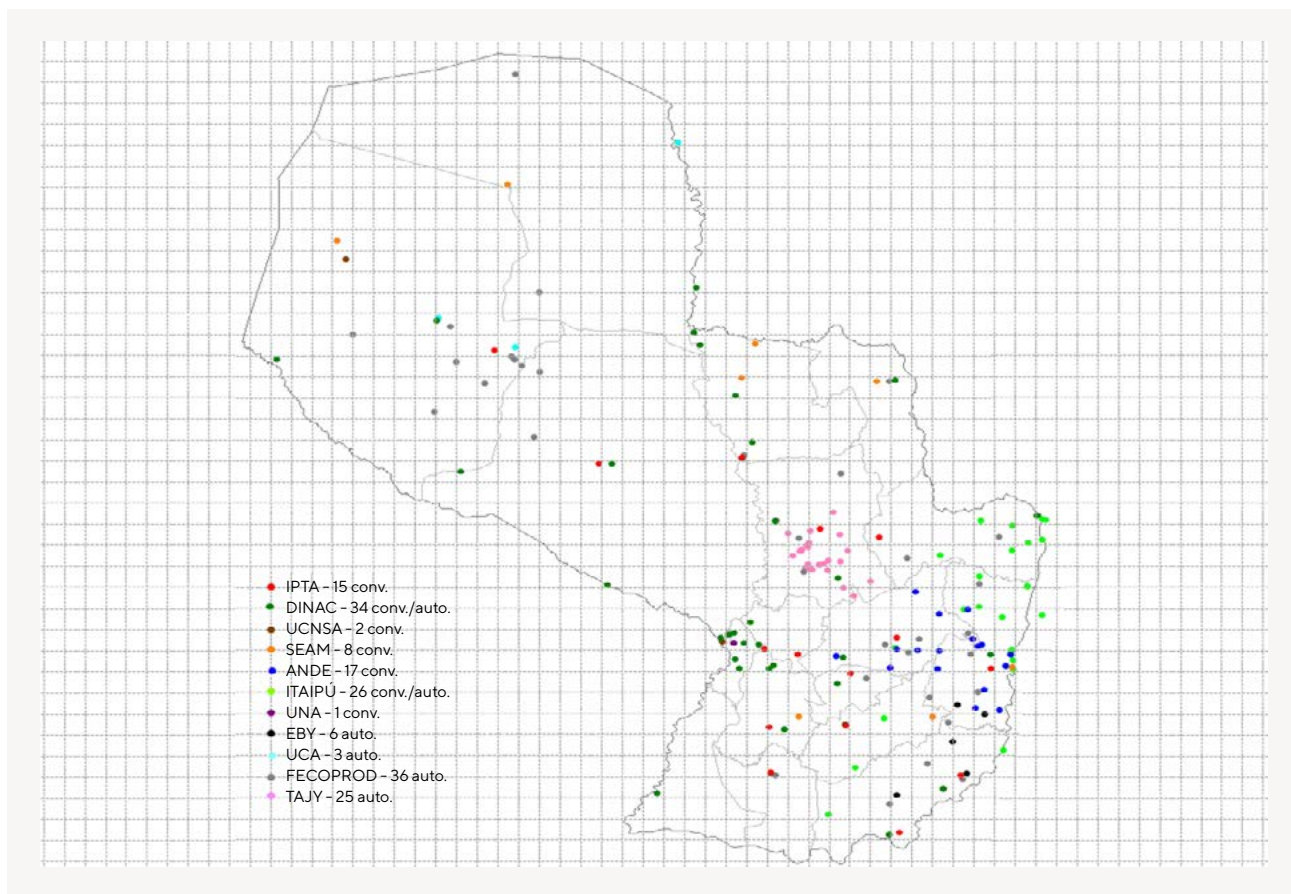
Actualmente, la DMH administra una red de 25 estaciones meteorológicas sinópticas²⁷ cubriendo toda la geografía paraguaya (Figura 9). Estas observaciones meteorológicas se realizan en concordancia con reglamentos normativos internacionales regidos por la OMM.

Además de la red de estaciones meteorológicas de la DINAC, existen otras redes de observaciones meteorológicas que son operadas por otras instituciones del Estado paraguayo, que procuran datos meteorológicos para sus fines específicos, como por ejemplo, el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) con fines agrícolas, la Administración Nacional de Electricidad (ANDE) con fines hidroeléctricos, también organismos binacionales, como la ITAIPÚ Binacional (IB) que operan una red de estaciones climáticas e hidrológicas, además, el sector privado también ha realizado últimamente inversiones importantes en redes de observación meteorológica, como es el caso de la Federación de Cooperativas de la Producción (FECOPROD) con el fin de apoyar la producción agropecuaria de sus asociados.

Los datos meteorológicos utilizados fueron fundamentalmente de la DINAC, y algunos pocos del MAG y la IB; la principal razón de no utilizar toda la información existente en el país es la dificultad para acceder a la información, en general los datos climatológicos no están publicados. En este aspecto, también cabe señalar la falta de información acerca de los datos mismos (metadatos), los métodos de observación y el procesamiento al que son sometidos los datos (cálculos de medias, correcciones, rellenos, etc.). Este punto es un desafío a futuro, dado que sería importante contar con la mayor cantidad posible de datos climáticos, y que sean de la mejor calidad posible, esto ayudaría a describir mejor nuestro clima, y fundamentalmente, identificar los cambios que están ocurriendo.

27 Estaciones meteorológicas para la vigilancia meteorológica.

Figura 10. Red de pluviómetros actuales en el Paraguay (puntos)²⁸.
Puntos de igual color indican pluviómetros que pertenecen a una misma entidad²⁹.



Fuente: DINAC

Respecto a la información pluviométrica, desde la década del año 1930 existen datos de precipitación en el país, cuando se conformó la primera red oficial de estaciones meteorológicas; sin embargo, no fue sino hasta 1950, cuando se dispuso de una red de estaciones pluviométricas con una mayor cobertura territorial del país. Actualmente, se contabilizan aproximadamente 170 pluviómetros, operados por varias instituciones (Figura 10), esta cantidad arroja una densidad de 1 pluviómetro por cada 2.400 km² de territorio; esta densidad está por debajo del mínimo recomendado técnicamente por la OMM³⁰, según esta, se requiere de 1 pluviómetro por cada 575 km², para caracterizar adecuadamente la precipitación.

Este déficit pluviométrico se ve también afectado negativamente por la distribución no homogénea de los mismos, la densidad pluviométrica en algunas zonas es satisfactoria, mientras que otras zonas es deficiente, así, la zona central y alrededores de la capital, parte central del departamento de San Pedro y en el este del país, parecería estar bien cubierto si atendemos la malla de la Figura 10, con un área de 575 km², sin embargo se observa que grandes áreas de los departamentos de Ñeembucú, Misiones, Amambay y Concepción en la Región Oriental, así como gran parte del Chaco Paraguayo tienen vacíos significativos de información pluviométrica.

Existen entidades gremiales, como la Asociación Rural del Paraguay (ARP), cuyos asociados, en importante mayoría, realizan observaciones pluviométricas en sus estancias. Estos datos podrían ser de gran valor para integrarlos a un sistema nacional amplificado de observaciones pluviométricas.

28 Cada reticulado individual de la malla mide 575 km²

29 Fuente: Secretaría de Emergencia Nacional, 2017. Diseño de un Sistema Nacional de Alerta Temprana en Paraguay.

30 Manual de Prácticas Hidrológicas (OMM N° 168)

Respecto a las observaciones hidrológicas, son varios los organismos que generan datos hidrológicos, como la Administración Nacional de Navegación y Puertos (ANNP), la Armada Paraguaya (AP), la Administración Nacional de Electricidad (ANDE), organismos binacionales como la ITAIPÚ Binacional (IB) y la Entidad Binacional YACYRETÁ (EBY), y recientemente la misma DINAC.

A pesar de existir varios organismos que realizan observaciones meteorológicas e hidrológicas, no se ha podido conformar un banco de datos meteorológicos y climáticos unificado a nivel nacional, que gestione toda la información existente. Esto facilitaría la realización de estudios e investigaciones.

Datos de temperatura y precipitación

Para el análisis de estos elementos climáticos se recurrió a la DINAC, institución que es la autoridad meteorológica nacional, responsable en la prestación de servicios meteorológicos oficiales, incluida la operación de la red meteorológica nacional. Posee un banco nacional de datos climáticos con series de datos suficientemente largas para estudios del clima (Anexo 1). Atendiendo esta lista de 25 estaciones meteorológicas, y al récord de datos³¹ que se dispone de cada estación meteorológica, se estima que se procesaron aproximadamente 1.300 años de datos³² totalizando cerca de 100.000 datos mensuales.

Luego de inspeccionar los datos de las estaciones meteorológicas (Anexo 1) fueron seleccionadas aquellas que cumplieran con ciertos requisitos para este estudio. Los criterios de selección fueron los siguientes:

1. Estaciones meteorológicas que operan con métodos normalizados en sus sistemas de observación meteorológica³³.
2. Estaciones meteorológicas con series de datos de temperaturas y precipitación, en forma ininterrumpida en el período 1960-2019.
3. En caso de interrupciones en la serie de datos, que esta sea menor al 10% del total de datos del período mencionado.
4. Evitar estaciones meteorológicas cercanas, distancias menores a 50 km, a fin de evitar que el peso regional del promedio se vea reflejado en el promedio general, tal es el caso de las estaciones meteorológicas de Caazapá y Coronel Oviedo respecto de la estación de referencia Villarrica; las estaciones meteorológicas de Cap. Meza y Cap. Miranda respecto de la estación meteorológica de referencia Encarnación; la estación meteorológica de Caacupé respecto a la estación meteorológica de referencia Asunción. De todas formas, los datos de estas estaciones meteorológicas cercanas fueron utilizados de apoyo para el control de calidad de los datos y el análisis estadístico.

Con estos criterios, de las 25 estaciones meteorológicas de la red básica de la DINAC, se seleccionaron 11 estaciones meteorológicas de referencia; estas representan a 11 de los 17 departamentos que tiene el Paraguay ([Figura 11](#)).

31 Longitud de la serie de datos

32 Sumatoria total de años de datos utilizados, de las estaciones meteorológicas de la DINAC (Anexo 1)

33 OMM-N° 544

Dentro de este grupo de estaciones meteorológicas de referencia existen algunas estaciones con 80 años de datos o más inclusive, los datos de estas estaciones meteorológicas son fundamentales para estudios de cambio climático (Cuadro 1).

Los datos climatológicos procesados fueron la temperatura y la precipitación, estos elementos climáticos facilitaron los parámetros que fueron los indicadores de cambio climático en este estudio (Cuadro 2).

Figura 11. Red de estaciones meteorológicas de referencia para este estudio.



Fuente: DINAC. Elaboración propia.

Cuadro 1. Estaciones meteorológicas de referencia de la DINAC cuyos datos fueron utilizados para los cálculos de parámetros de temperatura y precipitación.

Nº	Estación Meteorológica	Departamento	Periodo	Años
1	Mariscal Estigarribia	Boquerón	1940-2019	80
2	Puerto Casado	Alto Paraguay	1936-2019	84
3	Concepción	Concepción	1936-2019	84
4	Pedro J. Caballero	Amambay	1959-2019	61
5	Salto del Guairá	Canindeyú	1975-2019	45
6	Aeropuerto Silvio Pettirossi	Central	1950-2019	70
7	Villarrica	Guairá	1945-2019	85
8	Ciudad del Este/Aeropuerto Guaraní	Alto Paraná	1965-2019	55
9	San Juan Bautista	Misiones	1956-2019	64
10	Encarnación	Itapúa	1938-2019	82
11	Pilar	Ñeembucú	1938-2019	82



Tormenta sobre Asunción. Marzo 2020.
Fotografía: Juan Carlos Meza (@fotociclo)

Datos de eventos extremos

Para el análisis de crecidas y estiajes del río Paraguay fueron utilizados los datos hidrométricos diarios de la estación de Asunción, facilitados por la ANNP y la AP. El periodo fue 1904-2019, casi 120 años de datos. También fueron utilizados los datos hidrométricos diarios del Puerto de Concepción.

Para el caso de los análisis de olas de calor, este estudio se basó en los datos de un trabajo que analiza las temperaturas máximas y mínimas, de 25 estaciones meteorológicas de la DINAC del periodo 1980-2019 (Jara, 2020)³⁴, mientras que los datos sobre sequías fueron obtenidos de un estudio que analiza el fenómeno climático a nivel nacional, también con datos de la DINAC del periodo 1961-2019 (Benítez, 2018).

Cuadro 2. **Elementos climáticos y parámetros procesados.**

Nº	Elemento climático	Parámetro
1	Temperatura del aire (°C)	Media diaria
		Máxima diaria
		Mínima diaria
2	Precipitación (mm)	Total mensual
		Máxima diaria

34 "Olas de calor en Paraguay", Trabajo de Grado, Facultad Politécnica, UNA. 2020 (en progreso).

2.2 MÉTODOS

Los datos de las 11 estaciones meteorológicas de referencia para este estudio, mencionadas más arriba, se consideran representativas de territorio nacional; si bien no se encuentran homogéneamente distribuidas, tiene una cobertura nacional. La Región Occidental o Chaco es la región menos representada, sin embargo, tiene 2 de las estaciones meteorológicas con series de datos más largas.

Control de calidad de los datos

Los datos climatológicos de temperatura media mensual y precipitación total mensual fueron proveídos por la DINAC, estos datos tienen un control de calidad primario, ya que, en su origen, son utilizados diariamente en los mensajes meteorológicos SINOP³⁵ que son de intercambio internacional para el Sistema de la Vigilancia Mundial de la OMM. También son utilizados en mensajes climatológicos CLIMAT³⁶ que son de intercambio internacional mensual para el Programa de la Vigilancia del Clima.

De todas formas, en este estudio, los datos mensuales pasaron por un proceso estadístico de control de calidad, verificación de la media, desviación estándar y coeficiente de variación.

También fue analizada la presencia de outliers o puntos aberrantes; en estos casos se hace un análisis comparativo con datos de estaciones meteorológicas cercanas en base a campos de isotermas (líneas de igual valor de temperatura) e isoyetas (líneas de igual valor de lluvia).

Se procedió a rellenar series en casos de datos faltantes, utilizando la metodología adecuada para cada caso, por ejemplo;

- Por método de trazado de isotermas (temperatura) e isoyetas (lluvia)
- Con datos del promedio de largo plazo
- Correlación lineal entre estaciones cercanas

En Paraguay las estaciones meteorológicas sinópticas realizan 8 observaciones por día, 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 y 21 UTC, sin embargo, las observaciones de la madrugada 03 y 06 UTC son realizadas por un reducido número de estaciones por

35 Mensaje meteorológico proveniente de una estación sinóptica.

36 Mensaje síntesis de datos climatológicos del mes.

cuestiones operativas. La temperatura media, y la media de otros elementos, son calculadas utilizando los horarios con mayor frecuencia de observaciones, y que a su vez sea representativa de las 24 horas del día.

Desde el inicio de la operación de las estaciones meteorológicas, en la década de 1940, hasta el año 1970 se utilizaban los datos meteorológicos de 3 horarios de observación fijos (12, 18 y 00 UTC) para el cálculo de los distintos parámetros de elementos climáticos. A partir del año 1971, sin embargo, se decidió incluir un horario más en el cálculo, el valor de la observación de las 09 UTC, de esta manera quedaba formalizado que la media de los elementos climáticos se basaba en un promedio aritmético de 4 horas de observación fijos (09, 12, 18 y 00 UTC). Los resultados de cálculos de estos procedimientos diferentes no fueron ajustados, en consecuencia, las series temporales de parámetros de elementos climáticos, como la media, presentan esta inhomogeneidad.

En un estudio anterior (Grassi, 2004) ya se advirtió que los datos climáticos de la temperatura mensual media disponibles en la base de datos de la DINAC necesitaban un proceso de corrección debido a la naturaleza del cálculo de este elemento climático, el problema tiene su origen, como ya se mencionó, en los cambios en los horarios de observación meteorológica a través de los años sin que esto se haya tenido en cuenta en la metodología de cálculo de la temperatura media diaria.

Respecto a la temperatura media diaria, se dispuso de dos parámetros de la misma, una con base en las temperaturas extremas (máximas y mínimas) y la otra, con base en datos horarios de temperatura (3 hasta el año 1970 y 4 a partir del año 1971). Ambas series de temperatura fueron analizadas, la primera dio resultados más homogéneos que la segunda, por consiguiente, en este estudio, se considera a la temperatura media diaria al promedio aritmético de los valores de la temperatura máxima y mínima del día. La OMM recomienda el uso de temperaturas máximas y mínimas para el cálculo de la temperatura media diaria (OMM, 2018).

Cabe mencionar que los promedios, de temperatura y precipitación, se realizaron sobre los datos de las 11 estaciones meteorológicas mencionadas, como un promedio aritmético. De las 11 estaciones meteorológicas, 2 estaciones se encuentran en el Chaco y 9 estaciones en la Región Oriental; esta distribución de datos le da más peso a la Región Oriental, en consecuencia, los resultados deben considerar este sesgo. No obstante, este sesgo no le quita validez alguna al resultado, ya que la tendencia que se quiere demostrar no es influenciada por la densidad de estaciones, como quizás sí, el valor absoluto de la temperatura media calculada.

La menor cantidad de datos climáticos en el Chaco, con series continuas, se debe a varios factores, tales como: menor cantidad de estaciones meteorológicas, mayor dificultad para la operación de estaciones meteorológicas, entre otras.

En lo referente a la precipitación también se hicieron los controles necesarios, rellenos de series de datos mensuales o anuales cuando el caso ameritaba, curvas de doble masa para control de calidad y relleno de series. En este estudio, se utiliza el período de 70 años de datos (1950-2019) para sacar conclusiones sobre la precipitación en el Paraguay.

Los datos climáticos fueron procesados en planillas electrónicas con apoyo del paquete estadístico XLSTAT, para el análisis de tendencias de las series temporales se utilizó la prueba de Mann-Kendall.

También se utilizaron datos hidrométricos para algunos casos de impactos del clima en el 2019, también estos pasaron por un proceso de control de calidad y relleno de series.

Metadatos y homogeneización

Las estaciones meteorológicas en su vida de funcionamiento pasan por varias transformaciones como mudanzas o cambios de sitio de la estación, cambios en los instrumentales y su exposición, cambios en la forma de cálculos o correcciones de datos, asentamiento de datos, cambios físicos y biológicos del entorno, cambios del personal observador, etc. Todas estas acciones conforman el historial de la estación meteorológica y su dato (Aguilar, 2003).

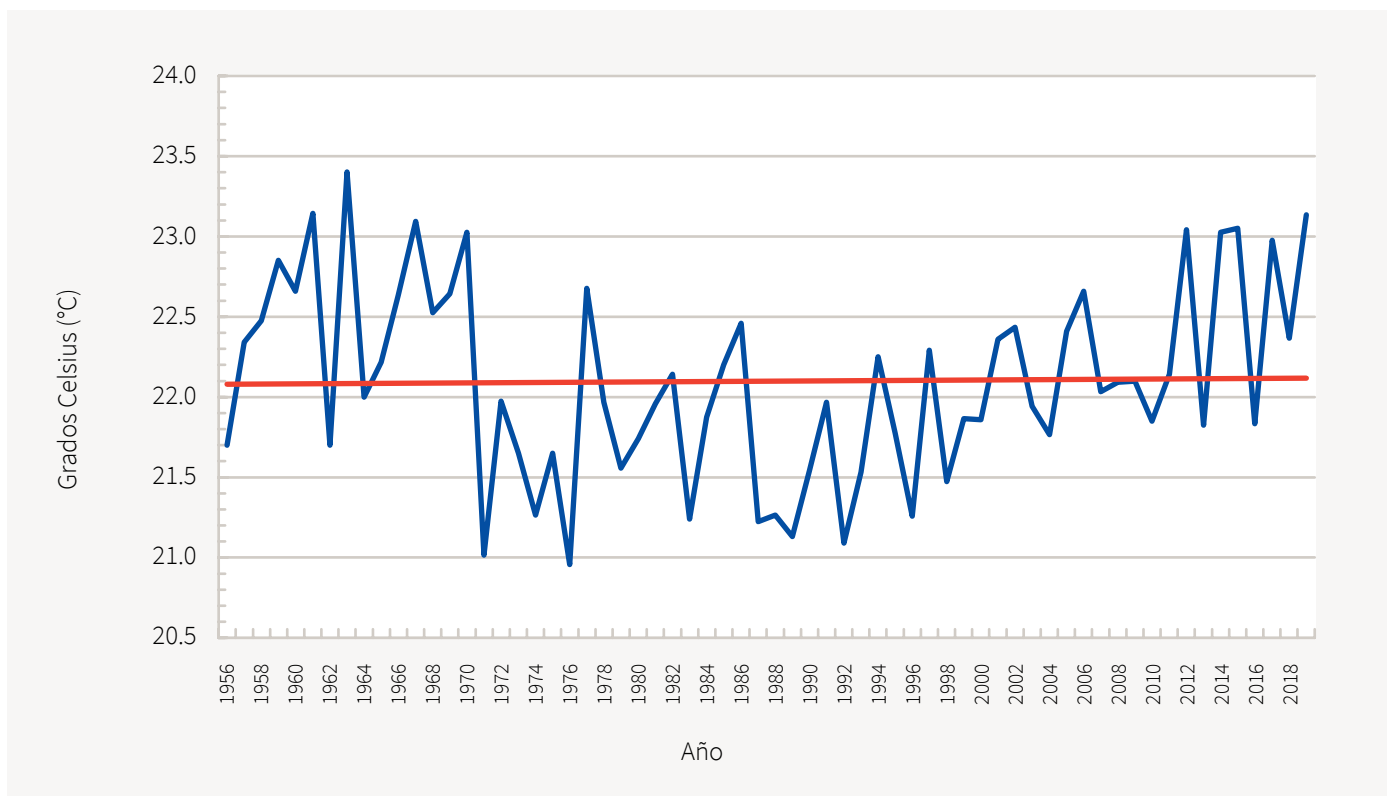
Los metadatos son necesarios para conocer información sobre los datos climáticos, porque muchas de las homogeneidades pueden ser afectadas por estos factores. Un test de homogeneidad se realiza para saber si las fluctuaciones que muestran los datos registrados se deben exclusivamente al comportamiento del tiempo y el clima.

Casos de homogeneización con la temperatura media

Los datos de temperatura media diaria en su estado original presentan heterogeneidades ya mencionadas anteriormente³⁷, se trae el ejemplo de los datos de Villarrica, departamento de Guairá (Gráfico 1), se observa que en la década de los años 1960 existían temperaturas similares a las actuales, y que la tendencia (línea recta) es prácticamente nula, o sea que la temperatura media en ese período (1956-2019) no presenta calentamientos ni enfriamientos.

Analizando los datos de temperatura media anual con base en los datos de temperaturas máximas y mínimas diarias, de la estación meteorológica de Villarrica, se obtienen otros resultados (Gráfico 2), aquí la tendencia de la temperatura media anual es claramente al calentamiento (recta con pendiente positiva), o sea que con este cálculo se obtienen resultados diferentes al anterior.

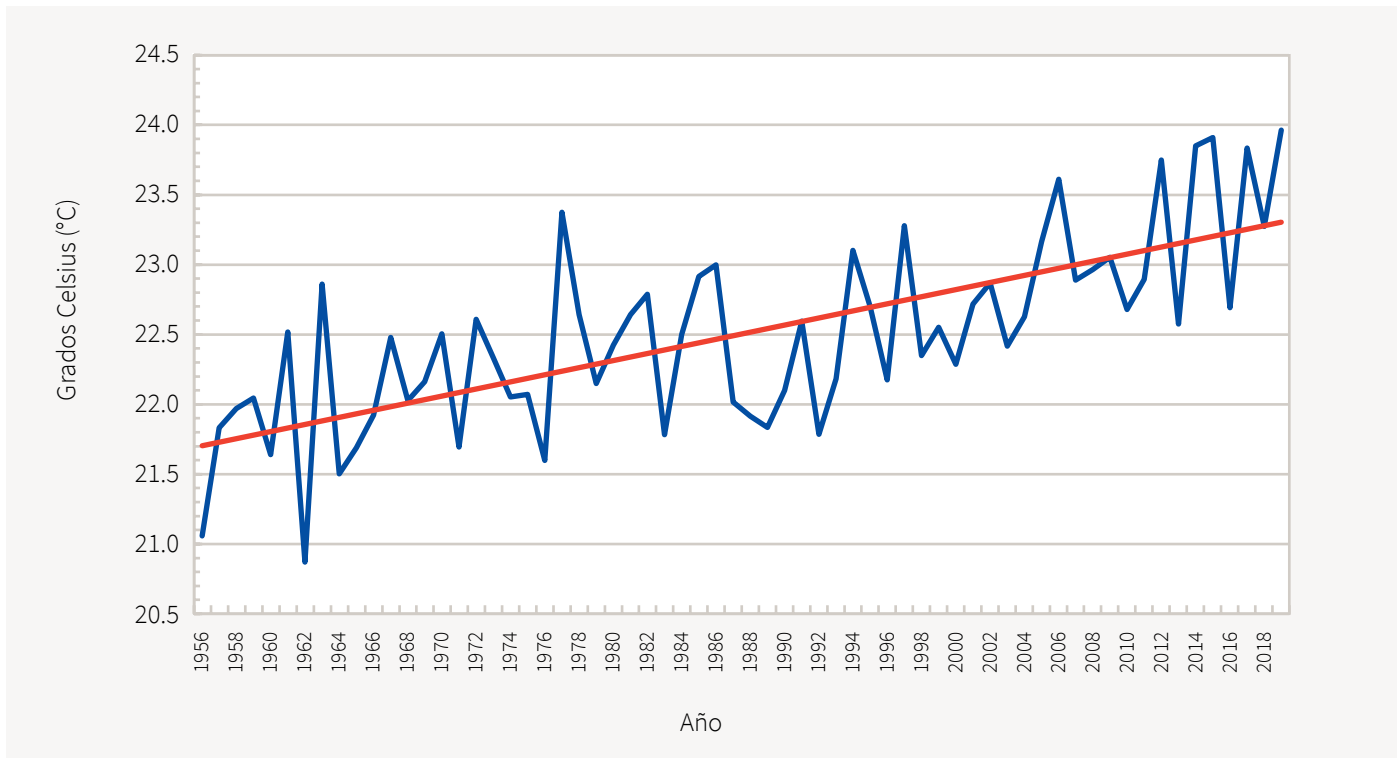
Gráfico 1. Temperatura media anual en Villarrica, Guairá (promedios de temperaturas horarias). Período 1956-2019.



Fuente de datos: DINAC. Elaboración propia.

37 La temperatura media diaria en el período 1956-1970 está calculada con base en 3 horarios de observación, mientras que en el período 1971-2019 con base en 4 horarios de observación, los resultados son diferentes.

Gráfico 2. **Temperatura media anual en Villarrica, Guairá (promedio de temperaturas máximas y mínimas diarias). Periodo 1956-2019.**



Fuente de datos: DINAC. Elaboración propia.

Este caso demuestra la importancia de contar con los metadatos, saber que hubo cambios en la forma de cálculo de la temperatura media, en qué momentos se establecieron esos cambios y cuáles fueron las formas de cálculo antes y después de los cambios.

Corrección de la temperatura media en Villarrica

En este estudio se procedió a corregir las inhomogeneidades encontradas en la temperatura media anual. El procedimiento se basa en la hipótesis que la temperatura media calculada con base en datos de 4 horarios de observación fijos y la temperatura media calculada con base en extremos tienen una diferencia estable, no presenta variaciones en el tiempo, esto permitió establecer esa diferencia promedio y aplicarla a los datos de la temperatura media anual con base en extremos y generar una nueva serie de temperaturas medias desde 1956 a 1970, para reemplazar a la temperatura media calculada con base en 3 horarios de observación (Gráfico 3)³⁸.

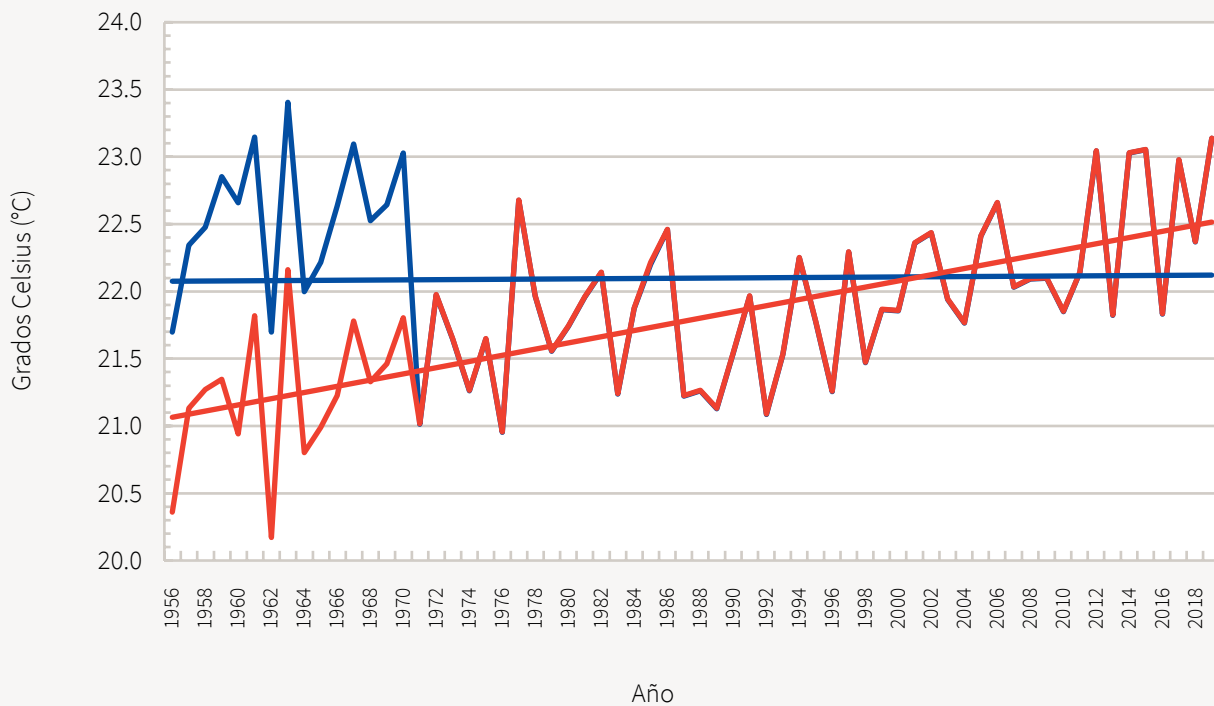
El resultado de este procedimiento fue satisfactorio, se generaron 2 series de temperaturas medias para Villarrica, la primera calculada con base en la temperaturas máximas y mínimas diarias, la segunda homogeneizando la serie de temperaturas medias con base en 4 observaciones diarias (Gráfico 4)³⁹.

Este método de cálculo y homogeneización de temperaturas medias, por los métodos mencionados, fue aplicado a los datos de las estaciones meteorológicas, desde el origen de sus datos (algunas de ellas datan desde el año 1940).

38 Los cálculos numéricos para corregir la temperatura media diaria de Villarrica, Guairá, se presentan en el Anexo 2.

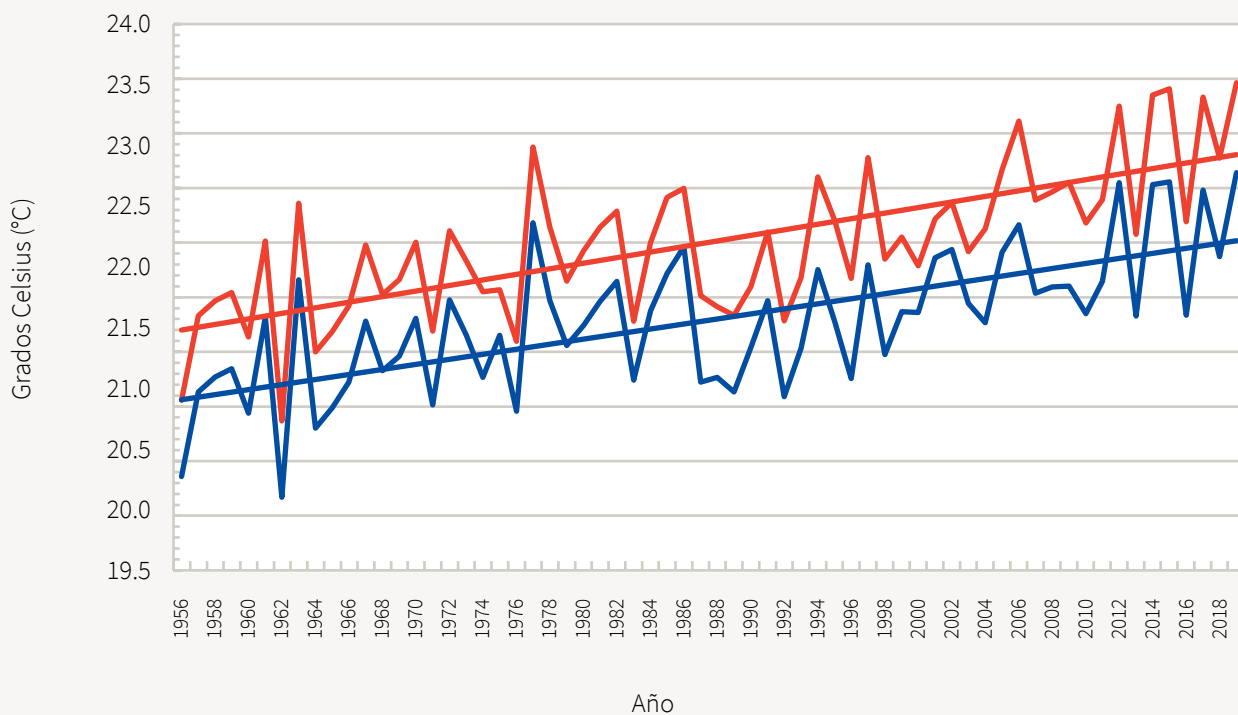
39 Diferencia relativa entre pendientes inferior al 10%

Gráfico 3. **Temperatura media anual (promedios de temperaturas horarias), original (azul) y corregida (rojo).** Villarrica, Guairá. Periodo 1956-2019.



Fuente de datos: DINAC. Elaboración propia.

Gráfico 4. **Temperatura media anual, promedio de temperaturas máximas y mínimas (rojo) y promedio de 4 observaciones horarias corregida (azul).** Villarrica, Guairá. Periodo 1956-2019.



Fuente de datos: DINAC. Elaboración propia.

Isla de calor urbana

La isla de calor urbana depende mucho de la morfología de la ciudad y de la ubicación de los focos de calor, también de la época del año, pero está más fuertemente influenciada por el entorno local del sitio que por la ciudad en su conjunto, por lo tanto los estudios de islas de calor no deben circunscribirse en un enfoque de comparación de 2 estaciones meteorológicas (típica comparación aeropuerto-centro de la ciudad), ni deben basarse en la regresión de cantidad de habitantes e islas de calor urbana (Böhm, 1998).

En Paraguay, las estaciones meteorológicas cuyos datos utilizados en este estudio, en su mayoría operados por la DINAC, se encuentran en zonas alejadas de los centros urbanos, como aeropuertos o aeródromos, o en centros de investigación en zonas rurales, con criterios y recomendaciones de la OMM.

De todas formas se hicieron pruebas de comparaciones de series temporales de datos de temperaturas medias de estaciones meteorológicas con poblaciones pequeñas, sin desarrollo industrial, ni fuentes de calor apreciables con ciudades algo más desarrolladas, y fundamentalmente con densidades poblacionales muy diferentes. Así se compararon datos de Concepción y Pozo Colorado (Cuadro 3). Ambas localidades tienen un clima semejante, con temperaturas medias anuales del mismo orden.

Los resultados de esta experiencia, comparando datos de temperatura media anual de 2 localidades con mismas características climáticas, pero con cantidad de habitantes y densidad poblacional muy diferentes, dan como resultado lo siguiente, la tendencia al calentamiento es casi exactamente la misma (Gráfico 5)⁴². En este caso se puede concluir que los cambios de temperatura media anual, en el tiempo considerado, en ambas localidades, responden al comportamiento del tiempo y el clima, y no a características o factores locales ajenos al clima.



Se hicieron pruebas de comparaciones de series temporales de datos de temperaturas medias de estaciones meteorológicas con poblaciones pequeñas, sin desarrollo industrial, ni fuentes de calor apreciables con ciudades algo más desarrolladas, y fundamentalmente con densidades poblacionales muy diferentes.

Cuadro 3. **Características demográficas en Concepción (Concepción) y Pozo Colorado (Pdte. Hayes).**

Estación meteorológica	Concepción	Pozo Colorado
Departamento	Concepción	Presidente Hayes
Población estimada 2017 ⁴⁰	83.226 hab	19.890 ⁴¹ hab
Densidad poblacional	79,0 hab/km ²	1,6 hab/km ²

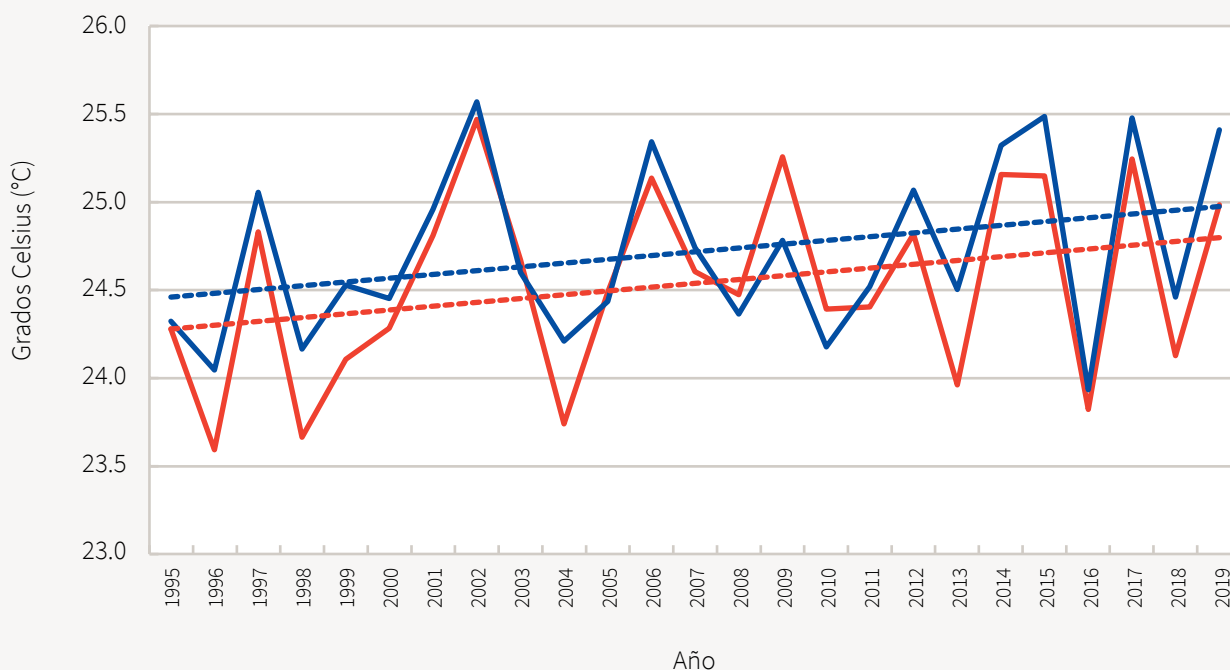
Elaboración propia.

40 DGEEC. «Proyección de la población por sexo y edad, según distrito. Revisión 2015»

41 Con 84 % de población rural, DGEEC, 2015.

42 Diferencia relativa entre tendencias menor al 1%

Gráfico 5. **Temperatura media anual en Concepción (azul) y temperatura media anual en Pozo Colorado (rojo), y sus tendencias lineales. Periodo 1995-2019**⁴³.



Fuente de datos: DINAC. Elaboración propia.

Normales climatológicas

Las normales climatológicas son periodos referenciales, que se utilizan en climatología para poder comparar las observaciones recientes o presentes y, en particular, para fundamentar muchos conjuntos de datos climáticos basados en anomalías (por ejemplo, las temperaturas medias), y normalmente, se utilizan para caracterizar el clima de un lugar. La recomendación que generalmente se hacía era tomar como referencia periodos de 30 años. En un principio, el objetivo de las normales consistía en permitir comparar las observaciones de todo el mundo. El uso de las normales para la predicción fue cobrando impulso lentamente en el transcurso del siglo XX.

Para la evaluación de la variabilidad del clima a largo plazo y el seguimiento del cambio climático se necesita un período de referencia relativamente estable. Históricamente, las *normales climatológicas estándares* se calculan cada 30 años por períodos de 30 años (1901 a 1930, 1931 a 1960, 1961 a 1990, etc.).

Para el objetivo concreto de vigilar el clima a largo plazo, las normales calculadas para el período comprendido entre el 1 de enero de 1961 y el 31 de diciembre de 1990 se consideran un período de referencia estable de la OMM, que debería mantenerse indefinidamente o hasta que exista un motivo científico de peso para cambiarlo.

43 Se consideró este período, común para ambas estaciones, porque los datos meteorológicos en Pozo Colorado se inician en el año 1995.

Este estudio respeta este criterio, o sea que las comparaciones de los resultados obtenidos (anuales, quinquenales, decadales y de 30 años) están en relación al período de referencia 1961-1990.

No obstante, en el contexto de un clima cambiante, se necesitan también cálculos más frecuentes que las normales climáticas estándar, entonces podrían utilizarse las normales climatológicas que se calculan al principio de cada década, para períodos de 30 años, a partir del año que termina en el dígito 1, por ejemplo 1971-2000, 1981-2010, etc. (OMM, 2018).

Según varios estudios (OMM, 2007), 30 años no suelen constituir un período óptimo para cálculos de promedios para las normales utilizadas en proyecciones futuras. A menudo, el período óptimo para la temperatura es mucho más corto que 30 años, pero con frecuencia, el período óptimo para la precipitación excede ampliamente los 30 años.

¿Por qué décadas que empiezan en 0 y terminan en 9?

En este estudio se utilizan períodos de 10 años que empiezan en 0 y terminan en 9, por ejemplo 1960-1969, 1970-1979, 1980-1989, 1990-1999, 2000-2009, 2010-2019, esto se hizo de esta manera a fin de que los datos del año 2019 sean parte integrante de la historia climática comparativa, por ejemplo, cómo estuvo la última década (o el último quinquenio) respecto a un período climatológico estándar de referencia⁴⁴.

Utilizando décadas normales, que empiezan en 1 y terminan en 0, como por ejemplo 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990, 1991-2000, 2001-2010, no habría sido posible completar la última década 2011-2020, se hubiera reducido a 2011-2019, con 9 datos de 10, sin la posibilidad de comparar con las décadas que le preceden, por faltar a criterios de homogeneidad, para el cálculo de parámetros (ej. medias o desviaciones).

Este criterio se aplicó a los períodos de 5, 10 y 30 años, para comparación con la normal climatológica 1961-1990, recomendada para estudios de cambio climático.

44 1961-1990

2.3 RESULTADOS



El año 2019 registró una marca récord de 24,3 °C, este valor hace que el año 2019 haya sido el más caliente en el Paraguay, desde que se tienen registros meteorológicos.

Tal como se indicó anteriormente, se utilizaron indicadores atmosféricos de superficie para la evaluación del cambio climático en Paraguay, como la temperatura del aire, la precipitación y los eventos extremos. A continuación, se describen los resultados obtenidos en cada uno de los tratamientos.

2.3.1 TEMPERATURA

Evolución de la temperatura anual en Paraguay

Desde el año 1956 se disponen de suficientes estaciones meteorológicas con buena cobertura del territorio nacional, para poder integrar los datos y estimar la temperatura media anual del país⁴⁵. Procesando los datos se obtiene un promedio nacional, o sea un valor único que representa la temperatura media anual del Paraguay para cada año desde el año 1956 hasta el año 2019 ([Cuadro 4](#)).

La variabilidad interanual de la temperatura anual media (cambios entre un año y otro) se aprecia marcadamente ([Gráfico 6](#)), se observa que entre los años 1950 y 1970 la temperatura media era bastante más baja que los periodos posteriores, también se observa que a partir del año 2002 se empiezan a registrar valores de temperatura media anual que, por primera vez, alcanzaron o sobrepasaron los 24 °C, valor jamás antes registrado en el siglo XX.

Por el contrario, en el presente siglo, no se registraron temperaturas anuales por debajo de 23 °C, muy frecuentes en el siglo pasado, y a juzgar por la tendencia al calentamiento, difícilmente vuelvan a registrarse en esta primera mitad de este siglo, y probablemente, menos aún en la segunda mitad de este siglo, si continúa en aumento la concentración de los GEI en la atmósfera, que favorecen el calentamiento global.

45 La temperatura media anual del país fue calculada con base en las temperaturas máximas y mínimas diarias, promediada sobre las 11 estaciones meteorológicas de referencia.

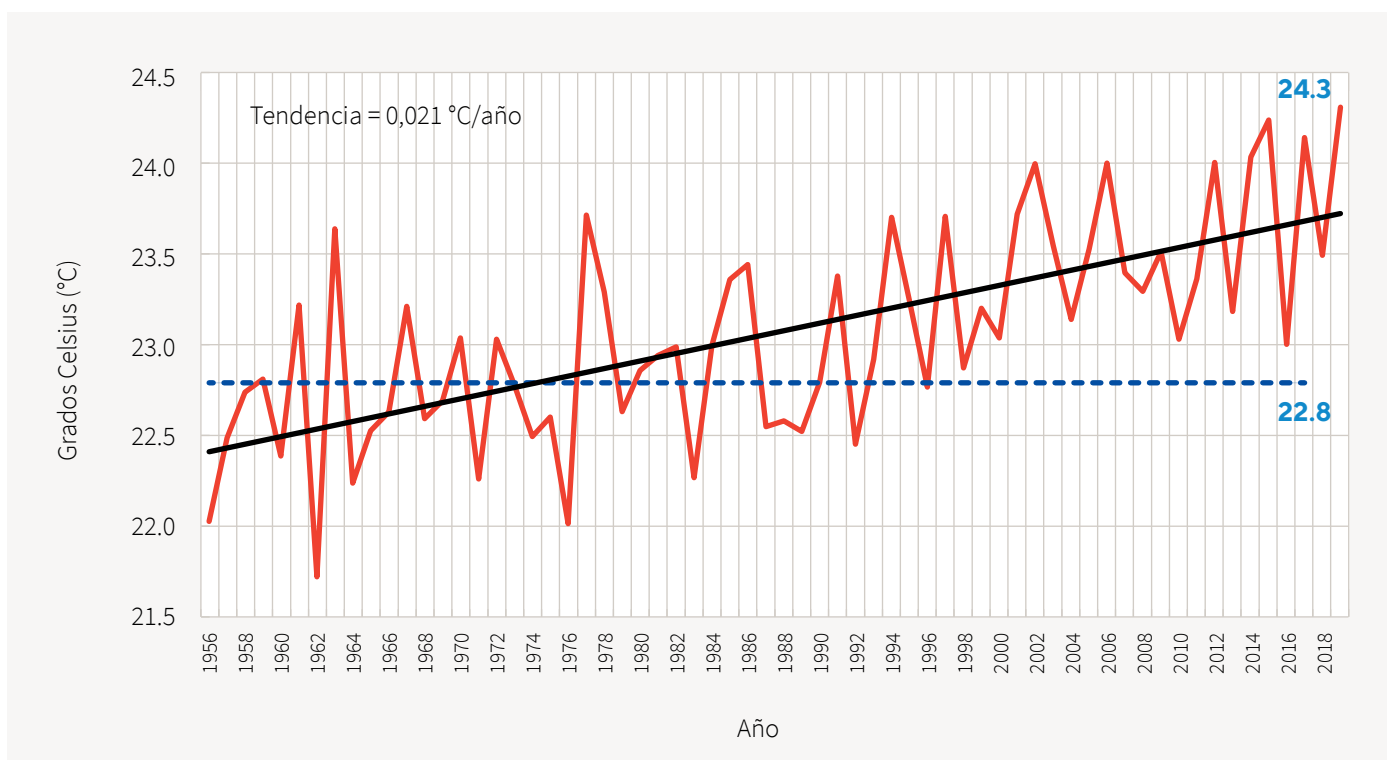
Cuadro 4. **Temperatura media anual del Paraguay. Periodo 1956-2019.**

Año	T (°C)	Año	T (°C)	Año	T (°C)	Año	T (°C)
1956	22,03	1972	23,03	1988	22,58	2004	23,14
1957	22,49	1973	22,78	1989	22,52	2005	23,53
1958	22,74	1974	22,49	1990	22,79	2006	24,00
1959	22,81	1975	22,60	1991	23,38	2007	23,40
1960	22,39	1976	22,02	1992	22,45	2008	23,29
1961	23,22	1977	23,71	1993	22,92	2009	23,51
1962	21,72	1978	23,29	1994	23,70	2010	23,03
1963	23,64	1979	22,63	1995	23,24	2011	23,36
1964	22,24	1980	22,86	1996	22,77	2012	24,00
1965	22,53	1981	22,94	1997	23,71	2013	23,18
1966	22,63	1982	22,99	1998	22,87	2014	24,03
1967	23,21	1983	22,27	1999	23,20	2015	24,24
1968	22,59	1984	23,00	2000	23,04	2016	23,00
1969	22,69	1985	23,36	2001	23,72	2017	24,14
1970	23,04	1986	23,44	2002	23,99	2018	23,49
1971	22,26	1987	22,55	2003	23,54	2019	24,31

Fuente de datos: DINAC. Elaboración propia.

Continuando con el análisis de estos datos, se observa que el año 2019 registró una marca récord de 24,3 °C, este valor hace que el año 2019 haya sido el más caliente en el Paraguay, desde que se tienen registros meteorológicos. La tendencia lineal de la temperatura media anual entre 1956 y 2019 fue de +0,021 °C por año (Gráfico 6). Para el análisis de tendencia de las series temporales se ha utilizado la prueba de Mann-Kendall.

Gráfico 6. **Temperatura media anual en Paraguay (rojo), normal climatológica 1961-1990 (azul) y tendencia lineal (negro). Prueba de tendencia de Mann-Kendall ($p < 0,0001, = 0,05$), período 1956-2019.**

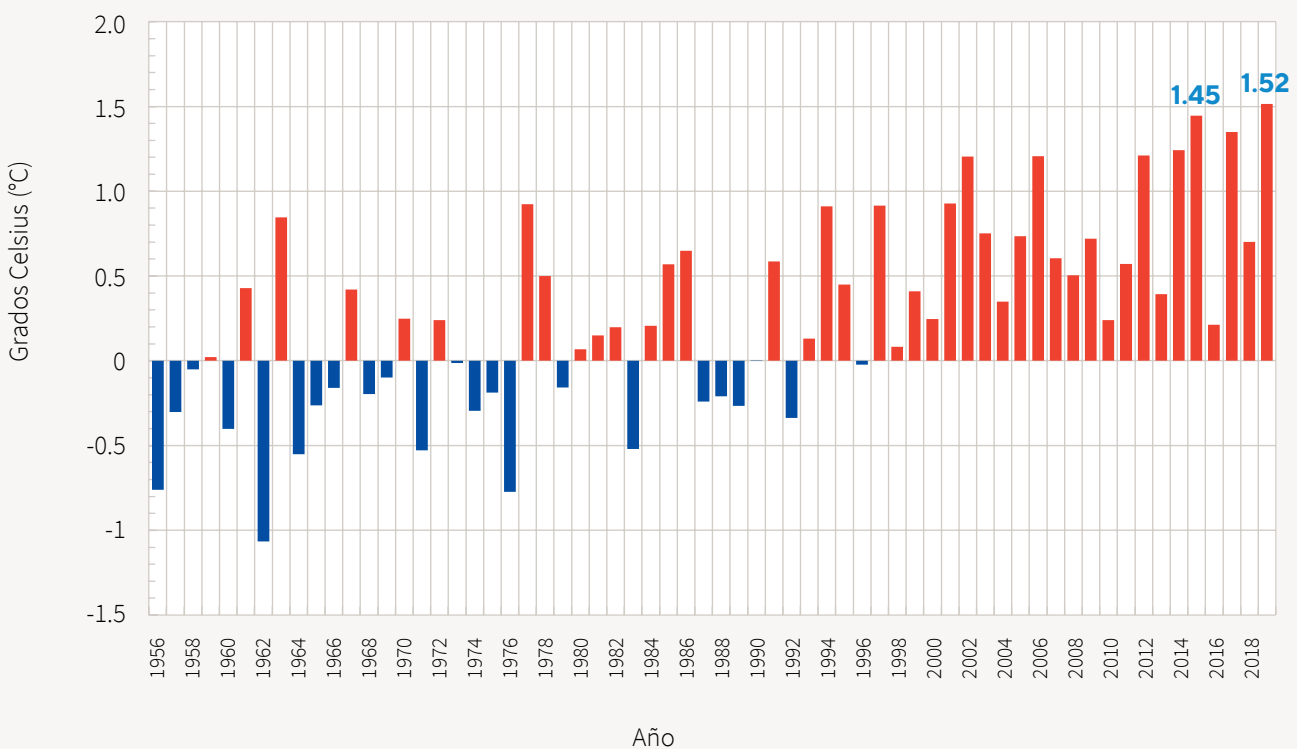


Fuente de datos: DINAC. Elaboración propia.

La anomalía de la temperatura media anual del Paraguay, respecto del promedio del período *normal climatológico estándar* 1961-1990⁴⁶ (Gráfico 7), fue tornándose cada vez más positiva con los años (temperatura media anual creciente), y a partir del año 1996 no volvió a ser negativa (inferior al promedio de referencia) en ningún año posterior, desde el año 2000 la anomalía se torna fuertemente positiva indicando un calentamiento, culminando en el 2019 con una anomalía de 1,5 °C respecto del período de referencia 1961-1990 (22,8 °C).

Este cambio de temperatura observado en este estudio para el Paraguay, es del mismo orden a lo observado por otras fuentes mundiales (IPCC, 2014).

Gráfico 7. Anomalía de la temperatura media anual del Paraguay, positivas en rojo y negativas en azul, respecto de la media del periodo 1961-1990.



Fuente de datos: DINAC. Elaboración propia.

Cuadro 5. Algunas características de la temperatura media anual del Paraguay durante el período 1956-2019. Con anomalías referidas al período 1961-1990.

<p>Periodo 1961-1990</p> <p>Promedio 22,8 °C</p>	<p>Año más caliente 2019</p> <p>Promedio 24,3 °C Anomalía +1,5 °C</p>	<p>Año más frío 1962</p> <p>Promedio 21,7 °C Anomalía -1,1 °C</p>
<p>Tendencia lineal +0,021 °C/año</p>		

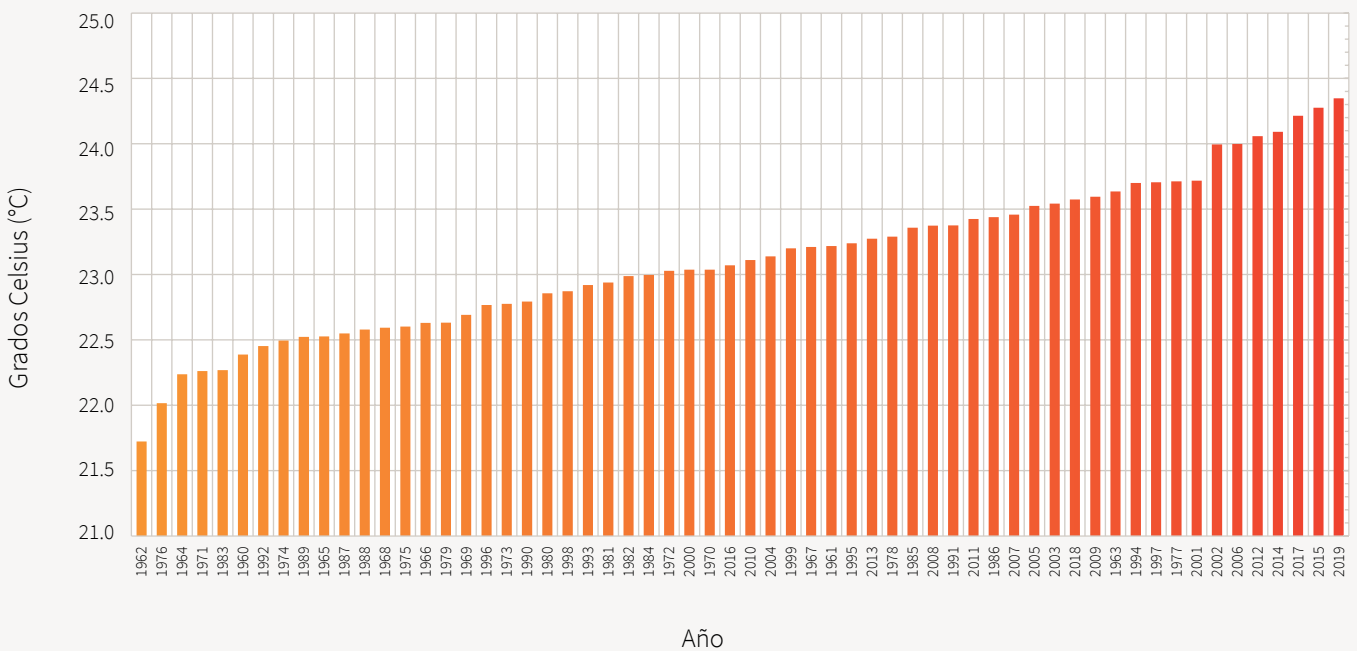
Fuente de datos: DINAC. Elaboración propia.

46 Período recomendado por la OMM para comparaciones a largo plazo.



Según el Gráfico 7, el año 2019 fue el más caliente en el Paraguay con 1,52 °C por encima de la media del período 1961-1990, en segunda posición se ubica el año 2015 (1,45 °C).

Gráfico 8. Ranking de la temperatura media anual (°C) del Paraguay, ordenada de año más frío (izq.) al año más caliente (der.), desde 1960 hasta 2019.



Fuente de datos: DINAC. Elaboración propia.

Ranking de los diez años más calientes

En función de los datos de la temperatura media anual analizados ([Gráfico 7](#)), se puede establecer el ordenamiento de los 10 años más calientes en la historia del Paraguay, resaltando que el año 2019 fue el más caliente jamás registrado anteriormente (Cuadro 6). Otra información importante que se desprende del [Gráfico 7](#) es que, de los 10 años más calientes, 8 se registraron en el siglo XXI, 3 en la primera década y 5 en la última década, los otros dos años más calientes, y ubicados en lo último de la tabla, se registraron en el siglo pasado, esta es una señal muy fuerte sobre el calentamiento de los últimos años.

Cuadro 6. Ranking de los 10 años más calientes en el Paraguay. Período 1940-2019.

Ranking	Año	T (°C)
1	2019	24,35
2	2015	24,28
3	2017	24,21
4	2014	24,09
5	2012	24,06
6	2006	24,00
7	2002	23,99
8	2001	23,72
9	1977	23,71
10	1997	23,71

Fuente de datos: DINAC. Elaboración propia.

Evolución de la temperatura quinquenal

Más allá de los resultados anuales de una variable climática, resulta interesante integrar estos datos por otros períodos de tiempo, así en climatología se utilizan normalmente períodos de 10 años y 30 años para estos análisis, sin embargo, en años recientes el clima está cambiando con una velocidad tal que el tiempo que transcurre entre 1 año y 10 años es largo, y requiere períodos intermedios para interpretarlos y compararlos. Es por ello que los análisis quinquenales (5 años) empiezan a ser cada vez más utilizados en la climatología.

En este sentido, haciendo un análisis de la evolución de la temperatura quinquenal en el Paraguay (Gráfico 9), también se observa el calentamiento progresivo tal como fue observado en el apartado anterior referido a las temperaturas anuales. Desde 1960 en adelante, la temperatura media quinquenal⁴⁷ ha ido aumentando, salvo en 1980-1984 (22,8 °C) que fue ligeramente inferior a su antecesor 1975-1979 (22,9 °C).

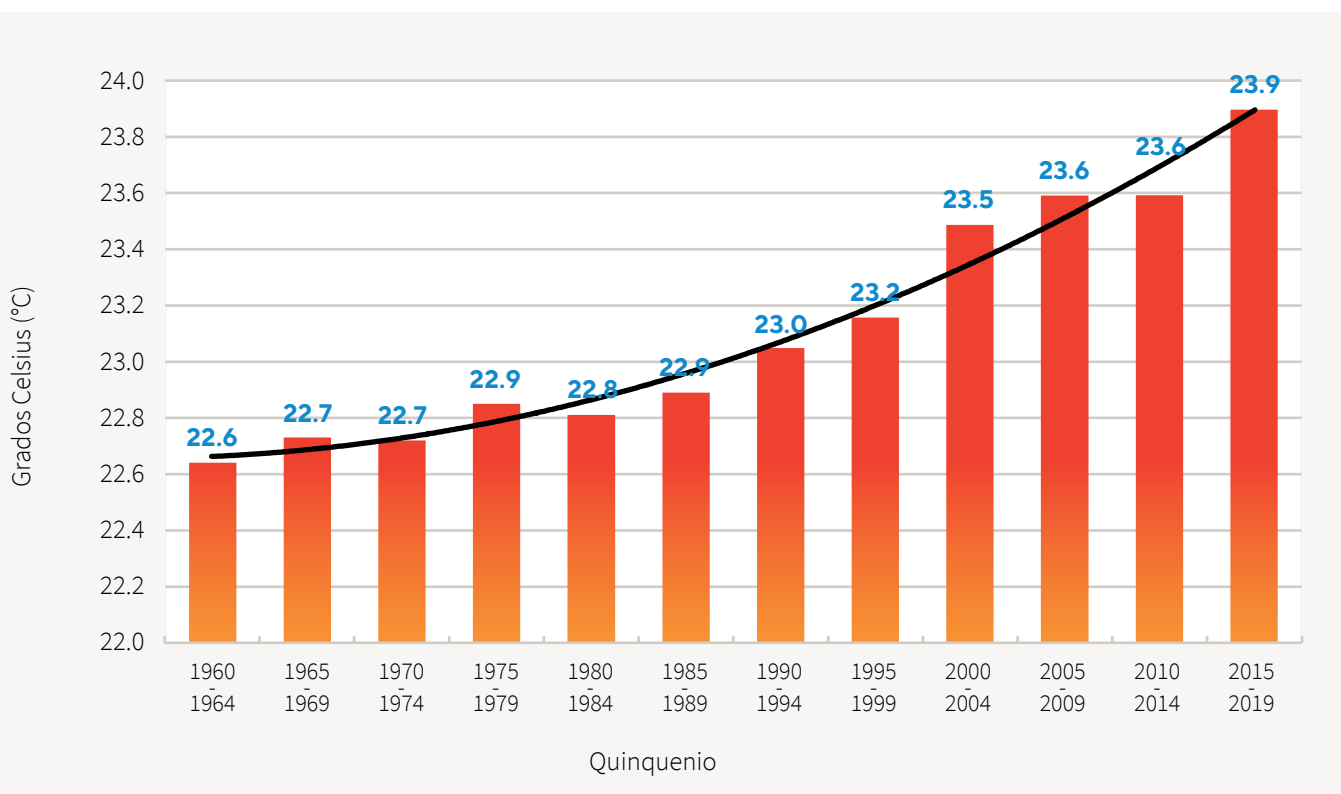
En algunos pocos casos se ha observado un estancamiento, por ejemplo 1965-1969 y 1970-1974 presentaron la misma temperatura de 22,7 °C, lo mismo ocurrió en 2005-2009 y 2010-2014 con 23,6 °C.

El último período quinquenal 2015-2019 fue el más caliente del récord (Gráfico 8), y era de esperarse ya que este quinquenio contiene 3 de los 10 años más calientes registrados. Es importante mencionar que en este período ocurrió un evento –El Niño– fuerte, específicamente entre los años 2015 y 2016, este evento se mani-



Según el Gráfico 9, la temperatura media anual del quinquenio 2015-2019 fue la más alta jamás registrada en un quinquenio anterior, con un récord de 23,9 °C superando en 1,1 °C a la temperatura media anual de 1961-1990 que fue de 22,8 °C.

Gráfico 9. Temperatura media anual por quinquenios en el Paraguay (barra roja) y tendencia (línea negra), período 1960-2019.



Fuente de datos: DINAC. Elaboración propia.

47 Temperatura media de un período de 5 años consecutivos.

fiesta con un calentamiento superficial anormal y significativo en la cuenca del océano Pacífico Tropical, y probablemente este calentamiento, respuesta de la variabilidad climática interanual ENSO⁴⁸, refuerce el calentamiento global de origen antrópico.

Desde el año 1960 se observaron aumentos de temperaturas medias quinquenales de hasta 0,2 °C, como máximo, en la segunda mitad del siglo XX; sin embargo, en la primera parte del siglo XXI, se han observado aumentos de temperatura de hasta 0,3 °C en los quinquenios de 2000-2004 y 2015-2019, esto no solo confirma el aumento de la temperatura sino también la aceleración del calentamiento en este siglo.

Evolución de la temperatura por décadas

Los períodos de tiempo de 10 años o décadas son particularmente importantes en climatología por ser referenciales para análisis, estudios, comparaciones, etc. Los datos climáticos disponibles en Paraguay cubren los últimos períodos de 6 décadas, desde 1960 a la fecha.

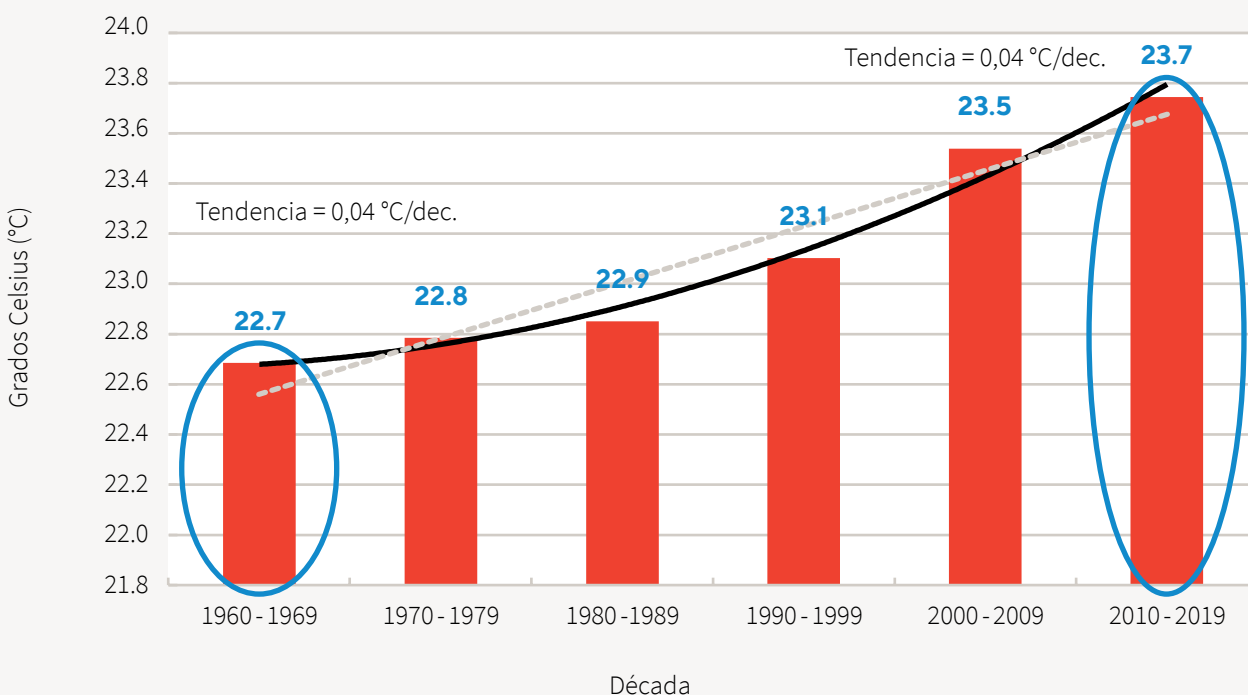
Analizando la temperatura media del Paraguay durante las 6 últimas décadas consecutivas, del período 1960-2019, puede observarse que el calentamiento o la variación de la temperatura media con el tiempo, estadísticamente⁴⁹ está mejor representada por una función polinómica (línea continua) que por una línea recta (línea entrecortada), la primera indica que



Según el Gráfico 10, el calentamiento acelerado del clima en Paraguay observado en la última década del siglo XX (1990-1999) y en las dos primeras décadas del siglo XXI (2000-2009 y 2010-2019) parecen no tener antecedentes similares. La temperatura media anual de la década 2010-2019 fue la más alta jamás registrada, con un récord de 23,7 °C.

La tendencia del calentamiento pasó de 0,04 °C por década en 1960-1969 a 0,4 °C por década en 2010-2019, o sea se multiplicó por 10.

Gráfico 10. Temperatura media anual por décadas en Paraguay (barra roja), período 1960-2019 y tendencia del calentamiento en la década 1960-1969 y en 2010-2019 (elipse azul).



Fuente de datos: DINAC. Elaboración propia.

48 El Niño-Oscilación del Sur, siglas en inglés.

49 $R^2 = 0,98$; $R^2 = 0,93$

el calentamiento se acelera con el tiempo, mientras que la tendencia lineal indica que el calentamiento no varía con el tiempo o sea es constante (Gráfico 10).

Considerando lo mencionado, realizando un análisis de la tendencia, observamos que en el período 1960-1969, la tendencia de la temperatura media fue de +0,04 °C por década, mientras que en la última década de 2010-2019 la tendencia fue mucho mayor llegando a un valor de +0,4 °C por década, o sea que el calentamiento anual en las últimas 6 décadas se multiplicó por un factor de 10, en el período 1960-2019.

Evolución de la temperatura en períodos de 30 años

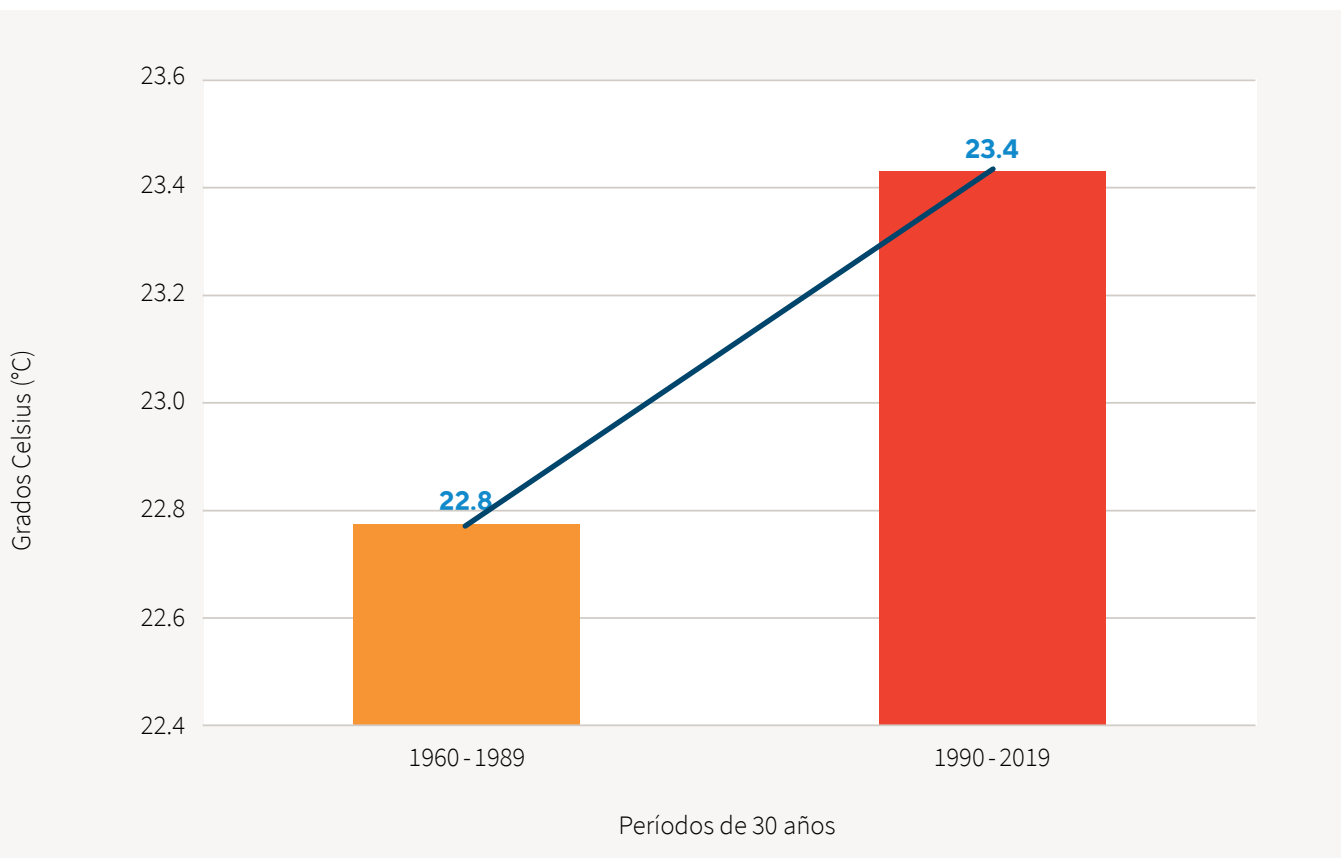
Los períodos de 30 años son considerados climatológicos normales, y la variación esperada de la temperatura media entre 2 períodos climáticos normales consecutivos, normalmente es muy pequeña, varía entre cero y un par de décimos como mucho, al menos ese fue el orden de magnitud corriente en el pasado. Sin embargo, analizando la temperatura media de los últimos dos períodos de treinta años consecutivos, de los cuales se tienen datos completos, 1960-1989 y 1990-2019, observamos que hubo un incremento de 0,6 °C en el último y recientemente finalizado 1990-2019 respecto del anterior (Gráfico 11).

Este valor de calentamiento es significativo e indica un cambio importante en la temperatura media entre estos 2 períodos climatológicos consecutivos recientes.



Según el Gráfico 11, la temperatura media anual del periodo climatológico de 30 años 1990-2019 fue 0,6 °C significativamente más caliente que el período climatológico de 30 años anterior 1960-1989.

Gráfico 11. **Temperatura media anual de los últimos 2 períodos de 30 años en el Paraguay.**



Fuente de datos: DINAC. Elaboración propia.

2.3.2 PRECIPITACIÓN

Evolución de la precipitación anual en Paraguay

Desde 1950 se disponen de suficientes datos de precipitación con buena cobertura espacial en el territorio nacional a través de las estaciones meteorológicas, que permiten integrar y estimar la precipitación media anual del Paraguay. Procesando los datos se obtiene un promedio nacional, o sea un valor único que representa la precipitación anual media del Paraguay para cada año desde 1950 hasta el año 2019 (Cuadro 7).

Cuadro 7. **Precipitación total media anual en el Paraguay. Periodo 1956–2019.**

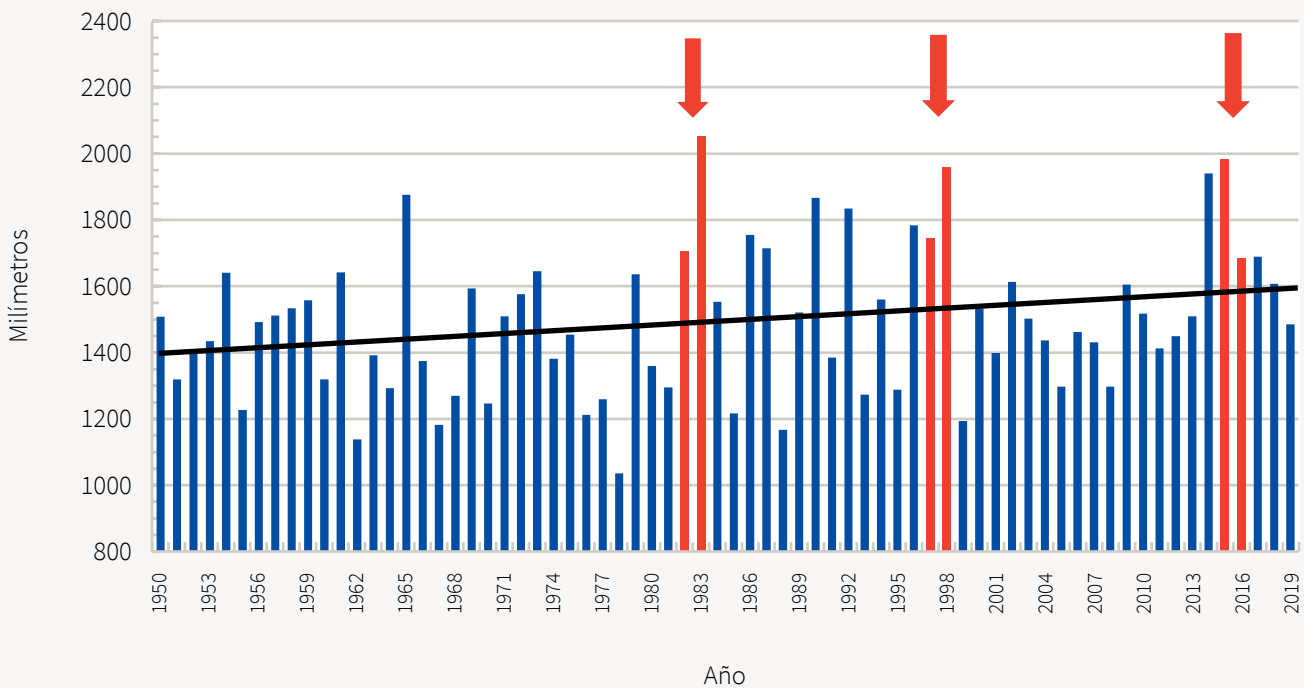
Año	Lluvia (mm)	Año	Lluvia (mm)	Año	Lluvia (mm)	Año	Lluvia (mm)	Año	Lluvia (mm)
1950	1508	1964	1303	1978	1050	1992	1835	2006	1466
1951	1338	1965	1940	1979	1650	1993	1273	2007	1431
1952	1419	1966	1379	1980	1384	1994	1560	2008	1297
1953	1450	1967	1184	1981	1295	1995	1288	2009	1605
1954	1764	1968	1275	1982	1705	1996	1784	2010	1518
1955	1303	1969	1634	1983	2054	1997	1746	2011	1412
1956	1538	1970	1236	1984	1553	1998	1960	2012	1449
1957	1577	1971	1546	1985	1217	1999	1192	2013	1509
1958	1561	1972	1589	1986	1774	2000	1533	2014	1941
1959	1627	1973	1648	1987	1713	2001	1399	2015	1984
1960	1319	1974	1401	1988	1166	2002	1614	2016	1685
1961	1625	1975	1458	1989	1557	2003	1502	2017	1689
1962	1153	1976	1210	1990	1867	2004	1436	2018	1607
1963	1419	1977	1288	1991	1385	2005	1297	2019	1488

Fuente de datos: DINAC. Elaboración propia.

Varias investigaciones hacen referencia a que gran parte de esta variabilidad interanual de la precipitación en el sudeste de Sudamérica, que incluye zonas como el sur del Brasil, noreste de la Argentina, Uruguay y Paraguay, es influenciada por El Niño-Oscilación del Sur (ENSO, siglas en inglés) (Grimn, 2000), fenómeno caracterizado por el calentamiento (El Niño) o el enfriamiento (La Niña) de las aguas superficiales del Océano Pacífico Tropical, especialmente aquellos eventos considerados moderados a fuertes.

En el Paraguay, el fenómeno La Niña está asociado a años secos o menos lluviosos, mientras que El Niño está asociado a años húmedos o más lluviosos, especialmente en los eventos considerados fuertes (Grassi, 2005). En años El Niño se produce normalmente en Paraguay, excedentes lluviosos en un período que abarca desde los meses de septiembre a diciembre del año en que se inicia el evento hasta los meses de enero a mayo del año siguiente que afecta el evento. Este exceso de lluvia se refleja casi siempre en las precipitaciones anuales de los años en cuestión, un ejemplo fue lo ocurrido en años de El Niño fuerte como 1982-83, 1997-98 y 2015-16 (Gráfico 12), pero también la intensificación de las precipitaciones de los eventos lluviosos está relacionada con eventos El Niño (Bidegaín, 2017), excepto en el Chaco donde al parecer existe una correlación negativa con fenómenos ENSO, respecto a lo que se observa en la Región Oriental.

Gráfico 12. **Precipitación total media anual en el Paraguay (barra azul) y tendencia lineal (línea negra).** Flecha vertical indica años con El Niño fuerte ($\Delta TSM \geq 1,5^{\circ}C$)⁵⁰. Período 1950-2019.



Fuente de datos: DINAC. Elaboración propia.

Según los datos de precipitación total anual medio del período 1950-2019, en el Paraguay se observa una tendencia al humedecimiento; este aumento en la precipitación anual se dio en unos 200 mm en ese período, con una tendencia de 3 mm/año (Gráfico 12). Este resultado coincide con estudios realizados en la zona subtropical húmeda de la Argentina, limítrofe con Paraguay, donde en el período 1960-2000, la precipitación se incrementó en razón de 4 a 5mm/año (Doyle, 2012). Otros estudios muestran la tendencia del aumento de precipitaciones anuales y de eventos extremos lluviosos en el sureste de Sudamérica (SESA)⁵¹ durante 1960-2000 (Haylock, 2006) y más recientemente en el período 1971-2015 (Bidegaín, 2017), asociado a la fase cálida del ENSO.



A partir del Gráfico 12 se puede observar una tendencia del aumento de la precipitación total media anual en el Paraguay, ese aumento se dio en el orden de los 200 mm en 70 años (tendencia de aproximadamente 3 mm por año).

Existe una influencia directa del calentamiento global en la precipitación, una atmósfera más caliente, tiene una capacidad de contener más agua y por consiguiente de producir lluvias más intensas, con mayor escorrentía y posibilidad de producir inundaciones, pero también el calentamiento aumenta la evaporación y favorece el secamiento de los suelos, lo que puede aumentar la intensidad y duración de las sequías (Trenberth, 2011).

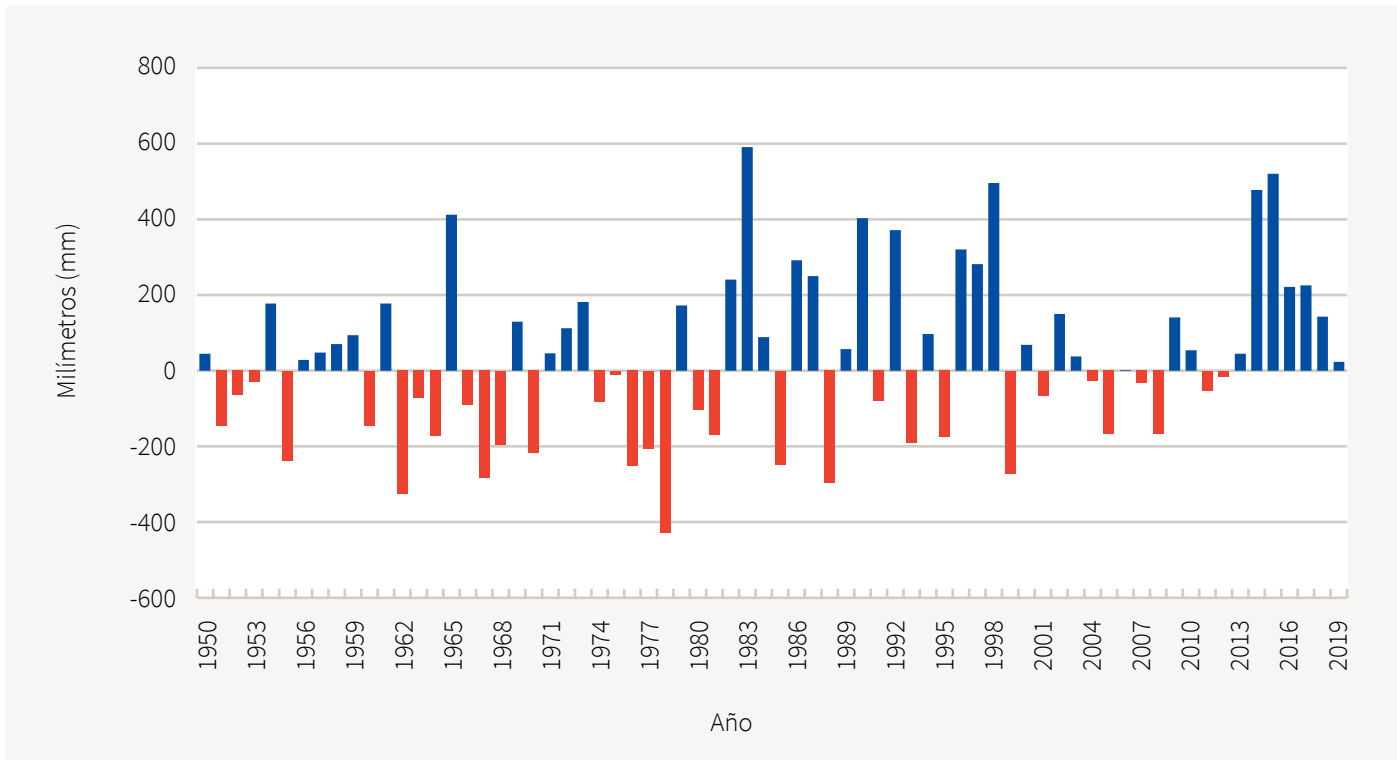
El Gráfico 13 expresa la precipitación total anual media del Paraguay en términos de diferencia respecto de la lluvia *normal climatológica estándar*⁵² de 1961-1990 (1464mm), o sea la anomalía anual. Es de notar que, en los últimos años, los exce-

50 ΔTSM , anomalía de la temperatura superficial del mar en el océano Pacífico Tropical.

51 Sur de Brasil, Paraguay, Uruguay y norte y centro de Argentina.

52 La OMM define a las normales climatológicas estándar a los períodos de 30 años, 1901-1930, 1931-1960, 1961-1990 (actual vigente).

Gráfico 13. Anomalía de la precipitación total media anual en Paraguay durante 1950-2019 respecto de la precipitación total normal del periodo 1961-1990 (1464 mm). Barra azul exceso y barra roja déficit.



Fuente de datos: DINAC. Elaboración propia.

Los años de precipitación anual han sido más frecuentes que los déficits de precipitación anual. No obstante, este excedente en la precipitación anual media apunta a un clima más húmedo, sin embargo, los períodos secos también han sido intensos, como ejemplo basta lo observado recientemente en el año 2019, con un primer semestre lluvioso con crecidas, y un segundo semestre seco con olas de calor, sequías e incendios forestales.

La precipitación en quinquenios

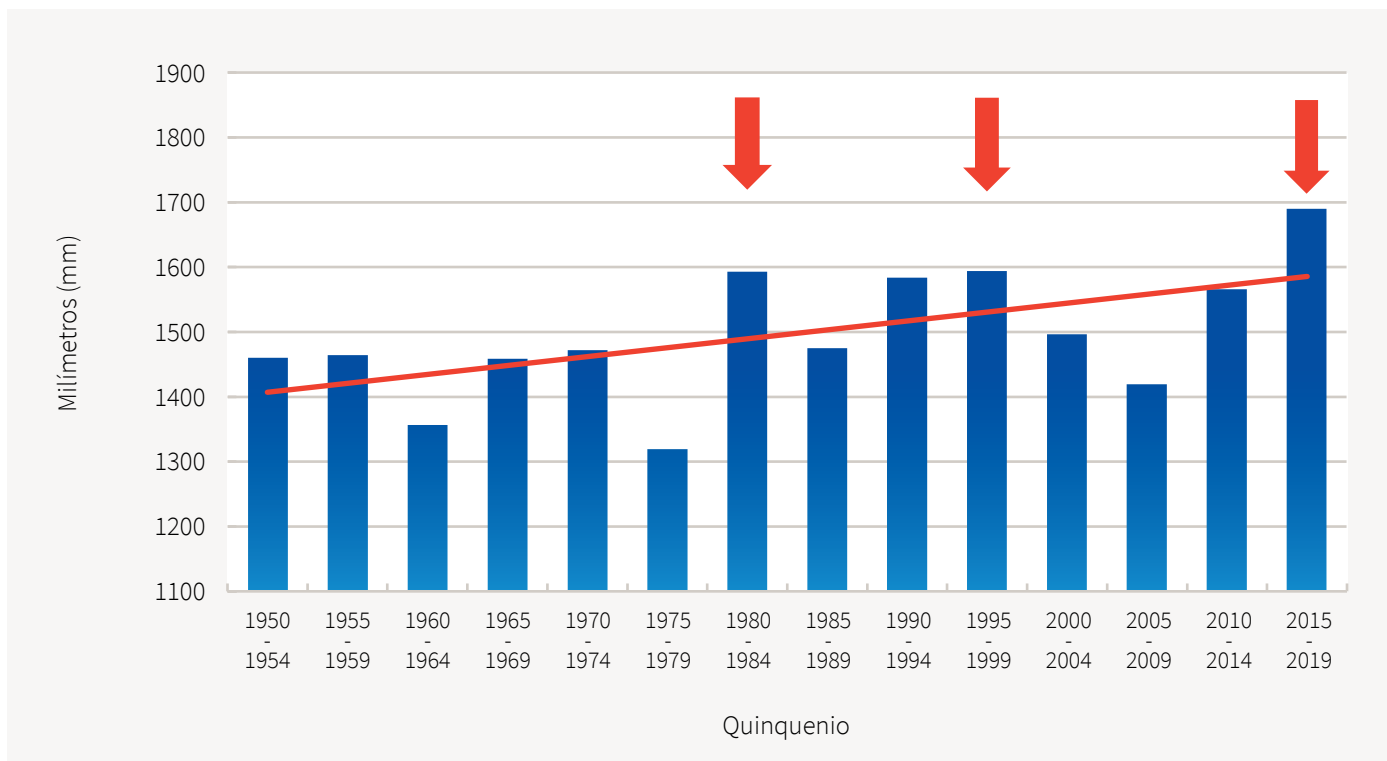
La precipitación promedio de los últimos años ha sido el más alto en 70 años de datos meteorológicos, el quinquenio 2015-2019 fue el más lluvioso desde 1950 (Gráfico 14), en este último quinquenio se registró un evento El Niño fuerte 2015-2016 y fue un factor impulsor de las lluvias de este quinquenio. También ocurrieron con otros eventos El Niño de igual magnitud 1982-1983 y 1997-1998 y dejaron sus huellas en los quinquenios que contuvieron estos eventos.

Sin embargo, es de notar que las precipitaciones del último evento El Niño 2015-2016 se dieron en una atmósfera global más caliente y es probable que ese calentamiento haya sido otro factor de apoyo para producir más lluvias, ya que como se ha mencionado anteriormente, en una atmósfera más caliente cabe potencialmente más cantidad de vapor de agua y por ende poder de producir más precipitación, evidenciando de esta forma que existe una influencia directa del calentamiento global en las precipitaciones.



El aumento observado en la precipitación media anual en el país (3 mm/año) apunta a un clima más húmedo, sin embargo, el aumento de la temperatura produce un aumento de la evaporación, y esto favorece el secamiento de los suelos, especialmente en primavera y verano, pudiendo contrarrestar los efectos de una mayor precipitación.

Gráfico 14. **Precipitación total media anual por quinquenios en el Paraguay (barra azul) y tendencia lineal (línea roja), flechas rojas años indican quinquenios con eventos El Niño fuerte. Período 1950-2019.**



Fuente de datos: DINAC. Elaboración propia.



La precipitación media anual del quinquenio 2015-2019 (1.691 mm) fue un 15% superior a la precipitación media anual del periodo climatológico normal 1961-1990 (1.464 mm).

La precipitación en décadas

En un análisis a nivel país, desde el año 1950, se observa una tendencia del aumento de las precipitaciones por períodos de 10 años (Gráfico 15), también puede observarse que en décadas donde han ocurrido eventos de El Niño, especialmente fuerte, las precipitaciones han sido claramente mayores que en otras décadas (flechas rojas), en estos casos existe un acople o superposición de la variabilidad climática interanual (Fase cálida del ENSO) con el calentamiento global o de largo plazo, y esto se ve reflejado en el régimen de precipitaciones.

En función de esto, llama la atención la precipitación media de la década 2010-2019 (1.628 mm), resultó ser la más lluviosa en relación con las anteriores, y coincidentemente esta década también resultó ser la más caliente (resultado observado anteriormente). La precipitación media de la década 2010-2019 (1.628 mm) fue un 11% superior a la precipitación media del periodo referencial 1961-1990 (1.464 mm).

Pero también llama la atención el marcado descenso de la precipitación de la década 2000-2009, en comparación a las 2 décadas anteriores a ella y de la última (Gráfico 15). Colocando ciertos interrogantes acerca del aumento de la precipitación decadal y su relación con el aumento de los GEI en esta región del mundo.

A diferencia de las variaciones interanuales, pocas investigaciones se realizaron en tratar de explicar las variaciones decadales a multidecadales de la precipitación en el sudeste de Sudamérica (SESA)⁵³, región delimitada por 40°-25°S, 65°-45°O, esa tendencia estuvo marcada en el siglo XX por un aumento de las precipitaciones, pero se encontró con un secamiento en la primera década del siglo XXI (Gráfico 15).

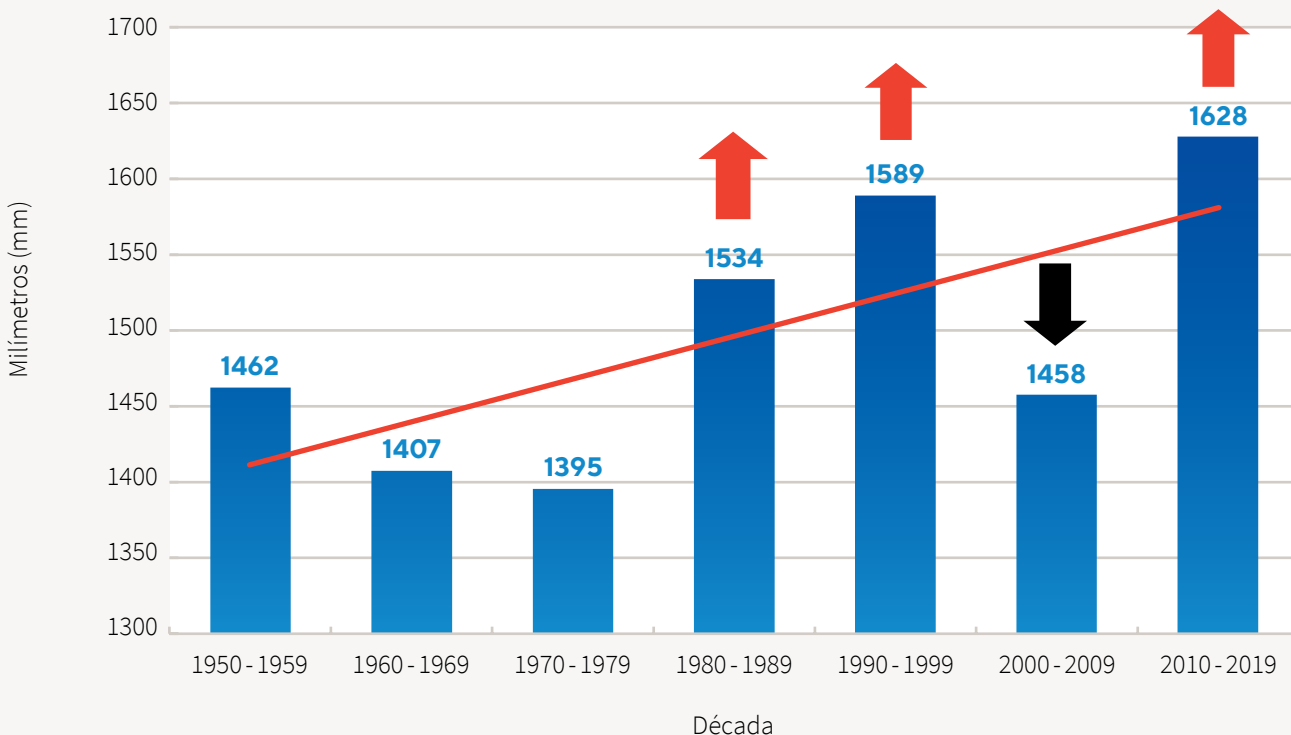
Simulaciones con 2 modelos climáticos de alta resolución (GFDL CM2.5 y FLOR-FA) explican el aumento de las precipitaciones decadales en respuesta al forzamiento radiativo de los GEI crecientes (Zhang, 2016), pero también encontraron que un fortalecimiento de los vientos alisios del Pacífico asociada a la variabilidad decadal del Pacífico (PDV) propiciaron la caída de la precipitación en década 2000-2009 en SESA, también indicaron que pasado este efecto, con la vuelta de los alisios a la normalidad, continuaría la tendencia del aumento de la precipitación decadal en el SESA, en respuesta al calentamiento global, fundamentalmente en el período de noviembre a abril (época lluviosa en SESA), y de hecho esto ha estado ocurriendo, la precipitación de la década 2010-2019 volvió a aumentar (en Paraguay fue la más lluviosa).



La última década 2010-2019 fue la más lluviosa desde 1950, superando a otros periodos similares anteriores. También fue la década más caliente, este hecho estaría exacerbando las precipitaciones. Según simulaciones recientes de modelos climáticos de alta resolución, las precipitaciones decadales en el sudeste de Sudamérica, incluido el Paraguay, estarían aumentando en respuesta al forzamiento radiativo causado por el aumento de los GEI antrópicos.

Gráfico 15. **Precipitación media anual por décadas en el Paraguay (barra azul) y tendencia lineal (línea roja). Periodo 1950-2019.**

Flechas rojas indican décadas de respuesta al calentamiento antrópico y la variabilidad natural del Pacífico, la flecha negra indica la respuesta de la precipitación decadal a un fortalecimiento de los vientos alisios del Pacífico, probablemente asociado a la variabilidad decadal del Pacífico (PDV) creando condiciones de TSM⁵⁴ mayormente frías en el Pacífico tropical.



Fuente de datos: DINAC. Elaboración propia.

53 El centro y sur de la Región Oriental del Paraguay forman parte del SESA.

54 Temperatura de la superficie del mar.

2.3.3 EVENTOS EXTREMOS

Los eventos meteorológicos extremos también son indicadores de cambio climático que producen altos impactos económicos y sociales. Un evento meteorológico extremo es un evento “raro” en determinado lugar y época del año. Aunque las definiciones de raro son diversas, la rareza normal de un fenómeno meteorológico extremo sería igual o superior a los percentiles 10 o 90 de la estimación de la función de densidad de probabilidad observada. Por definición, las características de un fenómeno meteorológico extremo pueden variar de un lugar a otro en sentido absoluto⁵⁵.

El cambio climático para cualquier lugar en particular de la Tierra viene con cambios en la naturaleza y frecuencia de eventos meteorológicos extremos. Los cambios en la media de un elemento climático (temperatura, precipitación, humedad, etc.) o de fenómeno climático (sequía, olas de calor, etc.) deben tener consecuencias en la intensidad de los extremos. Por lo tanto, la serie recientemente observada de eventos de clima extremo debe haber sido influenciada por las temperaturas medias más altas. Esto implica que al menos parte de los daños causados por los eventos extremos se debe al cambio climático inducido por el hombre (Vellinga, 2000).

En este estudio hemos observado cambios en la temperatura anual media a través de la tendencia positiva observada en la serie temporal. Este hecho sienta bases para entender que los eventos extremos en Paraguay están en parte influenciados por el cambio climático.

Crecidas extremas

Las inundaciones son uno de los eventos hidroclimáticos extremos más frecuentes en el Paraguay, con un territorio surcado por grandes ríos como el Paraná y su afluente principal el río Paraguay. Este último cruza el país y lo divide en dos regiones naturales, la Occidental o Chaco a su margen derecha (oeste) y la Oriental a su margen izquierda (este).

El río Paraguay es un río de llanura y tiene la particularidad que su período de crecida anual se encuentra desfasado en aproximadamente 6 meses respecto de la temporada de lluvias que lo ocasiona, esto se debe a que en su cuenca alta se encuentra el Pantanal⁵⁶ que acumula el agua de la temporada de lluvia (verano) para ir descargando lentamente meses después (Figura 12). Entonces, la crecida cíclica anual llega a territorio paraguayo (cuenca media y baja) entre mayo y julio (otoño-invierno).



El período de crecida anual del río Paraguay se encuentra desfasado en aproximadamente 6 meses respecto de la temporada de lluvias que lo ocasiona, esto se debe a que en su cuenca alta se encuentra el Pantanal que acumula el agua de la temporada de lluvia para ir descargando lentamente meses después.

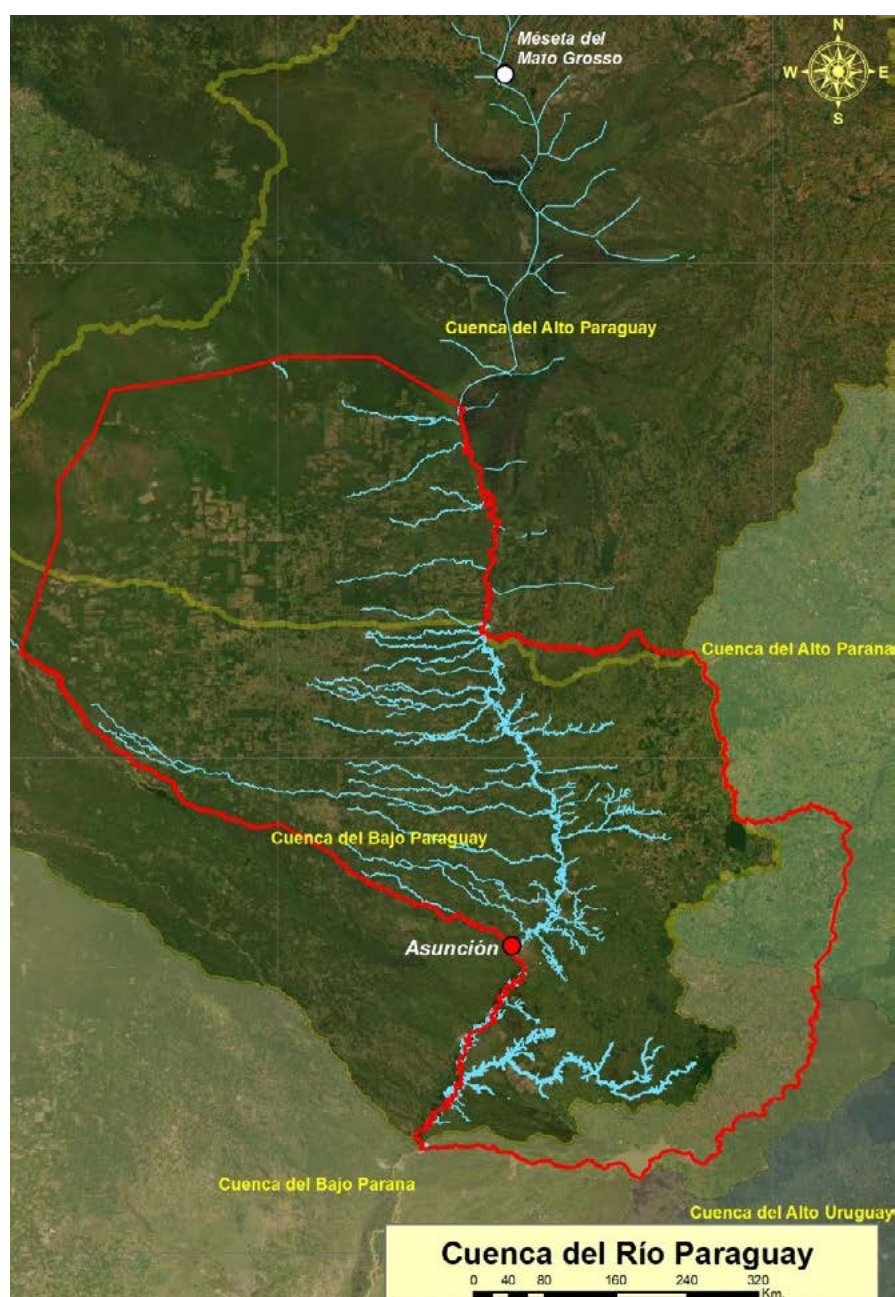
55 IPCC, 2013: Glosario.

56 Humedal más grande del mundo.

Asunción y capitales departamentales como Concepción, Pilar y otras ciudades como Bahía Negra, Fuerte Olimpo, Puerto Rosario, Alberdi y otras se encuentran asentadas sobre este río, siendo muy importante la cantidad de personas que viven en áreas ribereñas.

Actualmente, la población que vive en zonas ribereñas inundables de Asunción está en torno a 100.000 personas, en la totalidad de los bañados de Asunción, o bien cerca de un 20% de la población de la Capital (de poco más de 500.000 habitantes). Los pobladores de los bañados se ven obligados a abandonar sus viviendas por un largo periodo con todas sus implicancias en las áreas educativas, sanitarias y alimentación.

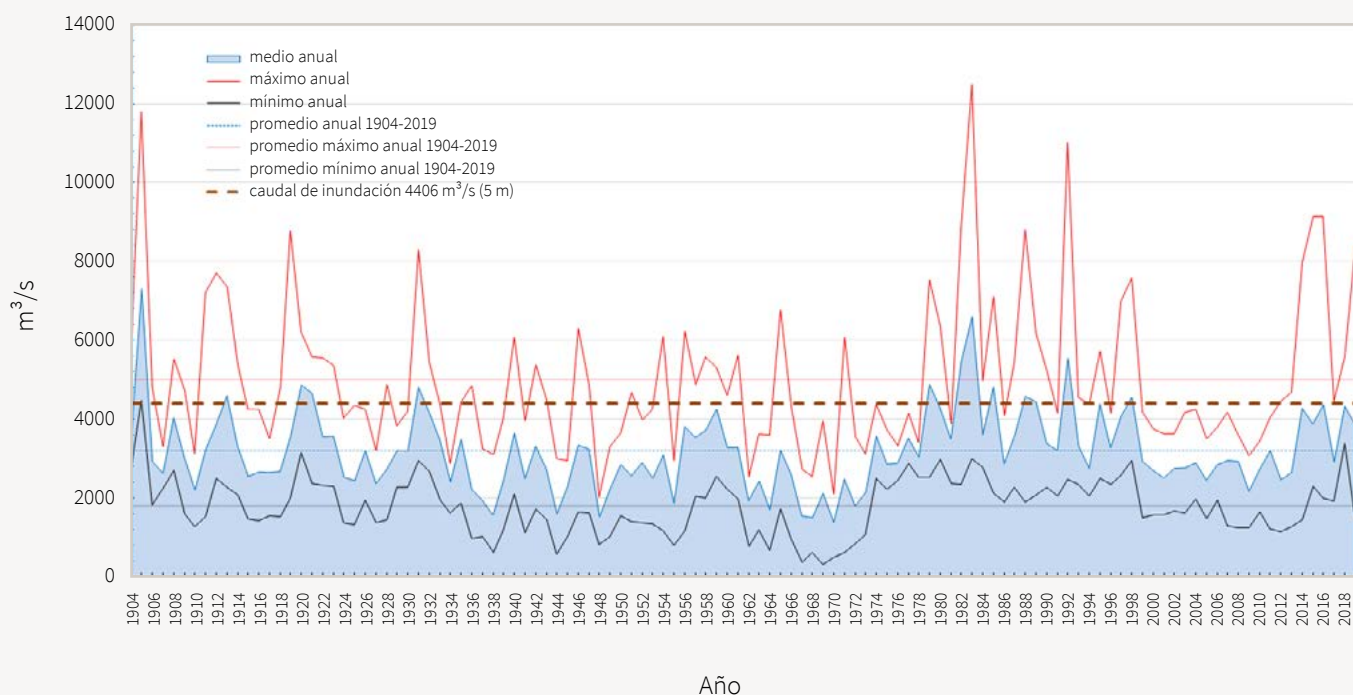
Figura 12. Cuenca del río Paraguay (color oscuro) y ubicación de la estación hidrométrica Asunción en la cuenca baja.



Elaboración propia.

Según los registros de datos hidrométricos diarios de Asunción del período 1904-2010⁵⁷ (Gráfico 16), en el mismo se identifican los caudales medios anuales y los caudales máximos y mínimos extremos de cada año. También se muestra el caudal de inundación correspondiente a una altura hidrométrica de 5 m. Los caudales del río Paraguay en Asunción fueron calculados a partir de las alturas hidrométricas (Ávila, 2018).

Gráfico 16. Caudales anuales del río Paraguay en Asunción. Período 1904-2019.



Fuente de datos: ANNP. Elaboración propia.

Cuadro 8. Las 10 crecidas máximas del río Paraguay en Asunción. Período 1904-2019.

Orden	Año	Altura (cm)	Caudal (m³/s)	ENSO
1	1983	905	12.493	El Niño fuerte
2	1905	880	11.790	El Niño fuerte
3	1992	855	11.002	El Niño fuerte
4	2015	788	9.142	El Niño fuerte
5	2016	788	9.142	El Niño fuerte
6	1982	776	8.846	El Niño fuerte
7	1988	775	8.822	El Niño fuerte
8	1919	774	8.797	El Niño moderado
9	2019	758	8.420	Neutro
10	1931	752	8.284	El Niño débil

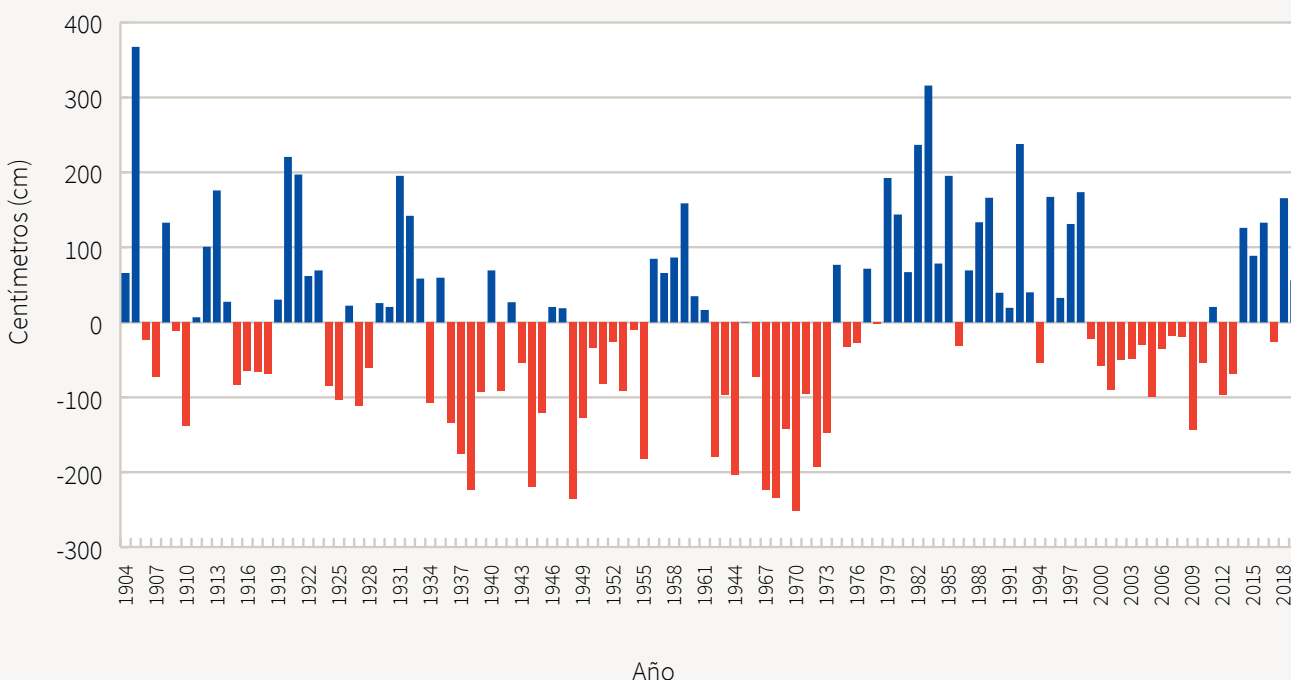
Fuente de datos: ANNP. Elaboración propia.

57 Estación hidrológica con la serie de altura hidrométrica más larga del país.

De las 10 mayores crecidas ocurridas en Asunción, la del año 1983 y la del año 1905, fueron las 2 mayores, llegando a alcanzar una altura de 905 cm (12.493 m³/s) y 880 cm (11.790 m³/s) respectivamente. En casi 120 años de datos hidrométricos (1904-2019), 4 de las mayores crecidas ocurrieron en un período corto de 11 años (1982-1992) y durante el siglo XXI ocurrieron otras 3 grandes crecidas ([Cuadro 8](#)).

Las crecidas extremas del río Paraguay en Asunción están influenciadas por la fase cálida del ENSO, El Niño mayormente fuerte ([Cuadro 8](#)), salvo la última crecida del año 2019.

Gráfico 17. Anomalía de la altura media anual del río Paraguay en Asunción en relación con la altura media histórica (318 cm) del periodo 1904-2019 (positiva barra azul y negativa barra roja).



Fuente de datos: ANNP. Elaboración propia.

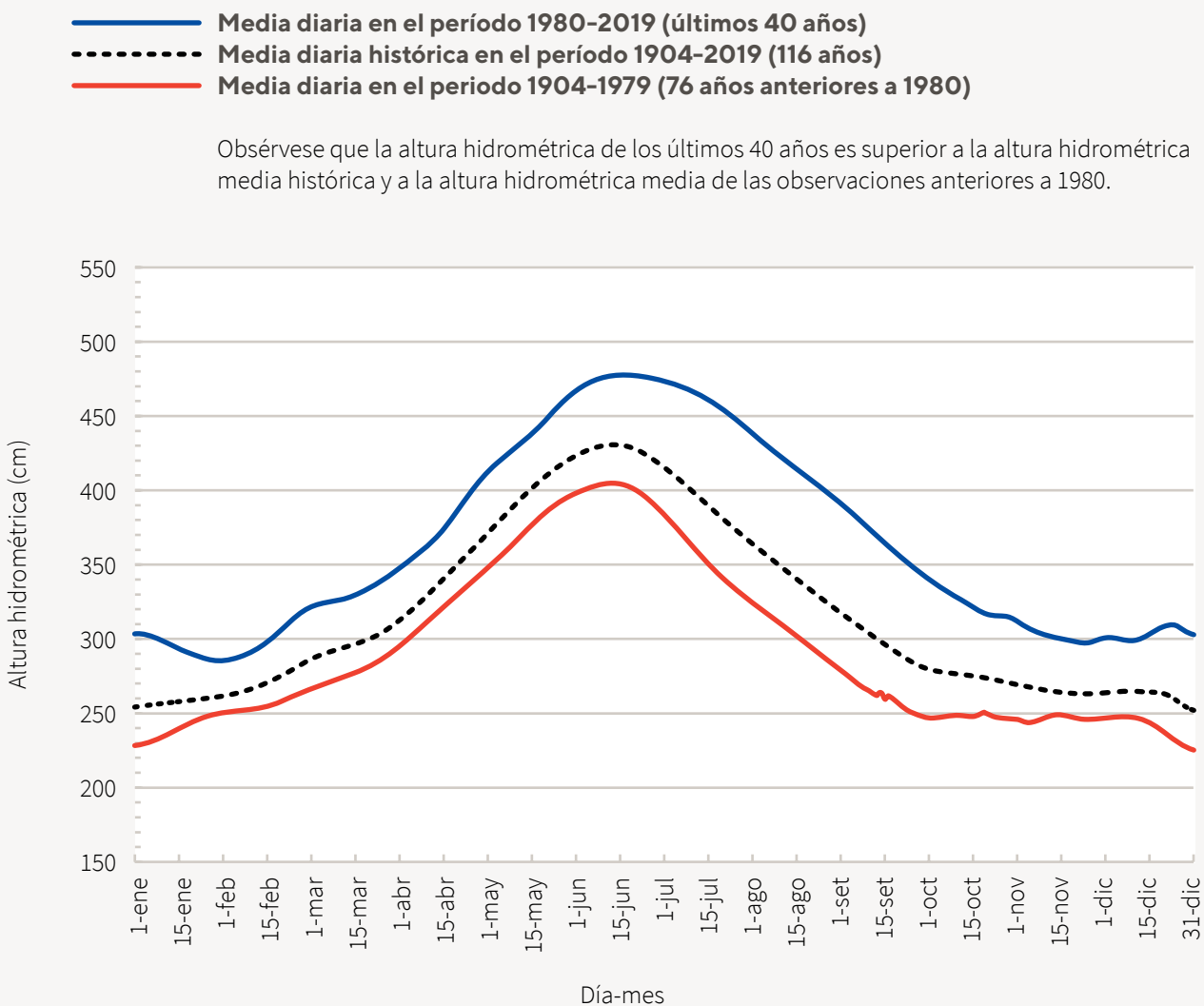
Es de notar que los niveles medios anuales respecto de la media anual histórica de 1904-2019 (318 cm) han sido positivos en la década de los 80 y de los 90, coincidente con dominio de la fase cálida del ENSO (El Niño) y luego de una pausa con anomalías negativas en los primeros 15 años del siglo XXI, volvieron a ser positivas en los últimos años (2015 al 2019) ([Gráfico 17](#)); este es un indicador de dominio de aguas altas en los últimos 40 años (1980 al 2019), este hecho no se ha observado en el pasado. Los estiajes más pronunciados se producen con la fase fría del ENSO (La Niña) tal como ocurrió en el período 1999-2012 cuando hubo dominio de condiciones frías y se vio reflejado en los niveles por debajo de la media del río Paraguay ([Gráfico 17](#)).



En los últimos 40 años, por efecto del calentamiento global y la variabilidad natural del clima, el nivel del río Paraguay se incrementó en 72 cm respecto a las observaciones del pasado.

El calentamiento global, por efecto del aumento de los gases de efecto invernadero, y la variabilidad natural del clima han facilitado el aumento de las precipitaciones en el período 1980-2019, excepto en la primera década del siglo XXI cuando la variabilidad natural del clima tuvo un efecto de enfriamiento y reducción de la precipitación (Zhang, 2016), tal como se mostró en el capítulo de relacionado a la precipitación, y este comportamiento de la precipitación se refleja directamente en el caudal (y altura hidrométrica) del río Paraguay (Gráfico 16, Gráfico 17). En condiciones medias de largo plazo el nivel hidrométrico del río Paraguay en los últimos 40 años (1980-2019) fue superior a la altura media histórica (1094-2019) y a la altura hidrométrica media del período anterior a 1980 (1904-1979) (Gráfico 18). La diferencia de nivel entre el primero y el último es de 72 cm o sea que este es el incremento observado en la altura media del río Paraguay en los últimos 40 años respecto a las observaciones del pasado.

Gráfico 18. Altura hidrométrica media diaria del río Paraguay en los periodos 1980-2019 (curva azul arriba), 1904-2019 (curva negra al medio) y 1904-1979 (curva roja abajo).



Fuente de datos: ANNP. Elaboración propia.

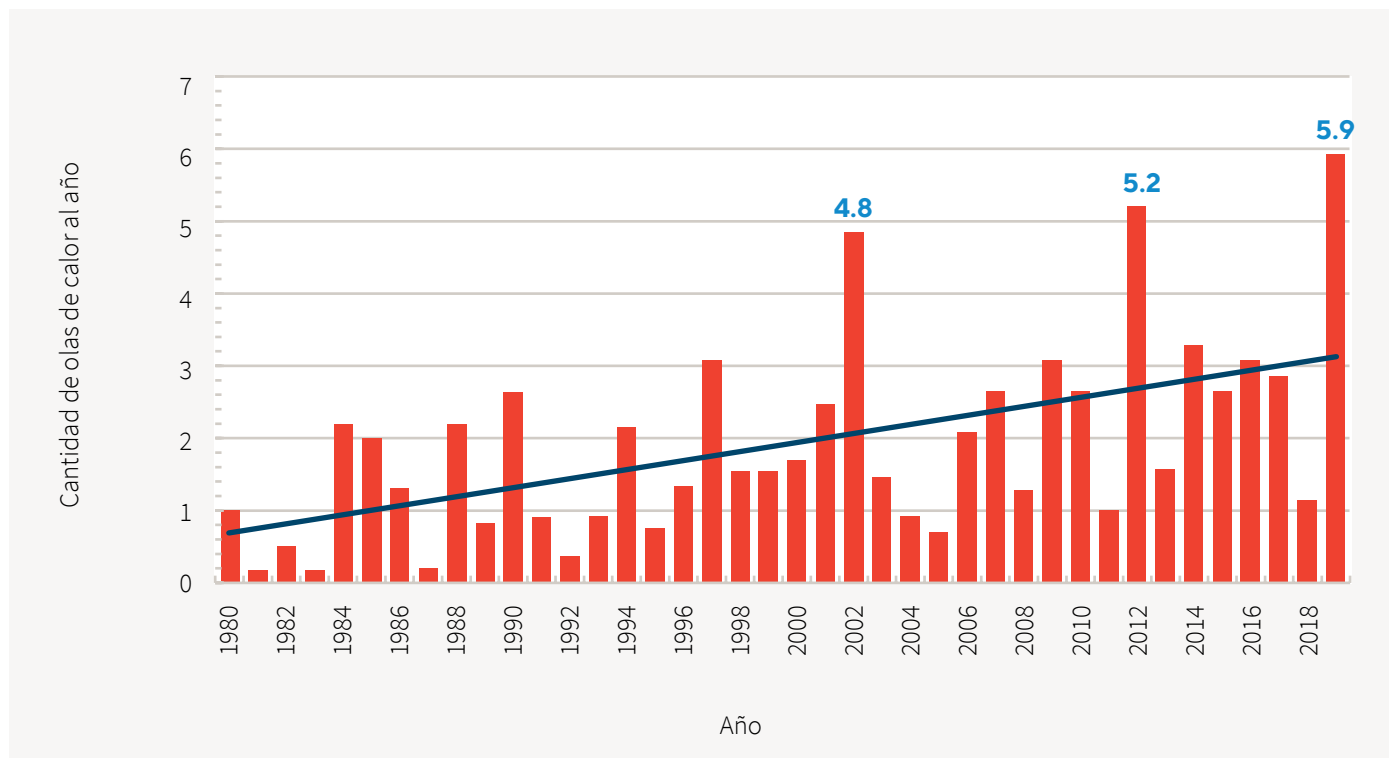
Olas de calor

El Paraguay tiene una primavera y un verano mayormente calientes, y con frecuencia acontecen días con temperaturas elevadas que pueden configurar una ola de calor. Se llama ola de calor a un período con algunos días consecutivos de calor excesivo, que superan un cierto umbral elevado, y que pueden tener impactos negativos en la salud y ser peligrosas para la vida misma de las personas expuestas⁵⁸.

La definición de ola de calor depende de cada lugar, no existe una aceptación universal, sin embargo, está orientado a caracterizar situaciones de un tiempo caliente en un determinado lugar. La Dirección de Meteorología e Hidrología de la DINAC define una ola de calor como aquel periodo de tiempo de al menos 3 días consecutivos, sin lluvia, con temperaturas máximas diarias que superen el límite inferior del percentil 90 de su distribución, y que a su vez las temperaturas mínimas diarias superen el límite inferior del percentil 90, en ese mismo período. Este método mostró que son fáciles de calcular y son aplicables a territorios que presentan regiones caracterizadas por una gran variabilidad climática (Perkins, 2013).

Como la temperatura varía apreciablemente en Paraguay de una zona a otra, la DINAC ha definido los umbrales de temperaturas máximas y mínimas para definir una ola de calor en todas las estaciones meteorológicas que administra. Estos umbrales utiliza la institución con fines operativos cuando se emite un aviso meteorológico de ola de calor. En el Anexo 3 se muestra el ejemplo de datos de olas de calor para la estación meteorológica del Aeropuerto Internacional Silvio Pettirossi.

Gráfico 19. Cantidad de olas de calor medio anual en Paraguay. Período 1980-2019.



Fuente de datos: (Jara, 2020). Elaboración propia.

58 En el verano de 2003, las olas de calor mataron a cerca de 70.000 personas en Europa (Le Roy Ladurie, 2017)

En un trabajo de investigación sobre olas de calor en Paraguay (Jara, 2020), se estudian las olas de calor registradas por 14 estaciones meteorológicas, distribuidas en forma homogénea y representativas de todas las zonas del país, durante el período 1980-2019. Los datos de este estudio muestran un incremento abrupto de las olas de calor en Paraguay (Gráfico 19). En este siglo XXI se presentaron 3 años con las mayores cantidades de olas de calor al año y que resaltan por sobre los otros años, el año 2019 tuvo el récord de cantidad de olas de calor (5,9), en segundo lugar el año 2012 (5,2) y en tercer lugar el año 2002 (4,8).

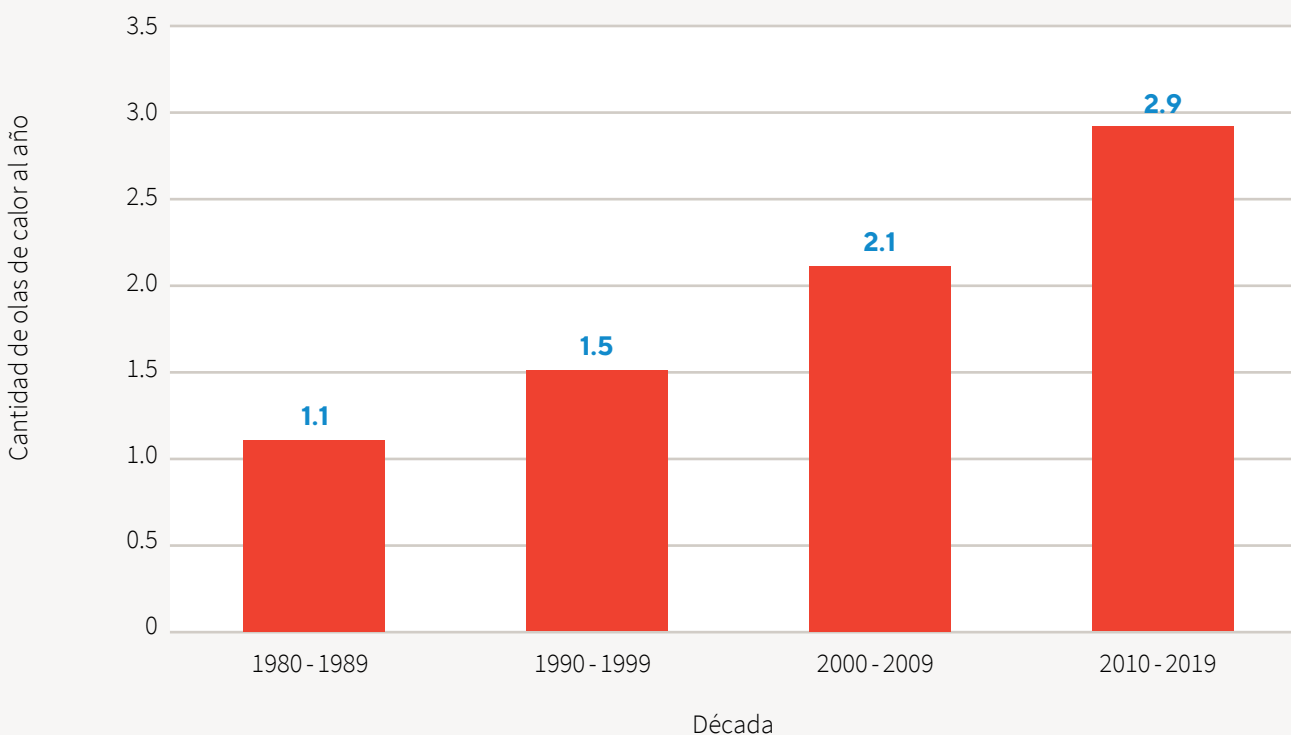
Tomando los datos de este trabajo inédito aún, se concluye que la cantidad de las olas de calor en el Paraguay están aumentando, de 1,1 olas de calor al año en promedio en el período 1980-1989, se incrementó a 2,9 olas de calor al año en promedio en el período 2010-2019 (Gráfico 20). Esto implica que la cantidad de olas de calor casi se triplicaron en los últimos 40 años.

Los resultados obtenidos en este estudio sobre las olas de calor en Paraguay son consistentes con otras investigaciones, por ejemplo, en Europa occidental en el periodo que va de 1880 a 2005, se ha encontrado que la longitud de las olas de calor del verano se ha duplicado y casi se ha triplicado la cantidad de eventos de olas de calor (Della-Marta, 2007), otros estudios en la región sudamericana llegan a resultados similares (Rusticucci, 2015).



La cantidad de las olas de calor en el Paraguay están aumentando. De 1,1 olas de calor al año en promedio en el período 1980-1989, se incrementó a 2,9 en promedio en el período 2010-2019. Esto implica que la cantidad de olas de calor casi se triplicaron en los últimos 40 años.

Gráfico 20. Cantidad de olas de calor media anual en Paraguay, según décadas. Período 1980-2019.



Fuente de datos: DINAC. Elaboración propia.



Laguna Flamenco, totalmente seca por la falta de lluvias en la época más seca de la primavera chaqueña. Fotografía: Elton Núñez (yluux.com)

Sequías

La sequía carece de una definición clara y universalmente aceptable y esto contribuye a controversias sobre este fenómeno (Glantz, 1977). En su vocabulario meteorológico internacional, la OMM define a la sequía como: un período de tiempo con condiciones meteorológicas anormalmente secas, suficientemente prolongado como para que la falta de precipitaciones cause un grave desequilibrio hidrológico.

Otros autores, dependiendo del sector que afecta la falta de agua, utilizan conceptos tales como, sequía meteorológica, sequía agrícola, sequía hidrológica y sequía socioeconómica (Heim, 2002).

La sequía es un fenómeno natural, sin embargo, en muchas regiones del mundo parecen estar exacerbándose, tal como ocurre en Australia y Chile, en este último país se habla de megasequía 2010-2020, sin precedentes históricos, algunos científicos sugieren que el cambio climático forma parte de las causas de estos hechos. No obstante, en muchos casos, la gestión deficitaria de los recursos hídricos disponibles puede agravar la situación de falta de agua.

Algunos estudios sobre sequías se han hecho en Paraguay, recientemente se publicó un estudio que trata sobre la caracterización de la sequía en el Paraguay, utilizando 2 diferentes métodos (Benítez, 2018), el índice estandarizado de precipitación (SPI, siglas en inglés), y el índice estandarizado de precipitación y evapotranspiración (SPEI, siglas en inglés) (Svoboda, 2012). Son índices que permiten expresar tanto las sequías como los períodos húmedos, de ambos índices, el SPI es el de uso más generalizado y utiliza solo datos de precipitación, a partir de la función de distribución de probabilidades y desviación normal ([Cuadro 9](#)).

Como resultado se han determinado sequías moderadas a severas a las ocurridas en 1967-1969, 1971-1972, 1977-1979, 1981-1982, 1986-1989, 1993-1995, 2003-2004, 2008-2009, 2012-2013 y recientemente 2018-2019. Esta última con impactos muy

severos en el sector agropecuario y en el hidroeléctrico, y continuando a principios del 2020 (Gráfico 21). En este mismo estudio indica que en general una sequía de importancia no siempre afecta a todo el territorio nacional, sin embargo, la ocurrida en 2008-2009 prácticamente afectó a todo el país.

De este mismo gráfico se desprende que en las dos primeras décadas del presente siglo se han registrado dos sequías severas por década, esta frecuencia parece ser del mismo orden que las sequías observadas en el siglo pasado, contabilizadas desde 1960. Particularmente severas han sido la del 2008-2009 y la del 2018-2019.

En el capítulo relacionado a impactos del clima en Paraguay en el año 2019 se pueden observar los efectos recientes de la última sequía que sigue teniendo efectos negativos a inicios del año 2020, especialmente en la producción agrícola como también en la producción de energía de origen hidroeléctrico.



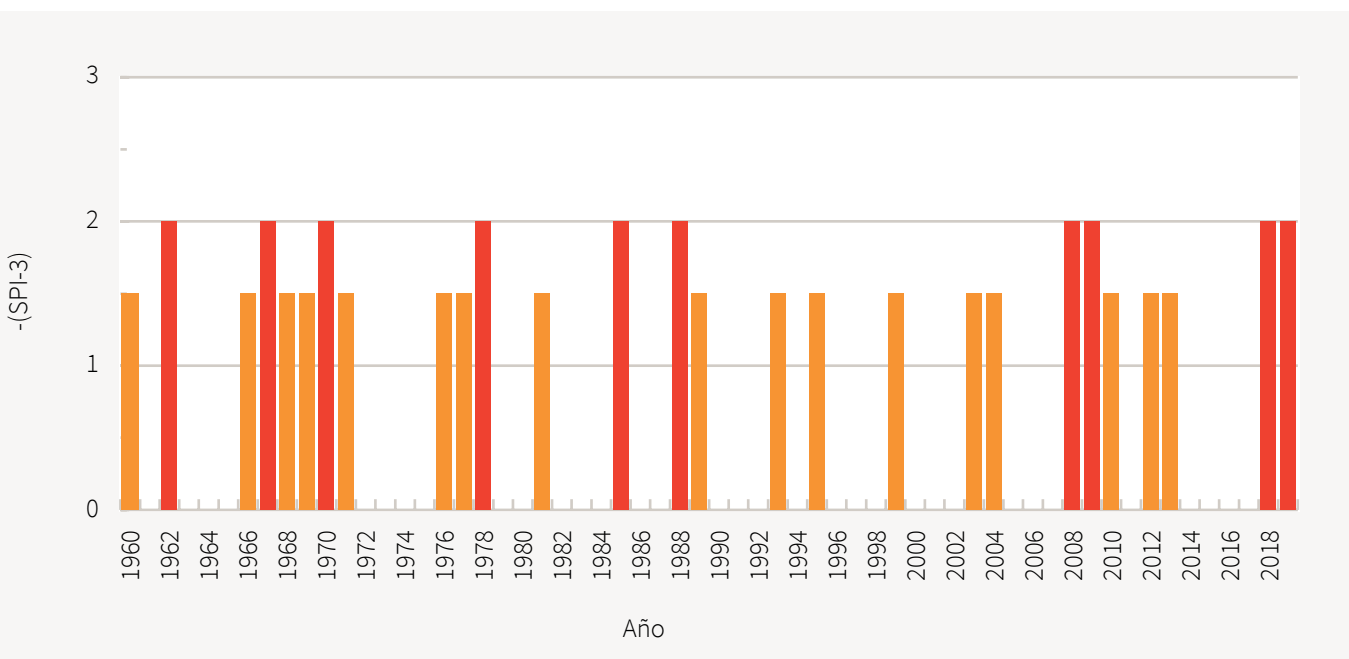
La OMM define a la sequía como: un período de tiempo con condiciones meteorológicas anormalmente secas, suficientemente prolongado como para que la falta de precipitaciones cause un grave desequilibrio hidrológico.

Cuadro 9. Clasificación de valores de SPI y categoría de sequía.

0 a -0,99 SPI	-1,00 a -1,49 SPI	-1,50 a -1,99 SPI	≤ -2,00 SPI
SEQUÍA LEVE	SEQUÍA MODERADA	SEQUÍA SEVERA	SEQUÍA EXTREMA

Fuente de datos: DINAC. Elaboración propia.

Gráfico 21. Años con sequías moderadas (barra color ocre) y sequías fuertes (barra color marrón) en Paraguay en el período 1960-2019. Escala vertical solo valores de SPI-3 negativos. Estos casos consideran sequías que han cubierto al menos una gran parte del territorio.



Datos: (Benítez, 2018). Elaboración propia.

IMPACTOS DEL CLIMA EN PARAGUAY EN EL AÑO 2019



Mientras la Organización Mundial de Meteorología (OMM) confirmó que el 2019 fue el segundo año más caliente de la historia, después del 2016, el mundo registró eventos extremos como olas de calor, sequías y consecuentes incendios forestales devastadores, como los de Australia y de otras partes del mundo, niveles récords de aumento del nivel del mar, retroceso de los mantos de hielo y tormentas devastadoras como el huracán Dorian en el Caribe⁵⁹.

El año 2019 el Paraguay estuvo matizado por diferentes eventos extremos en cortos períodos de tiempo. Sequías severas, lluvias intensas, inundaciones, olas de calor, incendios forestales y tormentas severas se han sucedido impactando en la economía, medioambiente, bienes, seguridad de las personas y en la salud.

Eventos extremos en el año 2019

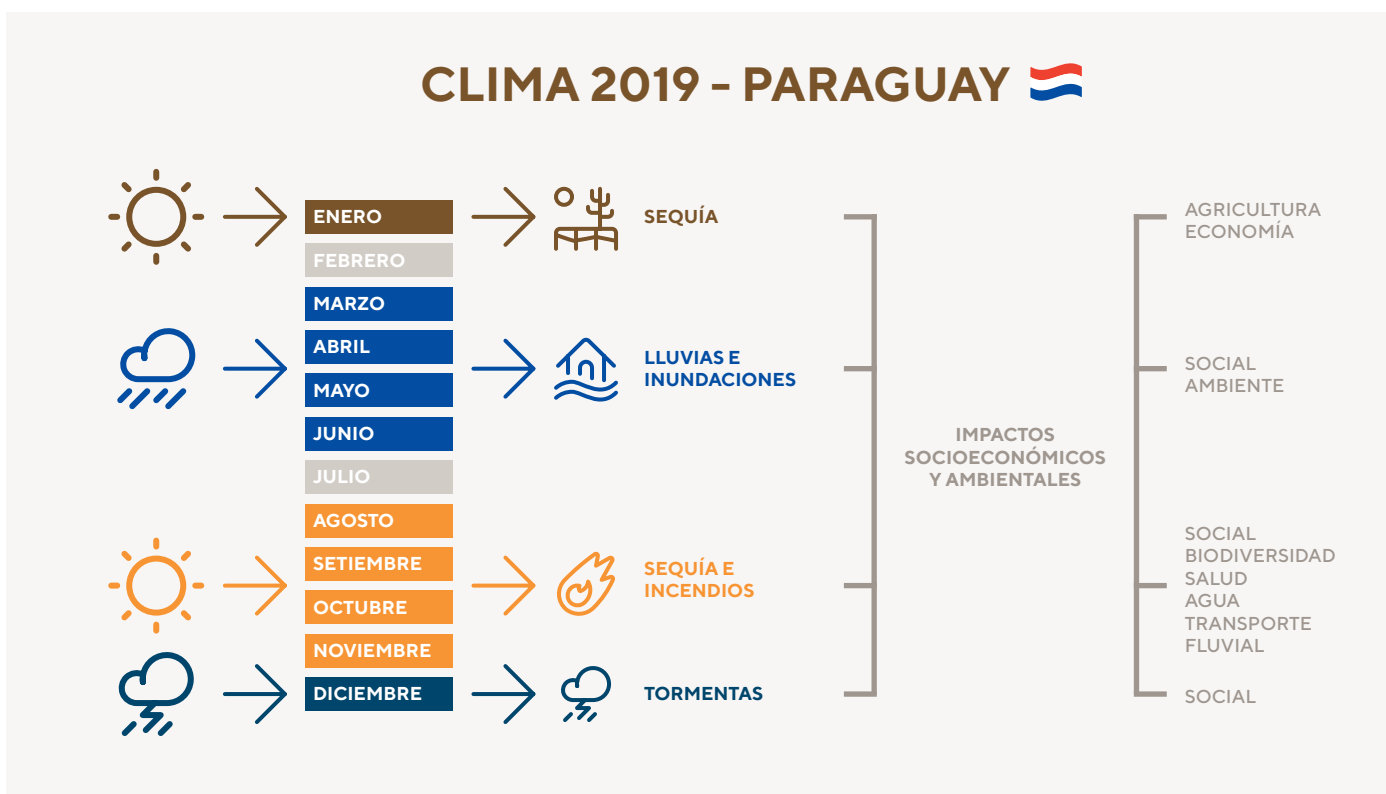
La Figura 13 es una recreación artística y simple de cómo los eventos climáticos extremos se han sucedido cronológicamente y han abarcado prácticamente la totalidad del calendario del año 2019, salvo los meses de febrero y julio que fueron relativamente normales, los demás meses han presentado eventos climáticos extremos que de una forma u otra han tenido un impacto ambiental, económico y social en el país.

El cambio climático ha dado muestras en este 2019 de un comportamiento asociado a una de sus características típicas, los eventos extremos. Seguidamente se describen sucintamente los eventos climáticos extremos más relevantes en 2019 y sus impactos. De inicio a fin se han observado manifestaciones climáticas de alto impacto.



En el 2019, el Paraguay estuvo matizado por diferentes eventos extremos: sequías severas, lluvias intensas, inundaciones, olas de calor, incendios forestales y tormentas severas.

Figura 13. Cronología de eventos extremos ocurridos en el año 2019.



3.1 SEQUÍA SEVERA AFECTA A LA AGRICULTURA

El clima tuvo un impacto severo en la producción agrícola, especialmente en la soja en la campaña agrícola 2018/2019, ya que el exceso de humedad en la primavera 2018, las altas temperaturas y la reducción de lluvias en un 70% aproximadamente configuraron una sequía entre diciembre de 2018 y enero de 2019 lo que produjo según la CAPECO⁶⁰ y la UGP⁶¹ un quiebre en la producción de la oleaginosa del 23,5%.

De las estimaciones iniciales de cosechar 10,2 millones de toneladas de soja en el año 2019 se cosecharon 7,8 millones de toneladas, produciéndose una merma de 2,4 millones de toneladas, en consecuencia 350 millones de dólares fue la pérdida debido al clima, a esto se sumó la disminución del 20% de la cotización en el mercado internacional, o sea, el país dejó de ingresar 1,34 billones de dólares en el año 2019 por afectaciones a la soja, tal como refleja la prensa local (Figura 14). El quiebre en la cadena productiva también tuvo un impacto significativamente negativo en el PIB.

Figura 14. La prensa local se hace eco del impacto del clima en la agricultura⁶²



60 Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas

61 Unión de Gremios de la Producción

62 Fuente: <https://www.hoy.com.py/negocios/sequia-golpeo-fuerte-a-la-soja-y-se-perdida-us-1.100-millones-en-divisas>

3.2 INUNDACIONES REPENTINAS EN EL NORTE DEL PAÍS

Luego del impacto económico que produjo la sequía al inicio del año 2019 y luego de un mes de relativa normalidad climática, como el mes de febrero del mismo año, el clima empezó a mostrar la otra cara de la moneda, cuando lluvias intensas cambiaron el panorama. Este fenómeno climático se inició en el mes de marzo de 2019 con grandes lluvias en la zona norte del país (Figura 15); en la figura se puede apreciar que la zona sur del departamento de Alto Paraguay, noreste de Presidente Hayes, gran parte del departamento de Concepción y una parte del departamento de Amambay presentan un núcleo de color naranja pálido lo que indica precipitaciones de alrededor de los 400 mm; en la misma figura se aprecia otro núcleo de color naranja fuerte que indica precipitaciones de unos 450 mm y ya fuera del territorio paraguayo, específicamente en el Estado de Mato Grosso (Brasil) el núcleo en color rojo indica lluvias de alrededor de 500 mm.

Figura 15. **Precipitación acumulada en marzo del año 2019 mostrando núcleos de lluvia intensos en el norte de la Región Oriental, parte del Chaco y Estado de Mato Grosso (Brasil). La paleta de colores (derecha) indica el rango de la precipitación en milímetros (mm).**

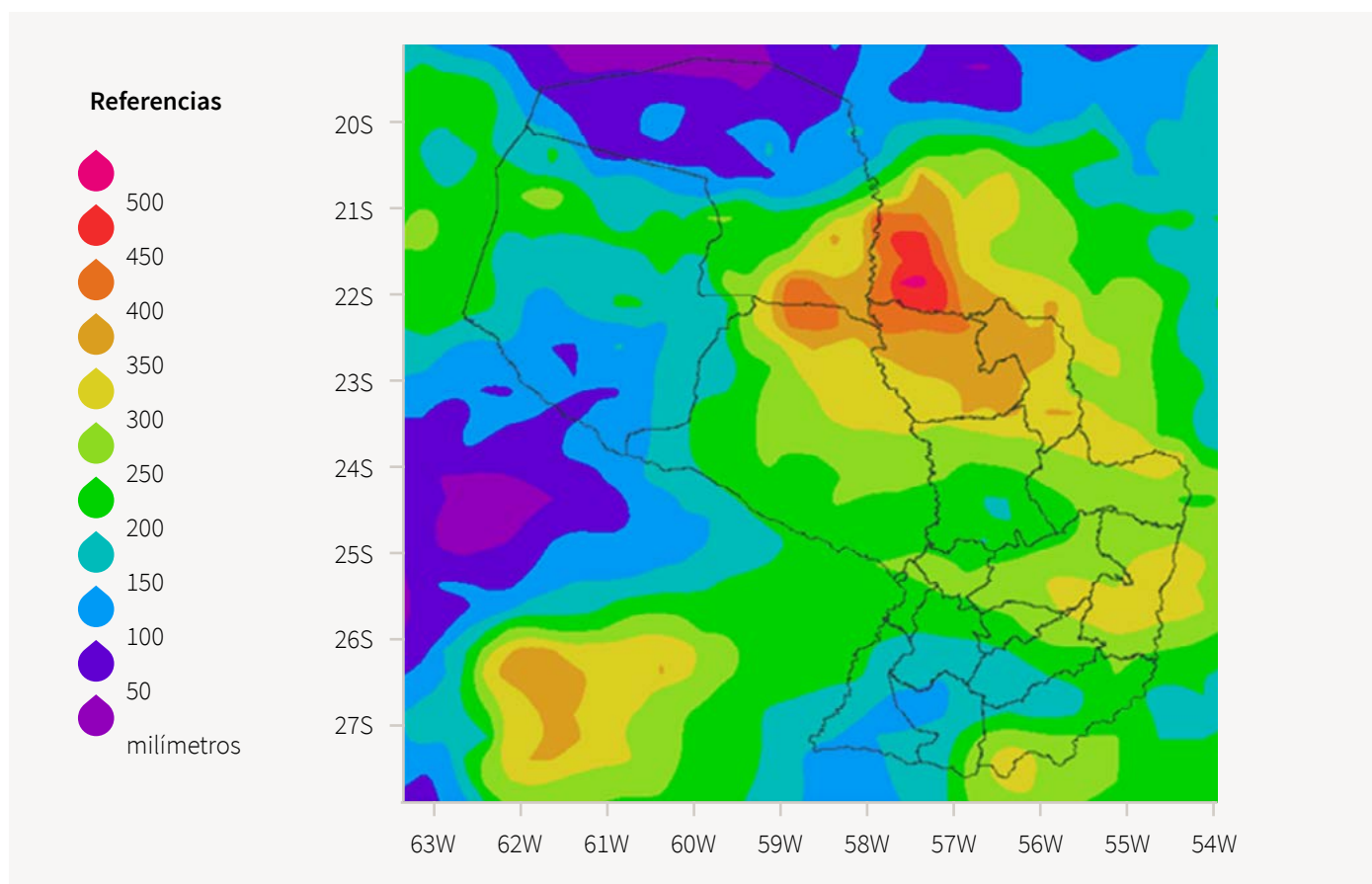
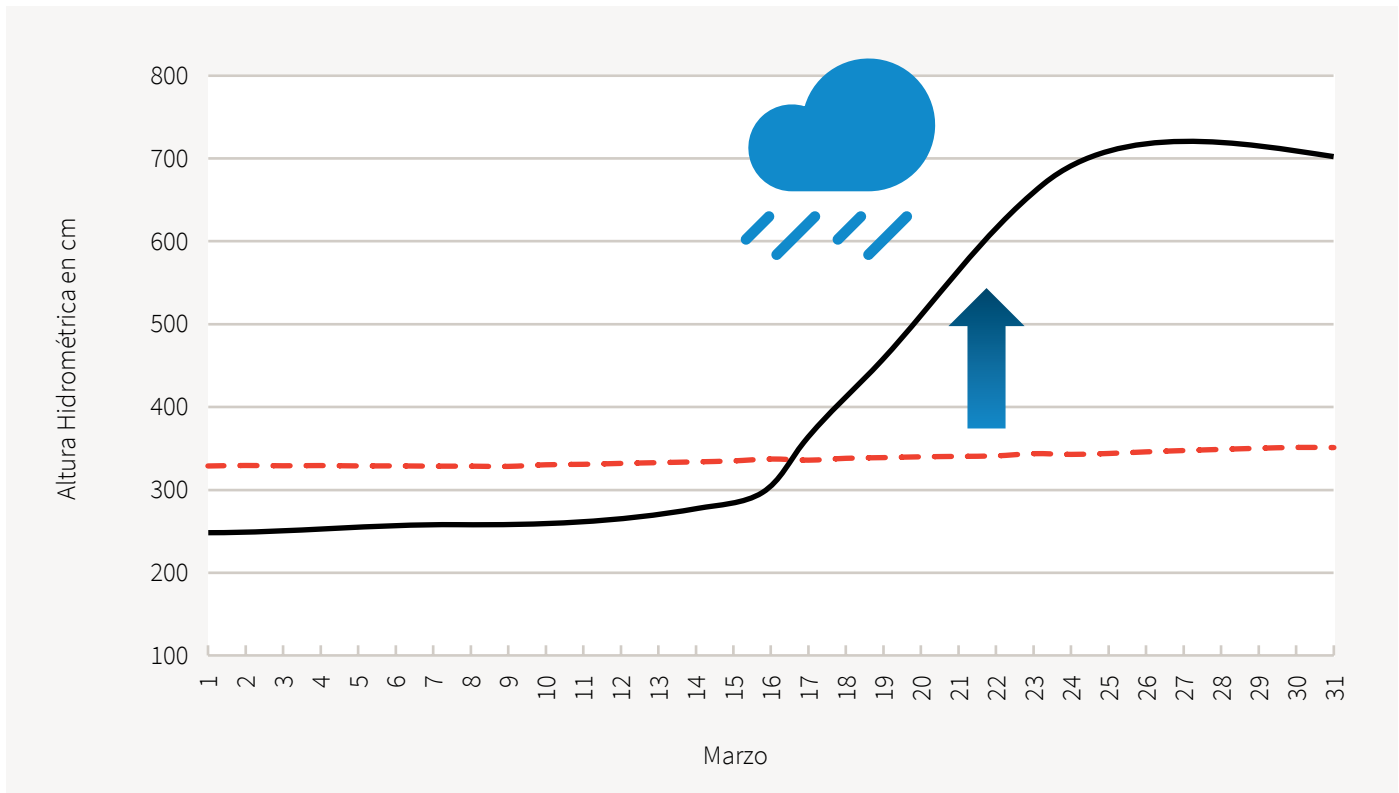


Gráfico 22. **Altura del río Paraguay en Concepción, durante el mes de marzo del año 2019 (línea continua) y su nivel medio en el mes (línea cortada).**



Fuente de datos: DINAC. Elaboración propia.

Estas lluvias, caídas en corto tiempo, se dieron en cuencas afluentes del río Paraguay que produjeron escorrentías rápidas lo que a su vez produjo una brusca subida del nivel del río Paraguay. Este es un caso de cómo un evento meteorológico extremo (lluvias intensas en corto tiempo) genera un evento hidrológico extremo observado en el nivel de las aguas del río Paraguay. En la ciudad de Concepción el río Paraguay subió 4 m en una semana (16 al 24 de marzo), de un nivel de 3 m creció a un nivel de 7 m a razón de 50 cm por día, este tipo de crecidas repentinas es extraordinario tratándose de un río de llanura como el Paraguay, que normalmente para esta época del año presenta un nivel de 3,2 a 3,5 m en esa ciudad (Gráfico 22).

Figura 16. **Inundación en Concepción**⁶³



Fecha: 22-03-2019

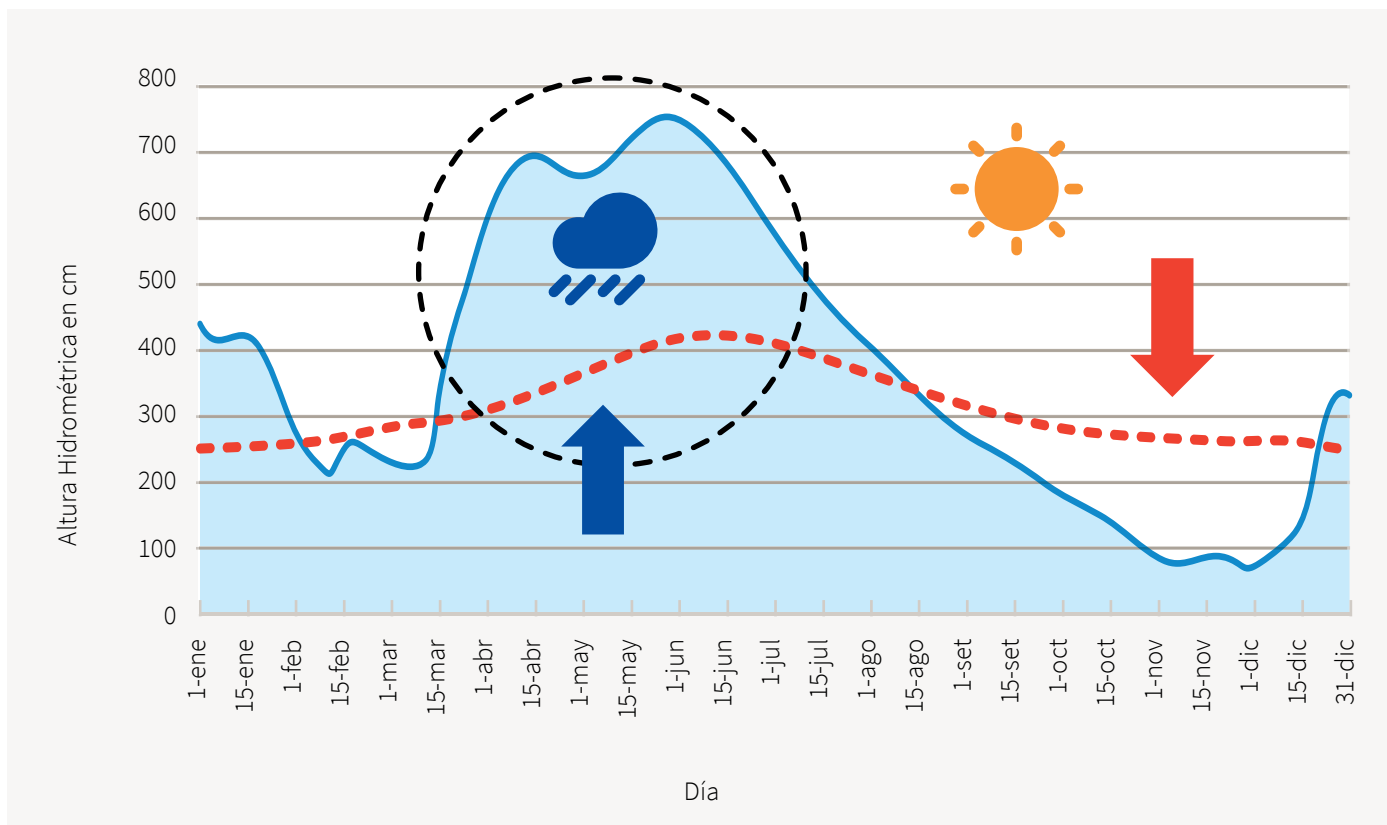
63 Fuente: <http://www.concepcion-py.com/2019/03/se-agudiza-problema-de-familias.html>

3.3 INUNDACIONES CÍCLICAS DEL RÍO PARAGUAY

El río Paraguay presenta un ritmo de crecidas cíclicas que tienen normalmente su pico máximo en Asunción, en el mes de junio, con una marca de 4,3 m y su nivel mínimo en Asunción, entre diciembre y enero, con 2,5 m. En el año 2019, las grandes lluvias de marzo y abril produjeron crecidas atípicas importantes y anticipadas, la lluvia de marzo en el norte del país fue el desencadenante de una crecida anormal muy acelerada, en Asunción se registró un evento extraordinario cuando en 30 días, 15 de marzo a 15 de abril, el río subió en casi 5 metros (2,2 m a 7,7 m)⁶⁴, hecho no observado anteriormente en más de un siglo de observaciones hidrológicas (Gráfico 23).

Esta situación repentina puso en estado de alerta a las poblaciones ribereñas, a partir de abril, luego en mayo y junio, más de 70.000 personas tuvieron que ser desplazadas de sus hogares, la mayoría pobladores de las zonas bajas de Asunción y de otros 14 departamentos de los 17 que tiene el país⁶⁵. En otro aspecto, cerca de 200 escuelas tuvieron que cerrar sus aulas por las lluvias y la crecida del río⁶⁶.

Gráfico 23. **Altura hidrométrica diaria del río Paraguay en Asunción en el año 2019 (línea azul continua) comparada con su nivel medio (línea roja cortada). Círculo color negro indica la crecida.**



Fuente de datos: ANNP. Elaboración propia.

64 Según datos hidrométricos de la ANNP.

65 Según datos de la SEN

66 Según datos del MEC

El pico de la crecida en el año 2019 en la ciudad de Asunción llegó a principios de junio con una marca de 7,58 m (3,3 m por encima de lo normal), marca superada en solo 6 ocasiones en el pasado y particularmente durante la ocurrencia de los eventos El Niño moderados o fuertes, como fueron en 1905, 1918-19, 1982-83, 1987-88, 1991-92, y recientemente en 2015-16. La máxima crecida histórica en Asunción se registró en mayo de 1983 con una marca de 9,01 m⁶⁷.

Paradójicamente, mientras que el río Paraguay llegaba a su pico máximo de crecida durante el mes de junio, se iniciaba un proceso de sequía meteorológica que se prolongaría por el invierno y gran parte de la primavera⁶⁸.

Figura 17. **Crecida del río Paraguay afectando zonas bajas de Asunción⁶⁹.**



Fecha: 18/05/2019.

Figura 18. **Un bote transporta a personas desplazadas por una calle inundada de los bañados de Asunción⁷⁰.**



Fecha: 10/05/2019.

67 Según datos de ANNP

68 Según datos de DINAC

69 Fuente: <https://cdn-www.lanacionpy.arcpublishing.com/pais/2019/05/18/mas-de-12500-familias-fueron-evacuadas-debido-a-la-crecida-del-rio-paraguay/>

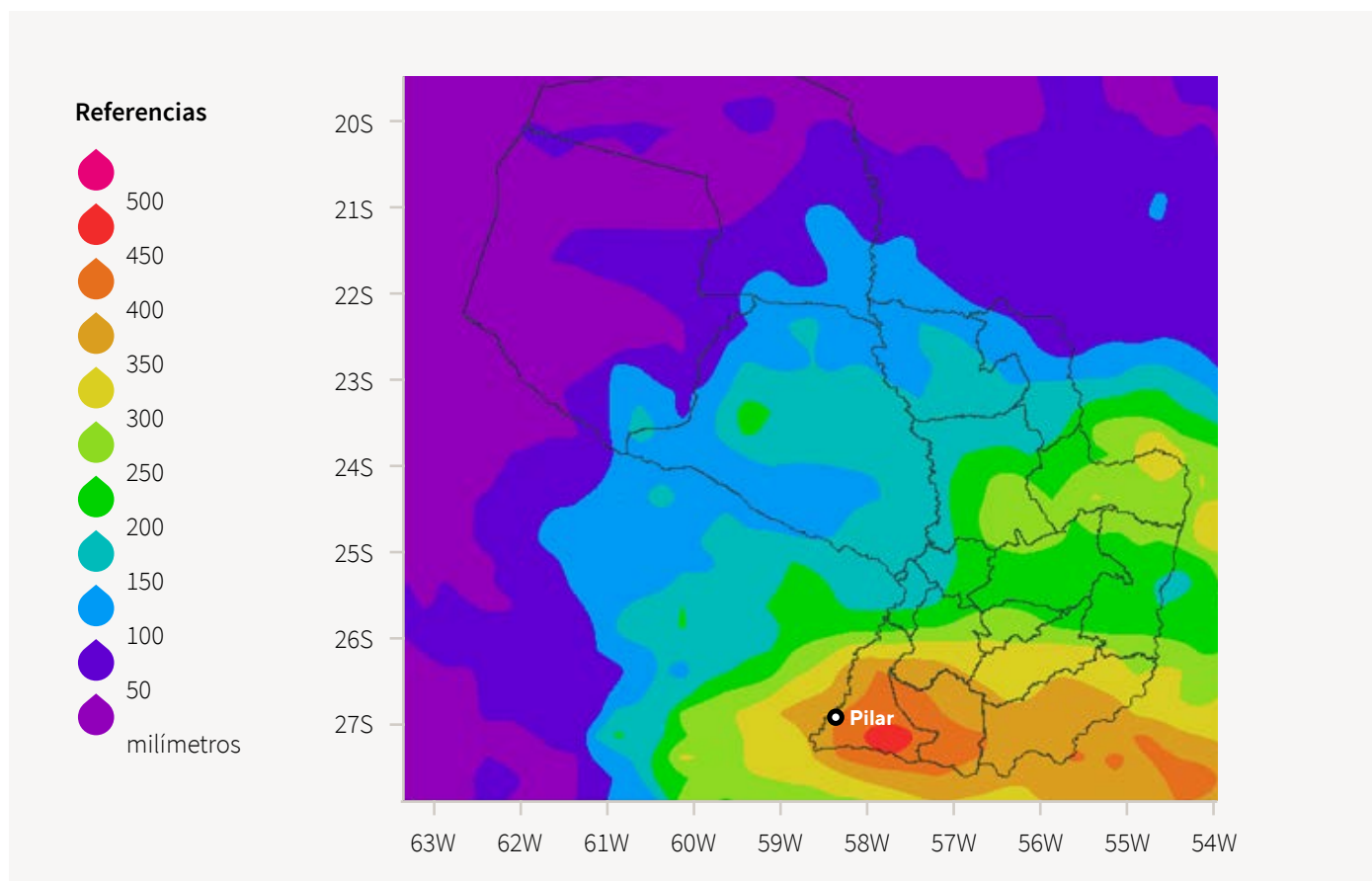
70 Fuente: https://www.clarin.com/mundo/fotogalerias-paraguay-declara-emergencia-inundaciones_5_e6TLlFxW4.html

3.4 LLUVIA EXTREMA E INUNDACIONES EN ÑEEMBUCÚ

Las inundaciones del río Paraguay llegaron a su pico máximo a finales de mayo y principios de junio, dejando tras de sí meses de inundaciones iniciadas en marzo.

El departartamento de Ñeembucú fue uno de los más afectados por las inundaciones del año 2019, por un lado, la crecida cíclica y exacerbada del río Paraguay de ese año, y al mismo tiempo, por las inundaciones de campos bajos y humedales producto de la lluvia histórica ocurrida en el mes de mayo de 2019, en su capital Pilar llovió 533 mm (Figura 19). Esta lluvia representó 5 veces la lluvia normal del

Figura 19. **Estimación por satélite de precipitación acumulada (mm) en mayo del año 2019, un núcleo de precipitación máxima se sitúa sobre los departamentos del sur del país; Ñeembucú, Misiones, y en menor medida Itapúa (color marrón a rojo). La paleta de colores (derecha) indica en rango de la precipitación en milímetro (mm).**



mes de mayo (100 mm) y el 38% de la precipitación total anual (1.420 mm)⁷¹.



Según la prensa local (Figura 20), la SEN⁷² informó que el 90% de la ciudad de Pilar se vio afectada por las inundaciones, dejando unas 40.000 personas damnificadas.

Esta lluvia extraordinaria de mayo de 2019, que afectó fundamentalmente a los departamentos de Ñeembucú y Misiones, causó inundaciones de extensos campos y humedales, afectando principalmente a la ganadería (Figura 21) y aislando a muchos poblados (Figura 22)^{73, 74}.

La lluvia extraordinaria de mayo de 2019, causó inundaciones de extensos campos y humedales, afectando principalmente a la ganadería y aislando a muchos poblados.

Figura 20. Inundación de la ciudad de Pilar⁷⁴. Fecha 11/05/2019.

NACIONALES

Inundación afecta el 90% de Pilar y se registran más de 10.000 familias damnificadas

11 DE MAYO DE 2019

El 90% de la ciudad de Pilar, ubicada en el Departamento de Ñeembucú, se vio afectada por las inundaciones que han dejado, hasta el momento, a 10.150 familias damnificadas, según informaron desde la Secretaría de Emergencia Nacional (SEN).



El distrito fue declarado en alerta amarilla y actualmente el nivel del río Paraguay está a 9,21 metros de altura. Foto: Centileza.

71 Según datos de DINAC

72 Secretaría de Emergencia Nacional

73 Diario Última Hora, 26/05/2019

74 Fuente: <https://www.ultimahora.com/inundacion-afecta-el-90-pilar-y-se-registran-mas-10000-familias-damnificadas-n2818796.html>

Figura 21. La actividad ganadera del departamento de Ñeembucú afectada por las inundaciones de campos por lluvia histórica de mayo 2019⁷⁵.



Fecha:26/05/2019.

Figura 22. Calles inundadas en Pilar, Ñeembucú, afectada por la lluvia histórica en mayo 2019⁷⁶.



Fecha: 12/05/2019. Fotografía de Robert Bourgoing.

75 Fuente: <https://www.ultimahora.com/inundacion-neembucu-mortandad-del-ganado-se-ha-ce-sentir-fuerza-n2821612.html>

76 Fuente: <https://www.hoy.com.py/nacionales/inundacion-en-pilar-la-lucha-de-una-ciudad-para-salir-adelante-en-medio-del-agua>

3.5 INUNDACIONES URBANAS EN ASUNCIÓN



Más allá del impacto socioeconómico y ambiental de los efectos del cambio climático, hay que considerar la seguridad de la personas, ya que durante lluvias torrenciales se produzcan fatalidades.

Las tormentas de otoño suelen ser muy peligrosas, en la tarde del 10 de mayo de 2019 se dio un evento que afectó severamente a la capital, Asunción; una lluvia torrencial de corta duración, acompañada de granizo, precipitó un total de 80 milímetros de agua con intensidad inusitada⁷⁷, la misma fue suficiente para generar inundaciones urbanas de gran peligrosidad (Figura 23). El tráfico vehicular colapsó por la tremenda riada y varios vehículos fueron arrastrados por las aguas hasta quedar apilonados en algunos puntos de la ciudad.

Este tipo de tormentas es común, especialmente entre otoño y primavera, y demuestra la vulnerabilidad de la ciudad y su gente; ante este tipo de eventos, estas imágenes son elocuentes y muestran evidencias de la necesidad de adaptación de las ciudades ante estos fenómenos que serían cada vez más frecuentes por efectos del cambio climático. Más allá del impacto socioeconómico y ambiental, hay que considerar la seguridad de la personas, ya que no es raro que en este tipo de situaciones se produzcan fatalidades.

Figura 23. Inundaciones urbanas en calles de Asunción generadas por la tormenta.



Vehículos apilonados por la fuerza de la riada en una calle céntrica⁷⁸ (izq.) y viaductos inundados por la tormenta⁷⁹ (der.). Fecha: 10/05/2019.

77 Según datos de DINAC

78 Fuente: <https://www.abc.com.py/nacionales/raudaes-piden-no-salir-a-las-calles-1813054.html>

79 Fuente: <https://www.abc.com.py/nacionales/lluvia-raudaes-y-caos-1813047.html>

3.6 SEQUÍAS, OLAS DE CALOR E INCENDIOS FORESTALES

Mientras que las aguas altas del otoño aún seguían inundando las ciudades ribereñas del río Paraguay, con una crecida histórica y pocas veces superada, inmediatamente después se inicia el invierno con un mes de junio de 2019 extremadamente seco, las lluvias en este mes registraron valores históricos mínimos en muchas localidades del país (Cuadro 10). Por ejemplo; en Asunción la lluvia fue 0 mm de una media de 72 mm. Este mes de junio de 2019, extremadamente seco, sucede a un mes de mayo de 2019, extremadamente lluvioso, como habíamos visto anteriormente, en un claro ejemplo de extremos climáticos que se suceden en corto tiempo, de un mes a otro.

En todo el país los meses del invierno (junio, julio y agosto) estuvieron marcados por lluvias escasas, en general llovió menos de 50 mm durante el invierno de 2019, esta sequía facilitó la aparición de los primeros incendios forestales y de campos.



Según el Gráfico 23, la primavera del 2019 resultó ser la más caliente en cincuenta años (26 °C).

La tendencia de aumento de la temperatura media en primavera es de 0,05 °C por año, a este ritmo de calentamiento, en el año 2050, nuestra primavera tendría una temperatura de 1,5 °C superior a la actual.

Cuadro 10. Lluvia de junio del año 2019 y su referencia.

Localidad	Lluvia (mm)	Lluvia normal de junio (mm) ⁸⁰	Lluvia respecto a la normal (%)	Comentario
Mariscal Estigarribia	7	21	33	
Puerto Casado	9	60	15	
Pozo Colorado	1	40	3	
Concepción	26	60	43	
San Pedro	9	90	10	
Pedro Juan Caballero	54	96	56	
Salto del Guairá	9	100	9	
Asunción	0	72	0	Valor histórico ⁸¹
Paraguarí	0	77	0	Valor histórico
Villarrica	1	115	1	Valor histórico
San Juan Bautista	11	100	11	
Pilar	3	65	5	
Encarnación	4	136	3	Valor histórico

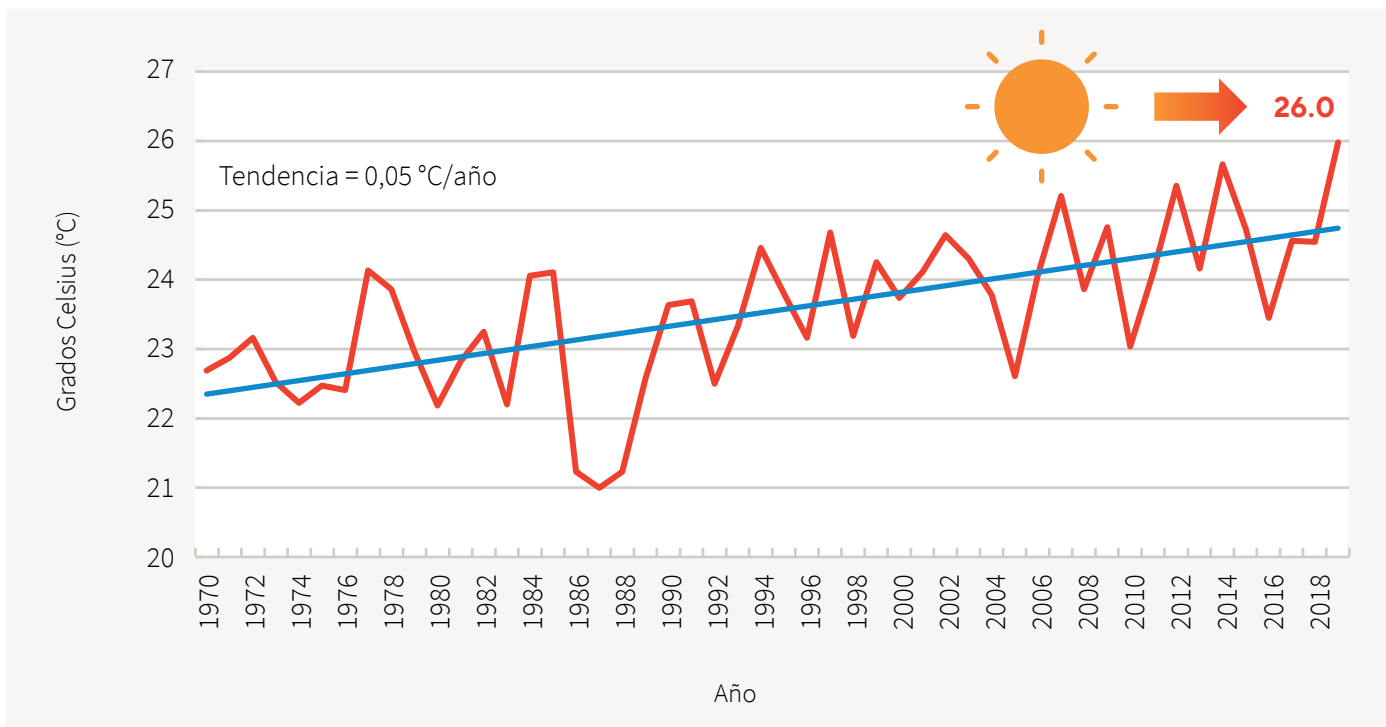
Elaboración propia.

80 Fuente: DINAC, promedio normal 1961-1990

81 Valor nunca antes registrado

Favorecida por el invierno seco, la primavera siguiente (septiembre, octubre y noviembre) resultó ser la más caliente de la historia del país, la sequía del invierno y de los principios de primavera facilitó las olas de calor en primavera. Las altas temperaturas de la primavera del 2019⁸² lograron ubicarla como la primavera más caliente de la historia paraguaya con una temperatura media de 26 °C (Gráfico 24), y una anomalía de +2,9 °C (la más alta observada) respecto de la temperatura media de primavera del periodo 1971-2000 (Gráfico 25).

Gráfico 24. Temperatura media de primavera (Set-Oct-Nov) en el Paraguay (rojo) y tendencia lineal (azul), período 1970-2019. Obsérvese la tendencia al aumento de la temperatura en primavera.



Elaboración propia.

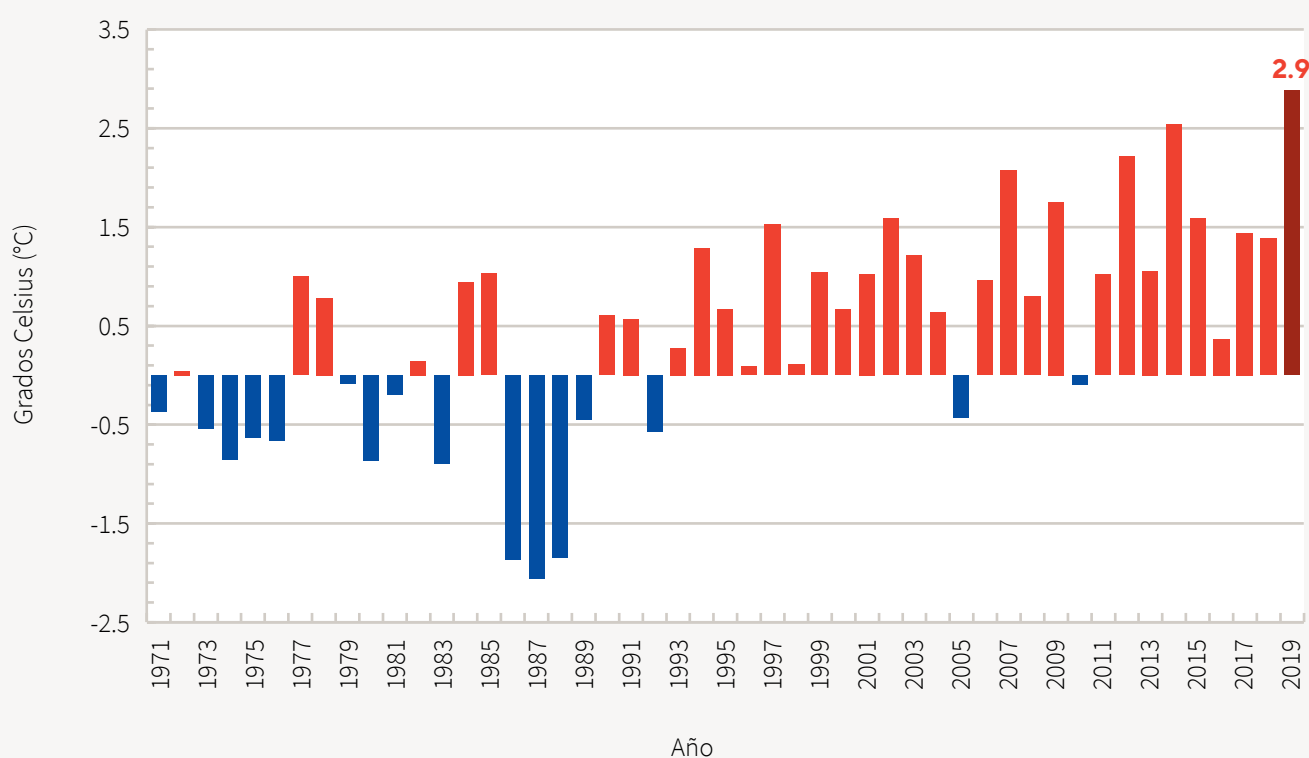


Asunción cubierta de humo. Fotografía: Juan Carlos Meza (@fotociclo). Fecha: 16/09/2019.



La primavera del año 2019 tuvo una temperatura media de 2,9 °C por encima de la temperatura media de 1971-2010, la anomalía de temperatura media de primavera más alta, jamás registrada, y estuvo asociada a sequías, olas de calor e incendios forestales.

Gráfico 25. Anomalía de la temperatura media de primavera (Set-Oct-Nov) respecto de la temperatura media de primavera del período climatológico normal 1971-2000.



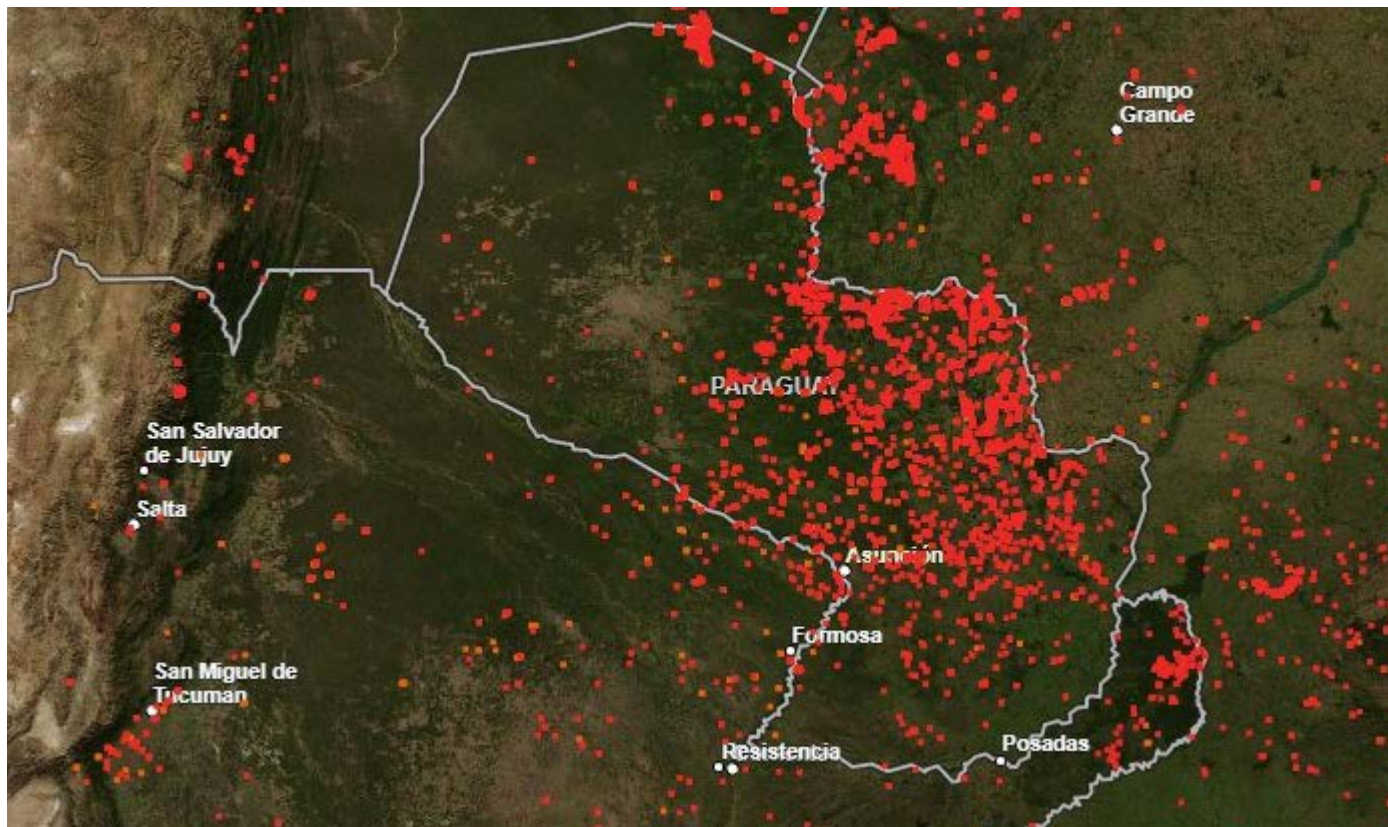
Fuente de datos: DINAC. Elaboración propia.

Más allá de los valores medios de temperatura, durante la primavera de 2019 se registraron picos de calor extremo, en septiembre se midieron temperaturas máximas de hasta 43 °C en el Chaco Central, en octubre en todo el país se llegó a registrar temperatura entre 40 y 43 °C, y en noviembre, el centro y norte del país alcanzaron temperaturas de 44 °C. En esta primavera de 2019 se batieron varios récords de temperaturas máximas⁸³, este evento extremo de calor en primavera estuvo asociado a incendios forestales y otros impactos ambientales y socioeconómicos.

Según la Secretaría de Emergencia Nacional (SEN), cerca de 325.000 ha fueron afectadas por los incendios forestales. Para mediados de septiembre de 2019 en Paraguay estaban activos unos 7.853 focos de incendios (Figura 24), facilitados por las olas de calor y la sequía.

83 Fuente: DINAC, Boletín climatológico

Figura 24. **Focos de incendios**⁸⁴.



Fecha: 10/09/2019

Figura 25. **Incendio forestal en la Reserva Natural Tati Yupi**⁸⁵.



Fecha: 10/09/2019

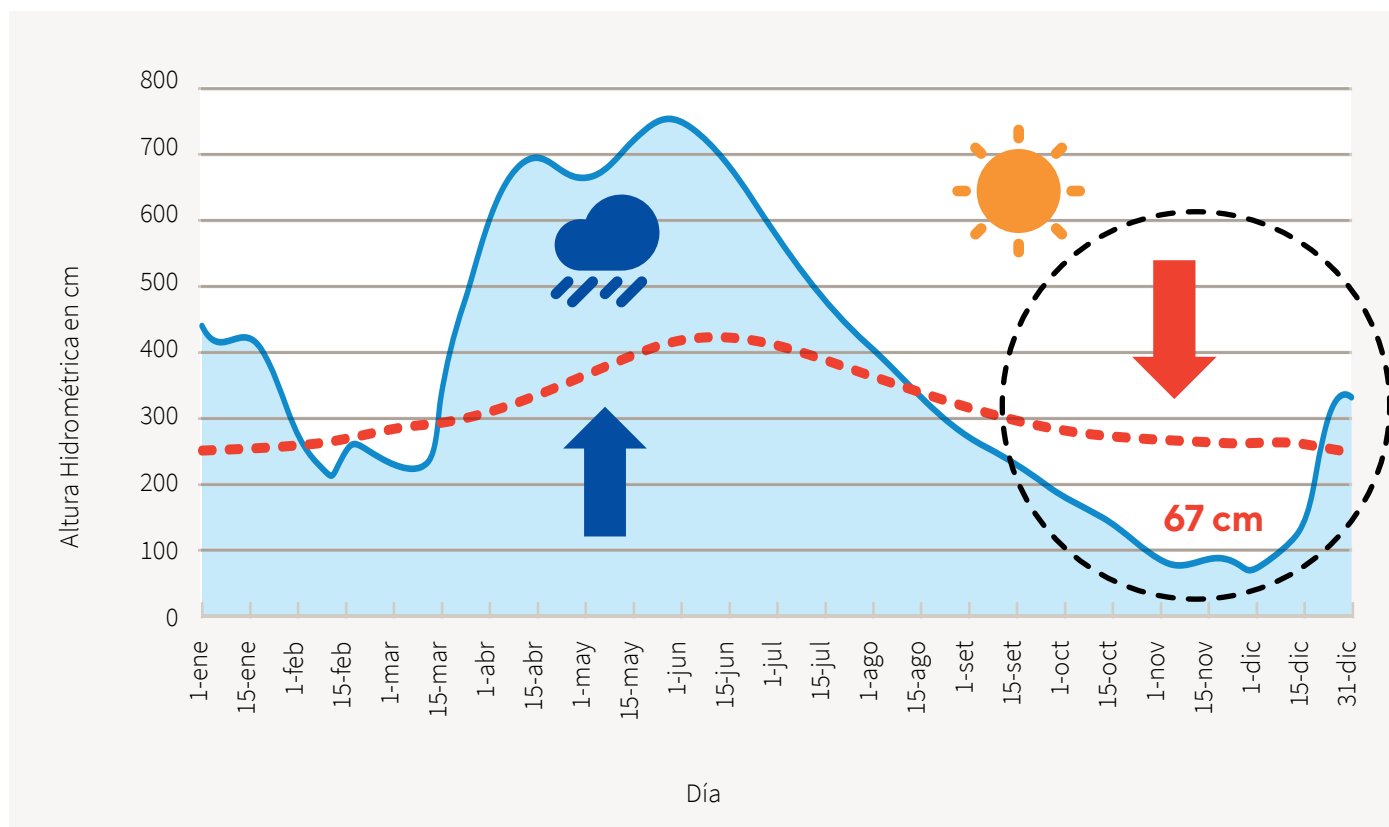
84 Fuente: <https://www.hoy.com.py/nacionales/alerta-en-todo-el-pais-focos-de-incendio-ascienden-a-7853-y-arrasan-el-chaco-y-areas-boscosas>

85 Fuente: <https://www.infobae.com/america/america-latina/2019/09/10/paraguay-declaro-la-emergencia-ambiental-por-los-incendios-forestales/>

3.7 SEQUÍA HIDROLÓGICA EN PRIMAVERA

Los ríos Paraguay y Paraná fueron muy afectados por la sequía del invierno y la primavera del año 2019. Desde el mes de junio, donde se tuvo un pico de crecida máxima de 7,58 metros en Asunción⁸⁶, se inicia un periodo de descenso del río Paraguay en todo su curso medio y superior, y que justamente se da por la falta de lluvias y el excesivo calor de la primavera. En Asunción el vertiginoso descenso de las aguas del río Paraguay fue sostenido llegando a su nivel mínimo a finales de noviembre con una marca de tan solo 0,67 m (promedio de mínima 2,5 m), el más bajo en 5 años y pocas veces superado en los últimos 50 años (Gráfico 26).

Gráfico 26. **Altura hidrométrica diaria del río Paraguay en Asunción en el año 201987 (línea azul) comparada con su nivel medio (línea roja cortada). El círculo color negro indica la pronunciada bajante.**



Fuente de datos: ANNP. Elaboración propia.

86 Según datos de ANNP

En su oportunidad, el Centro de Armadores Fluviales y Marítimos del Paraguay expresó su preocupación ante la significativa bajante registrada en los ríos Paraguay y Paraná, sobre todo porque no se pronosticaban lluvias importantes en la cuenca alta de los mismos. Según estimaciones, el impacto económico podría llegar a los US\$ 120 millones⁸⁷.

Los cambios de los caudales de los ríos Paraguay y Paraná constituyen un importante factor que puede influir sobre los costos de flete de los productos nacionales y afectar el flujo comercial, tanto de los productos exportados como de los importados. En esos ríos operan más de 20 puertos privados, cuyos servicios permiten canalizar la mayor parte de las exportaciones de productos primarios. De esa manera, el sector privado ha complementado las inversiones del Estado en infraestructura, lo que ha contribuido a mejorar la competitividad de las exportaciones.

Sumada a las deficiencias en materia de navegabilidad de los ríos, la dependencia de los combustibles fósiles importados ha ocasionado dificultades a varias industrias locales, al verse limitada la provisión de combustibles derivados del petróleo, incluido el gas licuado de uso doméstico. Por ejemplo, la Industria Nacional del Cemento es una de las empresas que se ve afectada recurrentemente por la bajante de los ríos, lo que ha reducido en varias oportunidades durante los últimos años su capacidad de producción debido a la falta de insumos (combustibles) o materias primas (*clinker*)⁸⁹.

Es de resaltar el impacto de las sequías hidrológicas en la economía, dado que casi la totalidad de los commodities se exportan por vía fluvial, como así también las importaciones de productos manufacturados y derivados del petróleo.

Figura 26. La bajante de los ríos Paraguay y Paraná hacia finales del año 2019 afectó el desplazamiento de convoyes de una de las mayores flotas de transporte fluvial del mundo⁹⁰.



Fecha: 05/11/2019.

87 www.hoy.com.py, 06/11/2019

88 ANNP, Datos hidrométricos

89 CEPAL, La economía del cambio climático en el Paraguay (LC/W.617), Santiago de Chile, 2014

90 Fuente: <https://portalportuario.cl/bajante-del-rio-paraguay-afecta-navegacion-fluvial-en-la-zona/>

La más baja producción de energía hidroeléctrica en 25 años

La sequía hidrológica del año 2019 afectó el caudal de los grandes ríos que tiene el Paraguay; en el caso del río Paraná, el país cuenta con dos grandes hidroeléctricas binacionales operando sobre este río, la ITAIPÚ Binacional (IB) con el Brasil (Figura 27) y la Entidad Binacional Yacyretá (EBY) con la Argentina.

En el caso de la IB, operando con 20 unidades generadoras desde el año 2007 nunca tuvo una producción de energía eléctrica tan baja como en el año 2019⁹¹; de una producción de 96.585 GWh en 2018 pasó a una producción a 79.455 GWh en 2019, significando una reducción del 17,7% de un año a otro (Gráfico 27), esta resultó ser la más baja producción de energía eléctrica anual en los últimos 25 años por parte de la entidad. Este hecho se debió, en gran medida, a la sequía hidrológica severa en gran parte de la cuenca del río Paraná, especialmente en territorio brasileño. También se puede ver en el Gráfico 27, que solo 3 años atrás, la hidroeléctrica llegaba a su mayor producción de energía eléctrica con 103.098 GWh (récord mundial) en el año 2016, facilitado por el clima lluvioso de El Niño 2015-2016; esta es una muestra clara del impacto que generan en la producción de energía eléctrica los extremos del cambio climático. La ITAIPÚ, en el registro del Banco Central, es el 8 % del PIB ⁹².



La ITAIPÚ Binacional nunca tuvo una producción de energía eléctrica tan baja como en el año 2019. Este hecho se debió, en gran medida, a la sequía hidrológica severa que aconteció en gran parte de la cuenca del río Paraná.

Figura 27. Itaipú Binacional, central generadora de energía eléctrica⁹³.



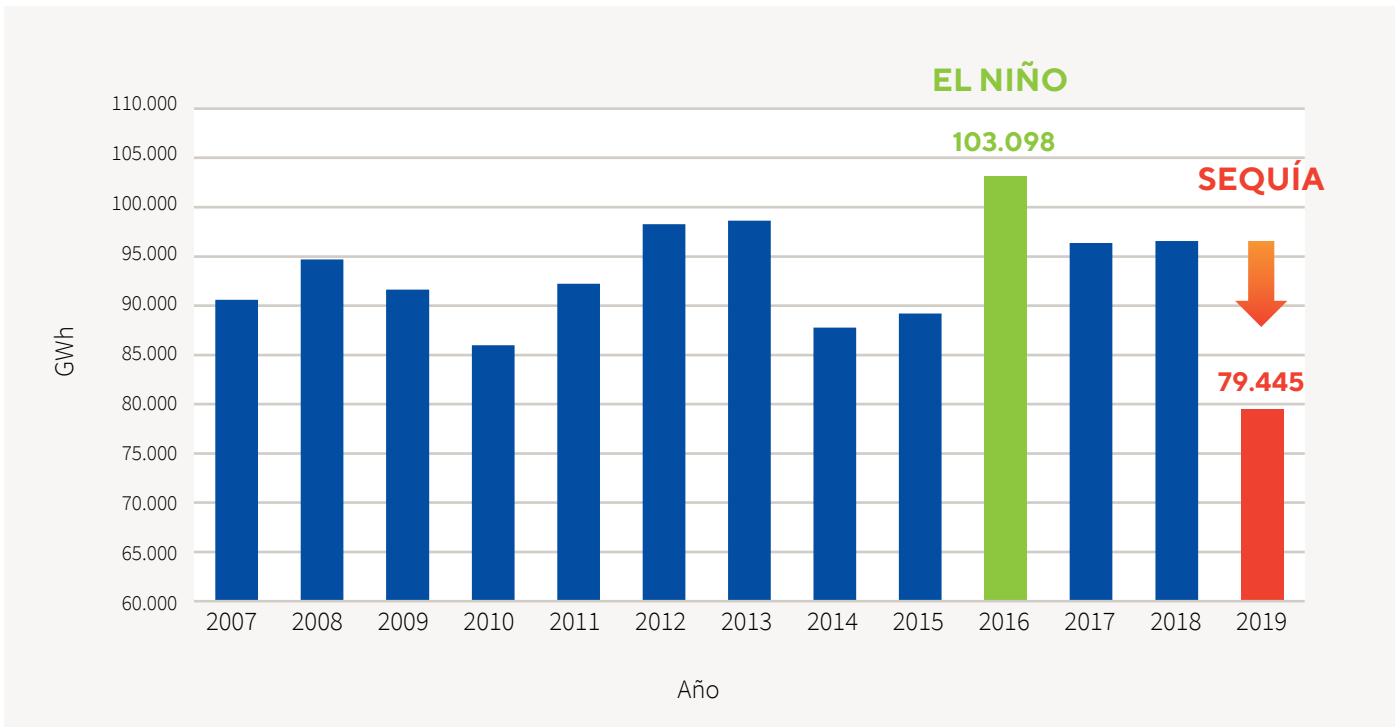
Fecha: 25/11/2019.

91 www.itaipu.gov.py

92 <https://www.bcp.gov.py/estadisticas-economicas-i359>

93 Fuente: <https://www.iagua.es/noticias/brasil/14/03/21/itaipu-binacional-la-mayor-central-generadora-de-energia-lim-pia-y-renovable-del-planeta-47246>

Gráfico 27. Producción anual de energía eléctrica en IB con 20 unidades generadoras en el período 2007-2019. Producción máxima en el año 2016 por efecto de El Niño 2015-2016 (barra verde) y producción mínima por efecto de la sequía del año 2019 (barra roja).



Fuente: IB. Elaboración propia.

Bajante histórica del lago Ypacaraí

No solo el río Paraguay tuvo un descenso pronunciado de sus aguas, lo mismo ocurrió con gran parte de los cauces hídricos de las cuencas aportantes al mismo, tal es el caso de lo ocurrido en la cuenca del río Salado que actúa como salida del lago Ypacaraí al río Paraguay. Este emblemático lago, cautivante por su belleza, presentó en la primavera y verano de 2019 una bajante histórica dejando ver playas nunca vistas en el pasado (Figura 28), su escala hidrométrica llegó a observar valores negativos en San Bernardino⁹⁴. Alimentado por los arroyos Yukyry y Pirayú, recibió aportes totalmente debilitados durante la calurosa y seca primavera, a tal punto que muchos cauces, de menor porte, de la cuenca oeste (Areguá) y de la cuenca este (San Bernardino) se secaron temporalmente, este hecho sumado a la muy alta evaporación de las aguas del lago, causado por las temperaturas récords registradas, puso al lago en situación crítica. El suministro de agua potable para poblaciones ribereñas del lago también estuvo afectado⁹⁵. A principios de 2020 continuaba el estiaje extremo.

Figura 28. Bajante histórica del lago Ypacaraí deja extensas playas al descubierto⁹⁶.



Fecha: 25/11/2019

94 Según datos hidrométricos MADES

95 www.hoy.com.py (25/11/2019)

96 Fuente: <https://www.hoy.com.py/nacionales/alarma-ante-pronunciada-bajante-del-lago-ypacara-elaboran-plan-piloto-para-regular-salida-de-agua>

3.8 TORMENTAS SEVERAS A FINALES DE LA PRIMAVERA

Las tormentas severas son parte del clima del Paraguay. En condiciones normales se inician a principios de la primavera acompañadas de fuertes vientos y se mantienen durante el verano con abundantes lluvias, proyectándose incluso hasta principios del otoño. En condiciones normales, son menos frecuentes en la segunda mitad del otoño (mayo y junio) y en la primera parte del invierno (julio y agosto). Popularmente, es reconocida la tormenta de Santa Rosa, 30 de agosto, como el inicio de la temporada de tormentas.

El año 2019 fue totalmente atípico en relación con la temporada de tormentas (septiembre a mayo) (Grassi, 2005), ya que estuvieron ausentes al principio de la temporada (septiembre y octubre), recién en noviembre y diciembre se manifestaron con relativa normalidad.

Un caso que llamó la atención pública fue la tormenta severa ocurrida en la tarde del 7 de noviembre en la ciudad de Ñemby, afectando también ciudades vecinas como Villa Elisa y Ypané, todos en el departamento Central. Los vientos huracanados y la fuerte lluvia produjeron destrozos de magnitud, arrasando con árboles, casetas y tendido eléctrico (Figura 29).

El 15 de diciembre de 2019 se desató una tormenta fuerte que afectó varias poblaciones, el temporal produjo la precipitación de cerca de 400 mm en 48 horas en zonas del departamento de Canindeyú (cuando la lluvia promedio⁹⁷ en la zona es 180 mm en el mes de diciembre). La Secretaría de Emergencia Nacional (SEN), brindó asistencia a las familias afectadas por el temporal en los distritos de Yasy Cañy, departamento de Canindeyú, María Antonia de Paraguari y Eusebio Ayala de Cordillera (Figura 30).



Las tormentas severas son parte del clima del Paraguay. En condiciones normales se inician a principios de la primavera y se mantienen durante el verano, proyectándose incluso hasta principios del otoño.

Figura 29



Pérdidas de bienes por tormenta severa que afectó el departamento Central en noviembre de 2019⁹⁸.

Figura 30



Personal de la SEN⁹⁹ entregando chapas, colchones, frazadas, carpas plásticas y kit de alimentos a los afectados por la tormenta¹⁰⁰. Fecha: 15/12/2019

97 Período 1971-2000

98 Fuente: <https://www.ultimahora.com/temporal-nemby-fueron-los-minutos-mas-terrorificos-nuestra-vida-n2853685.html>

99 Secretaría de Emergencia Nacional

100 Fuente: <https://www.ip.gov.py/ip/sen-asistio-a-familias-afectadas-por-temporales-en-canindeyu-paraguari-y-cordillera/>

CONCLUSIONES

Este estudio demuestra claramente que el cambio climático se está acelerando en el Paraguay, y este hecho, más allá de representar tan solo un problema ambiental, constituye una amenaza para el desarrollo sostenible del país. El impacto reciente del clima en el año 2019, en diversos sectores, como economía, salud y medioambiente, demuestra que los costos actuales del cambio climático no son despreciables, y que de continuar la tendencia demostrada del cambio climático, el costo de los impactos podría incrementarse en un futuro cercano.

El año 2019 fue el más caliente en la historia del Paraguay, la temperatura media anual de este año fue de 24,3 °C y estuvo en +1,5 °C por encima del promedio de la temperatura normal climatológica estándar de 1961-1990. Mundialmente, este valor de temperatura media anual del Paraguay en el año 2019 (24,3 °C) representa un aumento de +1,7 °C por encima de la temperatura media anual mundial de los niveles preindustriales de 1850-1900 (La media global de la Tierra fue de +1,1 °C en ese período). En otras palabras, el calentamiento observado en el Paraguay fue superior a la media mundial.

El calentamiento del clima en el Paraguay puede observarse en distintas escalas de tiempo, no solo en los valores de las temperaturas medias anuales, por ejemplo: el último quinquenio 2015-2019 fue el más caliente de todos los anteriores desde 1960, la última década 2010-2019 también fue la más caliente de todas desde 1960, también el último período de 30 años 1990-2019 fue más caliente que su antecesor 1960-1989.

El cambio climático no presenta un calentamiento constante, gradual; por el contrario, parece estar avanzando en forma más acelerada, por ejemplo: de los 10 años más calientes registrados en el período 1960-2019, 8 años fueron de este siglo XXI y tan solo 2 años en el siglo pasado, la tendencia del calentamiento de la última década 2010-2019 fue 10 veces mayor que la tendencia del calentamiento de la década 1960-1969.

La primavera del año 2019 fue la más caliente (26 °C) en cincuenta años, en esta ocasión estuvo acompañada de la mayor cantidad de olas de calor registradas y de incendios forestales.

La precipitación media anual se ha incrementado 200 mm en los últimos 70 años, esto representa una tendencia de aproximadamente 3 mm/año. Este aumento de la precipitación pudo haber beneficiado a algunos sectores en los últimos años, como la agricultura, pero pudo haber sido determinante en el aumento y la fre-

cuencia de crecidas en las últimas décadas, que ha afectado negativamente a las poblaciones ribereñas.

Las crecidas del río Paraguay en Asunción fueron más frecuentes en los últimos 40 años (1980-2019) desde 1904, en que se tienen registros. De persistir esta tendencia, las situaciones de emergencias a poblaciones ribereñas podrían ser mayores en el futuro.

La cantidad de olas de calor prácticamente se triplicaron en el país en los últimos 40 años (1980-2019). Este fenómeno tiene impactos negativos en la salud de las personas, especialmente en los grupos etarios más vulnerables.

Las sequías severas fueron más frecuentes en este siglo que en el pasado, y es el fenómeno climático que más daño causa a la economía paraguaya. Se requiere de más investigación para poder entender mejor la relación entre las sequías y el cambio climático.

Particularmente, el clima del año 2019 estuvo marcado por eventos extremos de alto impacto, secuencialmente fueron dándose sequías agrícolas, inundaciones, olas de calor, incendios forestales, sequías hidrológicas y tormentas severas.

El crecimiento económico del Paraguay en el año 2019 estuvo afectado por factores externos e internos, entre los internos se destacaron el clima que afectó negativamente varios sectores, la sequía de principios de año redujo un 23,5% la producción de soja, la energía eléctrica de ITAIPÚ tuvo su producción más baja en 25 años, el estiaje de los ríos Paraguay y Paraná dificultó el transporte fluvial, la sequía primaveral estimuló las olas de calor y los incendios forestales. Según el BCP, en el año 2019, el PIB de una estimación inicial de 4% se redujo finalmente a 0%¹⁰¹.

RECOMENDACIONES Y SUGERENCIAS

1

Se recomienda actualizar el Estado del clima Paraguay cada año, de esta forma se realizaría un seguimiento o monitoreo permanente del cambio climático en Paraguay.

2

Se recomienda ampliar este estudio Estado del Clima Paraguay, incluyendo análisis de comportamientos climáticos estacionales (primavera, verano, otoño e invierno) para ver cuáles son los momentos de mayor impacto del cambio climático, y poder asociarlos a eventos extremos.

3

Se recomienda socializar ampliamente los resultados de este estudio Estado del Clima Paraguay 2019, como una información operativa desde el punto de vista climático, de manera tal que la sociedad paraguaya se informe y concencie sobre el cambio climático y sus efectos.

4

Se sugiere coordinar acciones entre instituciones, públicas y privadas, que generan datos meteorológicos e hidrológicos, con el fin de ampliar la cantidad y mejorar la calidad de los datos climáticos, y poder integrarlos en una base de datos climáticos ampliada, para estudios futuros.

5

Se sugiere avanzar en otros estudios meteorológicos, climáticos e hidrológicos para detectar otras señales del cambio climático en el país, por ejemplo, cambios en la cantidad de la humedad del aire y del suelo, duración y frecuencia de días secos y húmedos, frecuencia e intensidad de sequías y tormentas, entre otros.

6

Se sugiere involucrar al sector educativo y académico, público y privado, en proyectos de divulgación e investigación sobre el cambio climático.

A

Adaptación

Proceso de ajuste al clima real o proyectado y sus efectos. En los sistemas humanos, la adaptación trata de moderar o evitar los daños o aprovechar las oportunidades beneficiosas. En algunos sistemas naturales, la intervención humana puede facilitar el ajuste al clima proyectado y a sus efectos.

Amplitud de la variación de la temperatura media anual

Diferencia entre las temperaturas medias del mes más cálido y del mes más frío del año.

Anomalía

Diferencia entre el valor de un determinado elemento climático con respecto de su valor normal.

Atmósfera

Envoltura gaseosa que rodea la Tierra. La atmósfera seca está compuesta casi enteramente por nitrógeno (coeficiente de mezcla volumétrico: 78,1%) y oxígeno (coeficiente de mezcla volumétrico: 20,9%), más cierto número de gases traza, como argón (coeficiente de mezcla volumétrico: 0,93%), helio y ciertos gases de efecto invernadero radiativamente activos como dióxido de carbono (coeficiente de mezcla volumétrico: 0,035%) y ozono. Además, la atmósfera contiene vapor de agua, que es también un gas de efecto invernadero, en cantidades muy variables aunque, por lo general, con un coeficiente de mezcla volumétrico de 1%. La atmósfera contiene también nubes y aerosoles.

B

Barlovento

Parte de donde viene el viento, respecto a un punto o lugar determinado.

C

Calentamiento global (*global warming*)

Denota el aumento gradual, observado o proyectado, de la temperatura global en superficie, como una de las consecuencias del forzamiento radiativo provocado por las emisiones antropógenas.

Cambio climático

Variación del estado del clima identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropógenos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en su artículo 1, define el cambio climático como “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”. La CMNUCC diferencia, pues, entre el cambio climático atribuible a las actividades humanas que alteran la composición atmosférica y la variabilidad climática atribuible a causas naturales. Véanse también Cambio climático asegurado y Detección y atribución.

Clasificación climática

División de los climas de la Tierra en un sistema mundial de regiones contiguas, cada una de las cuales está caracterizada por una uniformidad relativa de los elementos climáticos. Pueden citarse como ejemplos la clasificación de los climas de Köppen y la de Thornthwaite.

Clima

El clima se suele definir en sentido restringido como el estado promedio del tiempo y, más rigurosamente, como una descripción estadística del tiempo atmosférico en términos de los valores medios y de la variabilidad de las magnitudes correspondientes durante períodos que pueden abarcar desde meses hasta millares o millones de años. El período de promedio habitual es de 30 años, según la definición de la Organización Meteorológica Mundial. Las magnitudes son casi siempre variables de

102 Basado en el vocabulario meteorológico internacional (OMM-N° 182), el vocabulario hidrológico internacional y el glosario del IPCC

superficie (por ejemplo, temperatura, precipitación o viento). En un sentido más amplio, el clima es el estado del *sistema climático* en términos tanto clásicos como estadísticos.

Crecida

Desbordamiento por encima de los confines normales de un arroyo u otro cuerpo de agua, o la acumulación de agua por encima de zonas que normalmente no están sumergidas. Los distintos tipos de crecidas comprenden las fluviales, súbitas, urbanas, pluviales, de aguas residuales, costeras y de desbordamiento de lagos glaciares.

Criosfera

Denota todas las regiones situadas encima y debajo de la superficie terrestre y oceánica en las que el agua se halla en estado sólido, como en los hielos marinos, los hielos lacustres, los hielos fluviales, la capa de nieve, los glaciares y los mantos de hielo, así como el terreno congelado (incluido el permafrost).

D

Década

Período de diez años.

E

Efecto invernadero

Efecto radiativo infrarrojo de todos los componentes de la atmósfera que absorben en el infrarrojo. Los gases de efecto invernadero y las nubes y, en menor medida, los aerosoles absorben la radiación terrestre emitida por la superficie de la Tierra y por cualquier punto de la atmósfera. Esas sustancias emiten radiación infrarroja en todas las direcciones, pero, a igualdad de condiciones, la cantidad neta de energía emitida al espacio es generalmente menor de la que se habría emitido en ausencia de esos absorbentes debido a la disminución de la temperatura con la altitud en la troposfera y el consiguiente debilitamiento de la emisión. Una mayor concentración de gases de efecto invernadero aumenta la magnitud de este efecto, y la diferencia generalmente se denomina efecto invernadero intensificado. La modificación de la concentración de los gases de efecto invernadero debida a emisiones antropógenas contribuye a un aumento de la temperatura en la superficie y en la troposfera inducido

por un forzamiento radiativo instantáneo en respuesta a ese forzamiento, que gradualmente restablece el balance radiativo en la parte superior de la atmósfera.

Elemento climático

Cualquiera de las propiedades o condiciones de la atmósfera que, tomadas en conjunto, definen el clima en un lugar determinado (por ejemplo, temperatura, humedad, precipitación).

El Niño

Calentamiento anormal de las aguas superficiales del Océano Pacífico Tropical

Emisión de combustibles fósiles

Emisión de gases de efecto invernadero (en particular, de dióxido de carbono) y otros gases traza y aerosoles producida por la quema de combustibles procedentes de depósitos de carbono fósil, como el petróleo, el gas o el carbón.

Eventos extremos o fenómeno meteorológico extremo

Fenómeno meteorológico excepcional en un determinado lugar y época del año. Aunque las definiciones de excepcional son diversas, la excepcionalidad habitual de un fenómeno meteorológico extremo sería igual o superior a los percentiles 10 o 90 de la estimación de la función de densidad de probabilidad observada. Por definición, las características de un fenómeno meteorológico extremo pueden variar de un lugar a otro en sentido absoluto. Una configuración extrema del tiempo puede clasificarse como fenómeno meteorológico extremo cuando persiste durante cierto tiempo (p. ej., una estación), especialmente si sus valores promediados o totales son extremos (p. ej., sequía o precipitación intensa a lo largo de una temporada).

G

Gas de efecto invernadero

(GEI) Componente gaseoso de la atmósfera, natural o antropógeno, que absorbe y emite radiación en determinadas longitudes de onda del espectro de radiación terrestre emitida por la superficie de la Tierra, por la propia atmósfera y por las nubes. Esta propiedad ocasiona el efecto invernadero. El vapor de agua (H₂O), el dióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O), el metano (CH₄)

y el ozono (O₃) son los gases de efecto invernadero primarios de la atmósfera terrestre. Además, la atmósfera contiene cierto número de gases de efecto invernadero enteramente antropógeno, como los halocarbonos u otras sustancias que contienen cloro y bromo, y contemplados en el Protocolo de Montreal. Además del CO₂, N₂O y CH₄, el Protocolo de Kyoto contempla los gases de efecto invernadero hexafluoruro de azufre (SF₆), los hidrofluorocarbonos (HFC) y los perfluorocarbonos (PFC). Para obtener una lista de los gases de efecto invernadero homogéneamente mezclados.

H

Hidrosfera

Componente del *sistema climático* que incluye las superficies en estado líquido y las aguas subterráneas, y que abarca océanos, mares, ríos, lagos de agua dulce, aguas freáticas, etc.

Holoceno

Última de las dos épocas del sistema *Cuaternario*, que abarca desde hace 11.650 años hasta el presente (definido como 1950). Se conoce asimismo como etapa isotópica marina 1 o interglacial actual.

I

Insolación

Cantidad de *radiación solar* que llega a la Tierra en función de la latitud y de la estación y se mide en W m⁻². Suele hacer referencia a la radiación que llega a la parte superior de la *atmósfera*. A veces se especifica que se trata de la radiación que llega a la superficie terrestre. Véase también *Irradiación solar total*.

Isla de calor urbana

Fenómeno de origen térmico que se produce en áreas urbanas y que consiste en que existe una temperatura diferente, que tiende a ser más elevada especialmente durante la noche, en el centro de las ciudades, donde se suele producir una edificación masiva, que en las áreas de alrededor, como extrarradios o zonas rurales.

L

La Niña

Enfriamiento anormal de las aguas superficiales del Océano Pacífico Tropical.

Litosfera

Capa superior de la parte sólida de la Tierra, tanto continental como oceánica, que abarca todas las rocas de la corteza y la parte fría, en su mayor parte elástica, del manto superior. La actividad volcánica, pese a tener lugar en la litosfera, no está considerada como integrante del *sistema climático*, aunque actúa como factor de *forzamiento externo*.

M

Metadatos

Información relativa a los datos meteorológicos y climatológicos, que indica el método y la fecha de medición, la calidad, los problemas identificados y otras características.

Mitigación

Intervención humana encaminada a reducir las fuentes o potenciar los sumideros de gases de efecto invernadero.

N

Normales climatológicas estándares

Medias de los datos climatológicos calculadas para periodos consecutivos de treinta años, a saber: desde el 1 de enero de 1901 hasta el 31 de diciembre de 1930; desde el 1 de enero de 1931 hasta el 31 de diciembre de 1960; etc.

O

Ola de calor

Período de tiempo anormalmente caluroso e incómodo. Véase también Episodio cálido.

P

Precipitación

Hidrometeoro consistente en la caída de un conjunto de partículas. Las formas de precipitación son: lluvia, llovizna, nieve, cinarra, nieve granulada, polvo de diamante o prismas de hielo, granizo y gránulos de hielo.

Q

Quinquenio

Período de cinco años.

R

Radiación solar

Energía emitida por el Sol considerada como radiación de onda corta con una longitud de onda comprendida entre 290 nm y aproximadamente 4 000 nm.

Revolución Industrial

Período de rápido crecimiento industrial, con consecuencias sociales y económicas de gran alcance, que comenzó en Gran Bretaña en la segunda mitad del siglo XVIII, extendiéndose después a Europa y, posteriormente, a otros países, entre ellos Estados Unidos. El invento de la máquina de vapor fue uno de sus principales desencadenantes. La Revolución Industrial señala el comienzo de un fuerte aumento de la utilización de combustibles fósiles y de las emisiones, particularmente de dióxido de carbono fósil. En el presente informe, los términos preindustrial e industrial designan, un tanto arbitrariamente, los períodos anterior y posterior a 1750, respectivamente.

Riesgo climático

Grado de probabilidad de un tiempo desfavorable en un determinado periodo de tiempo.

S

Sequía

Condiciones de tiempo anormalmente secas que se producen en una región durante un período suficientemente extendido como para provocar un grave desequilibrio

hidrológico en la zona afectada. Esto puede causar otros problemas, como daños a las cosechas y escasez de suministros hídricos.

Sistema climático

Sistema muy complejo que consta de cinco componentes principales: *atmósfera*, *hidrosfera*, *criosfera*, *litosfera* y *biosfera*, y de las interacciones entre ellos. El sistema climático evoluciona en el tiempo bajo la influencia de su propia dinámica interna y por efecto de *forzamientos externos*, como las erupciones volcánicas o las variaciones solares, y de *forzamientos antropógenos*, como el cambio de composición de la atmósfera o el *cambio de uso del suelo*.

Sotavento

La parte opuesta a aquella de donde viene el viento con respecto a un punto o lugar determinado.

T

Temperatura del aire

Temperatura leída en un termómetro expuesto al aire, protegido de la radiación solar directa. Normalmente medida en una casilla o abrigo meteorológico a una altura de 1,5 m sobre el suelo.

Temperatura máxima

Es la temperatura más alta en el transcurso de tiempo considerado.

Temperatura media diaria

Existen muchos métodos para calcular la temperatura media diaria. Entre ellos, cabe citar los que emplean una máxima y una mínima diarias, observaciones efectuadas cada hora durante un período de 24 horas, observaciones sinópticas y observaciones a determinadas horas del día. La mejor aproximación estadística de una media se consigue mediante la integración de observaciones continuas realizadas durante un período de tiempo; cuanto más frecuentes sean las observaciones, más precisa será la media obtenida. Por lo general, las consideraciones prácticas imposibilitan el cálculo de una media diaria de numerosas observaciones distribuidas uniformemente durante un período de 24 horas debido a que muchos emplazamientos de observación no miden un elemento continuamente. Para efectuar las comparaciones conviene utilizar un método de proceso normalizado para todas

las estaciones del mundo y en el máximo número de estaciones. Todas las estaciones climatológicas ordinarias observan una temperatura máxima y mínima diaria. Por lo tanto, el método que se recomienda para calcular la temperatura media diaria es utilizar la media de las temperaturas máxima y mínima diarias. Si bien este método no constituye la mejor aproximación estadística, su uso sistemático permite lograr el objetivo comparativo de las normales. Un SMHN debería también calcular las medias diarias utilizando otros métodos si ello permite comprender mejor el clima del país.

Temperatura mínima

Es la temperatura más baja en el transcurso de tiempo considerado.

Tendencia climática

Cambio climático caracterizado por un aumento (o una disminución) suave y monótona de los valores medios durante el periodo de registro; no se limita a un cambio lineal con el tiempo, sino que se caracteriza por un solo máximo y un solo mínimo al comienzo y al final del registro.

Termómetro de máxima

Termómetro indicador de la temperatura máxima alcanzada durante un intervalo de tiempo dado; por ejemplo, un día.

Termómetro de mínima

Termómetro indicador de la temperatura mínima alcanzada durante un intervalo de tiempo dado; por ejemplo, un día.

V

Variabilidad climática

Denota las variaciones del estado medio y otras características estadísticas (desviación típica, sucesos extremos, etc.) del clima en todas las escalas espaciales y temporales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos. La variabilidad puede deberse a procesos internos naturales del sistema climático (variabilidad interna).

Vulnerabilidad

Propensión o predisposición a ser afectado negativamente. La vulnerabilidad comprende una variedad de conceptos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación.

BIBLIOGRAFÍA

Abram, N., and Coauthors, 2019: Framing and context of the report. *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*, H.-O. Pörtner et al., Eds. (in press).

Aguiar E., I. Auer, M. Brunet, T. C. Peterson and J. Wieringa, 2003: Guidelines on climate metadata and homogenization. World Meteorological Organization. WMO/TD No. 1186.

Ávila, J. L., Proyecto Conacyt Uc-14-INV-280, 2018: Desarrollo e implementación de un sistema de pronóstico de niveles y caudales del río Paraguay. Asunción.

Barnola, J. M., D. Raynaud, C. Lorius, and N.I. Barkov, 2003: Historical CO₂ record from the Vostok ice core. In *Trends: A Compendium of Data on Global Change*. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A.

Barros, V., y coautores, (2006) El cambio climático en la Cuenca del Plata, 1ra. Edición. CONICET, Argentina.

Barros, V., I. Camilloni, 2016: La Argentina y el cambio climático: de la física a la política, Argentina.

Benítez, V. C. D., 2018: Caracterización de la sequía en el Paraguay utilizando diferentes metodologías para el período 1961-2013. Trabajo de Grado, Facultad Politécnica, Universidad Nacional de Asunción.

Bidegaín, M., y Coautores, 2017: Tendencias recientes de las precipitaciones e impactos asociados con ENSO en la cuenca del Río de la Plata. *Paraquaria Nat.* 5(2): 8 - 18

Böhm, R., 1998: Urban bias in temperature series – a case study for the city of Vienna. *Climatic Change* 38: 113-128.

CEPAL, 2014: La economía del cambio climático en el Paraguay (LC/W.617), Santiago de Chile.

Cheng, L., and Coauthors, 2020: Record-setting ocean warmth continued in 2019. *Adv. Atmos. Sci.*, 37(2), 137–142, <https://doi.org/10.1007/s00376-020-9283-7>.

Crutzen P.J., 2006: The “Anthropocene”. In: Ehlers E., Krafft T. (eds) *Earth System Science in the Anthropocene*. Springer, Berlin, Heidelberg.

Della-Marta, P. M., and Coauthors, 2007: Summer heat waves over western Europe 1880–2003, their relationship to large scale forcings and predictability. *Climate Dynamics*, Vol.59, Pág.251–275 (2007).

Durand J. D., 1974: *Historical Estimates of World Population: An Evaluation* (University of Pennsylvania, Population Studies Center, Philadelphia).

D & C: United Nations, 1973. The Determinants and Consequences of Population Trends, Vol. 1 (United Nations, New York).

Doyle M, R. Saurral R, V. Barros, 2012: Trends in the distributions of aggregated monthly precipitation over the Plata Basin. *Int J Climatol*, 32:2149–2162.

Glantz, M., and Coauthors, 1977: When is a drought a drought? *Nature* 267, 192-193.

Grassi, B., y Coautores, 2004: Un estudio de la temperatura del aire en Paraguay. UNA, Campus de la UNA, San Lorenzo, Paraguay.

t

Grimm, A., and Coauthors, 2000: Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. *J. Climate*, 1. 35-38.

Haylock M. R. and Coauthrs, 2006: Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960–2000 and Links with Sea Surface Temperature. *J. Climate*, 19(8).

Heim. R. R, 2002: A Review of Twentieth-Century Drought Indices Used in the United States. *Climate Monitoring Branch, SSD 88(8): 1149-1166.*

IPCC, 2013: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC, 2014: Resumen para responsables de políticas. En: *Cambio climático 2014: Mitigación del cambio climático. Contribución del Grupo de trabajo III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwicker y J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.

IPCC, 2019: Summary for policymakers. *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*, H.-O. Pörtner et al., Eds. (in press).

Jara, A., 2020: Olas de calor en Paraguay (Trabajo de Grado), Facultad Politécnica, UNA. (en progreso).

J. R. Petit, J. Jouzel, D. Raynaud, N. I. Barkov, J.-M. Barnola, I. Basile, M. Bender, J. Chappellaz, M. Davisk, G. Delaygue, M. Delmotte, V. M. Kotlyakov, M. Legrand, V. Y. Lipenkov, C. Lorius, L. Pépin, C. Ritz, E. Saltzman & M. Stievenard, 1999: Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature*, Vol. 399.

Le Roy Ladurie, E., 2017: Historia humana y comparada del clima. Fondo de Cultura

Económica, Ciudad de México, México.

Ley 251/93, que aprueba el convenio sobre “Cambio Climático”, adoptado durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo —La cumbre para la Tierra— celebrada en la ciudad de Río de Janeiro, Brasil, 1992.

Ley 5681/16, que aprueba el Acuerdo de París sobre el cambio climático, 2016, Asunción, Paraguay.

LR: United Nations, 1992. Long-range World Population Projection: Two Centuries of Population Growth, 1950-2150 (United Nations, New York).

Organización Meteorológica Mundial, 2007: Función de las normales climatológicas en un clima cambiante WCDMP-Nº. 61 OMM-TD Nº. 1377.

[Organización Meteorológica Mundial, 2011](#): Guía de Prácticas Hidrológicas, sexta edición 2011, OMM-Nº 168.

[Organización Meteorológica Mundial, 2018](#): Guía de prácticas climatológicas, Edición de 2018, OMM-Nº 100.

[Organización Meteorológica Mundial, 2020: Declaración de la OMM sobre el estado del clima mundial en 2019](#), OMM-Nº 1248.

Steffen W., P. J. Crutzen and J. R. McNeill, 2007: “The Anthropocene: Are Humans Now Overwhelming the Great Forces of Nature?”. En *Ambio* 36 (8); 614-621.

Perkins, S. E., and Coauthors, 2013: On the Measurement of Heatwaves. *J. Clim.* Vol.26, Pag. 4500–4517.

Pollack, H., 2010: *Un mundo sin hielo*, Gaia Ediciones, Madrid, España.

Prein, A. F., and Coauthors, 2016: The future intensification of hourly precipitation extremes. *Nature Climate Change*.

Rhein, M., and Coauthors, 2013: Observations: Ocean. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, T. F. Stocker et al., Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, New York, NY, USA.

Ruddiman, W. F., 2003: The Anthropogenic Greenhouse Era Began Thousands of Years Ago. *Climate Change* 61, pág. 261-293.

Rusticucci, M., and Coauthors, 2015: Long-term variability of heat waves in Argentina and recurrence probability of the severe 2008 heat wave in Buenos Aires. *Theor and Appl Climatology*.

Svoboda, M. and Coauthors, 2012: Standardized Precipitation Index user guide. WMO-N° 1090, 24pp.

Trenberth, K. E., 2011: Changes in precipitation with climate change. *Climate Research*, 47, 123–138.

Vellinga P. and W. J. Van Verseveld, 2000: *Climate Change and Extreme Weather Events*, WWF.

World Meteorological Organization, 2017: *Guidelines on the Calculation of Climate Normals*. WMO-N° 1203.

Williams M., and Coauthors, 2017: Uso de indicadores para explicar nuestro clima cambiante a las instancias normativas y a la opinión pública, *Boletín de la OMM*, Vol 66 (2).

WPP63: United Nations, 1966: *World Population Prospects as Assessed in 1963* (United Nations, New York).

WPP94: United Nations, 1993: *World Population Prospects: The 1994 Revision* (United Nations, New York).

Zhang, H., T. Delworth, F. Zeng, G. Vecchi, K. Paffendorf, L. Jia, 2016: Detection, Attribution, and Projection of Regional Rainfall Changes on (Multi-) Decadal Time Scales: A Focus on Southeastern South America, *J. Climate* 29 (23): 8515-8534.

ANEXOS

Anexo 1. Red de estaciones meteorológicas de la DINAC.

Nº	Estación Meteorológica	Departamento	Periodo		Años
1	Bahía Negra	Boquerón	1961	2013	53
2	Base 5 Adrián Jara	Alto Paraguay	1973	2013	41
3	Pratts Gill	Boquerón	1972	2013	42
4	Mcal. Estigarribia	Boquerón	1940	2019	80
5	Pto. Casado	Alto Paraguay	1936	2019	84
6	Pozo Colorado	Pdte. Hayes	1971	2019	49
7	Concepción	Concepción	1936	2019	84
8	Gral. Bruguez	Pdte. Hayes	1992	2019	28
9	Pedro J. Caballero	Amambay	1959	2019	61
10	Salto del Guairá	Canindeyú	1975	2019	45
11	Pto. Antequera	San Pedro	1976	2019	44
12	San Estanislao	San Pedro	1975	2019	45
13	San Pedro	San Pedro	1994	2019	26
14	Asunción	Capital	1950	2019	70
15	Cnel. Oviedo	Caaguazú	1971	2019	49
16	Paraguarí	Paraguarí	1981	2019	39
17	Villarrica	Guairá	1945	2019	85
18	Ciudad del Este	Alto Paraná	1965	2006	40
19	Aerop. Guaraní	Alto Paraná	2004	2019	16
20	San Juan Bautista	Misiones	1956	2019	64
21	Caazapá	Caazapá	1973	2019	47
22	Cap. Meza	Itapúa	1975	2019	45
23	Cap. Miranda	Itapúa	1963	2019	42
24	Encarnación	Itapúa	1938	2019	82
25	Pilar	Ñeembucú	1938	2019	82

Anexo 2. Corrección de la temperatura media anual en Villarrica, Guairá.

Año	Temp. media horaria original	Temp. media máximas y mínimas	Diferencia	Temp. media horaria corregida	Año	Temp. media horaria original	Temp. media máximas y mínimas	Diferencia	Temp. media horaria corregida
	a	b	(a-b)	b+(-0,7)		a	b	a-b	b+(-0,7)
1956	21,7	21,1	0,6	20,4	1988	21,3	21,9	-0,6	21,3
1957	22,3	21,8	0,5	21,1	1989	21,1	21,8	-0,7	21,1
1958	22,5	22,0	0,5	21,3	1990	21,5	22,1	-0,6	21,5
1959	22,9	22,0	0,8	21,3	1991	22,0	22,6	-0,6	22,0
1960	22,7	21,6	1,0	20,9	1992	21,1	21,8	-0,7	21,1
1961	23,1	22,5	0,6	21,8	1993	21,5	22,2	-0,6	21,5
1962	21,7	20,9	0,8	20,2	1994	22,3	23,1	-0,8	22,3
1963	23,4	22,9	0,5	22,2	1995	21,8	22,7	-0,9	21,8
1964	22,0	21,5	0,5	20,8	1996	21,3	22,2	-0,9	21,3
1965	22,2	21,7	0,5	21,0	1997	22,3	23,3	-1,0	22,3
1966	22,6	21,9	0,7	21,2	1998	21,5	22,4	-0,9	21,5
1967	23,1	22,5	0,6	21,8	1999	21,9	22,6	-0,7	21,9
1968	22,5	22,0	0,5	21,3	2000	21,9	22,3	-0,4	21,9
1969	22,6	22,2	0,5	21,5	2001	22,4	22,7	-0,4	22,4
1970	23,0	22,5	0,5	21,8	2002	22,4	22,9	-0,4	22,4
1971	21,0	21,7	-0,7	21,0	2003	21,9	22,4	-0,5	21,9
1972	22,0	22,6	-0,6	22,0	2004	21,8	22,6	-0,9	21,8
1973	21,7	22,3	-0,7	21,7	2005	22,4	23,2	-0,8	22,4
1974	21,3	22,1	-0,8	21,3	2006	22,7	23,6	-1,0	22,7
1975	21,7	22,1	-0,4	21,7	2007	22,0	22,9	-0,9	22,0
1976	21,0	21,6	-0,6	21,0	2008	22,1	23,0	-0,9	22,1
1977	22,7	23,4	-0,7	22,7	2009	22,1	23,1	-0,9	22,1
1978	22,0	22,6	-0,7	22,0	2010	21,9	22,7	-0,8	21,9
1979	21,6	22,2	-0,6	21,6	2011	22,1	22,9	-0,8	22,1
1980	21,7	22,4	-0,7	21,7	2012	23,0	23,7	-0,7	23,0
1981	22,0	22,6	-0,7	22,0	2013	21,8	22,6	-0,8	21,8
1982	22,1	22,8	-0,6	22,1	2014	23,0	23,8	-0,8	23,0
1983	21,2	21,8	-0,5	21,2	2015	23,1	23,9	-0,9	23,1
1984	21,9	22,5	-0,6	21,9	2016	21,8	22,7	-0,9	21,8
1985	22,2	22,9	-0,7	22,2	2017	23,0	23,8	-0,9	23,0
1986	22,5	23,0	-0,5	22,5	2018	22,4	23,3	-0,9	22,4
1987	21,2	22,0	-0,8	21,2	2019	23,1	24,0	-0,8	23,1

1. La temperatura media diaria de 1956-1970 se basa en un promedio de 3 horarios de observación (12, 18 y 00 UTC)
2. La temperatura media diaria de 1971-2019 se basa en un promedio de 4 horarios de observación (09, 12, 18 y 00 UTC).
3. Al introducir el horario de 09 UTC, la temperatura media diaria es menor porque este valor es cercano a la temperatura mínima.
4. La temperatura media diaria con base en un promedio de 4 horarios de observación (09, 12, 18 y 00 UTC) es considerada por la DINAC como la verdadera.

103 El factor de corrección (-0,7 °C) se obtiene promediando las diferencias del período 1971-2019, y se aplica a las temperaturas horarias del período 1956-1970 para corregirlas.

Anexo 3. Olas de calor en el Aeropuerto Internacional Silvio Pettirossi (1980-2019).

Referencias:

Tmax: Temperatura máxima

Tmin: Temperatura mínima

Δ Tmax: Diferencia o anomalía de la temperatura máxima

Δ Tmin: Diferencia o anomalía de la temperatura mínima

Umbral de la temperatura máxima: 35,0 °C						
Umbral de la temperatura mínima: 24,4 °C						
N°	Duración	Fecha	Tmax	Tmin	Δ Tmax	Δ Tmin
1	3	20 al 22 de marzo de 1980	37	25,6	2	1,2
2	3	1 al 3 de febrero de 1981	35,5	26	0,5	1,6
3	4	6 al 9 de enero de 1984	38,4	27	3,4	2,6
4	7	21 al 27 de febrero de 1984	38,4	26,6	3,4	2,2
5	3	27 al 29 de octubre de 1984	36,6	25,4	1,6	1
6	4	7 al 10 de febrero de 1985	38,3	26,1	3,3	1,7
7	7	23 al 29 de marzo de 1985	38,2	26,3	3,2	1,9
8	3	12 al 14 de octubre de 1985	36,5	25,5	1,5	1,1
9	3	8 al 10 de diciembre de 1985	40,8	27,1	5,8	2,7
10	3	18 al 20 de diciembre de 1985	39,4	26	4,4	1,6
11	3	28 al 30 de enero de 1986	36,6	26,5	1,6	2,1
12	3	10 al 12 de abril de 1986	35,5	25,2	0,5	0,8
13	3	25 al 27 de noviembre de 1986	37,6	28	2,6	3,6
14	3	23 al 25 de marzo de 1987	36	26,6	1	2,2
15	4	18 al 21 de enero de 1988	36,5	27	1,5	2,6
16	3	27 al 29 de enero de 1988	36,8	26	1,8	1,6
17	3	5 al 7 de diciembre de 1989	36,5	25,2	1,5	0,8
18	4	10 al 13 de diciembre de 1989	36	26,2	1	1,8
19	3	27 al 29 de enero de 1990	36,2	26,6	1,2	2,2
20	8	8 al 15 de marzo de 1990	39,5	26,4	4,5	2
21	3	13 al 15 de noviembre de 1990	37,8	27,5	2,8	3,1
22	3	21 al 23 de diciembre de 1990	37,6	26,4	2,6	2
23	4	20 al 23 de enero de 1991	39,2	27,2	4,2	2,8
24	3	4 al 6 de enero de 1993	37,2	25,8	2,2	1,4
25	5	12 al 16 de marzo de 1993	38,4	26,2	3,4	1,8
26	3	2 al 4 de enero de 1994	39	26,4	4	2
27	6	20 al 25 de septiembre de 1994	38,6	27,6	3,6	3,2
28	4	11 al 14 de diciembre de 1994	36,5	27,2	1,5	2,8
29	3	9 al 11 de septiembre de 1995	36,6	26	1,6	1,6
30	5	5 al 9 de noviembre de 1995	37,4	25,6	2,4	1,2
31	3	2 al 4 de enero de 1996	38	27	3	2,6
32	4	23 al 26 de enero de 1996	37,4	26,6	2,4	2,2
33	4	24 al 27 de febrero de 1997	37	25,8	2	1,4

Umbral de la temperatura máxima: 35,0 °C						
Umbral de la temperatura mínima: 24,4 °C						
N°	Duración	Fecha	Tmax	Tmin	ΔTmax	ΔTmin
34	3	9 al 11 de noviembre de 1997	36,4	27,4	1,4	3
35	4	19 al 22 de diciembre de 1997	36,4	26,8	1,4	2,4
36	3	25 al 27 de diciembre de 1997	36,6	28	1,6	3,6
37	3	26 al 28 de enero de 1998	37,8	27,4	2,8	3
38	3	5 al 7 de febrero de 1999	36,7	26,6	1,7	2,2
39	6	8 al 13 de enero del 2000	40	27	5	2,6
40	3	17 al 19 de enero del 2000	37	25,6	2	1,2
41	4	24 al 27 de febrero del 2000	39,7	26,1	4,7	1,7
42	3	3 al 5 de enero del 2001	36	25,4	1	1
43	7	25 al 31 de enero del 2001	38	27,4	3	3
44	3	26 al 28 de octubre del 2001	37,6	27	2,6	2,6
45	3	9 al 11 de marzo del 2002	37	25,6	2	1,2
46	5	14 al 18 de marzo del 2002	37,6	26,6	2,6	2,2
47	4	5 al 8 de octubre del 2002	41,2	28,5	6,2	4,1
48	3	18 al 20 de noviembre del 2002	37,5	28,2	2,5	3,8
49	3	17 al 19 de diciembre del 2002	38,8	28	3,8	3,6
50	5	31 de enero al 4 de febrero del 2004	38	26,6	3	2,2
51	4	11 al 14 de enero del 2005	36,8	26,2	1,8	1,8
52	6	7 al 12 de enero del 2006	37,8	26,8	2,8	2,4
53	5	1 al 5 de febrero del 2006	38,6	27,6	3,6	3,2
54	3	15 al 17 de marzo del 2006	37,8	25,4	2,8	1
55	3	16 al 18 de noviembre del 2006	37,2	26,6	2,2	2,2
56	6	15 al 20 de diciembre del 2006	37,4	26,8	2,4	2,4
57	3	8 al 10 de enero del 2007	37,2	26,2	2,2	1,8
58	3	28 de febrero al 2 de marzo del 2007	37,6	26	2,6	1,6
59	5	26 al 30 de marzo del 2007	38	25,4	3	1
60	4	19 a 22 de febrero del 2009	36,4	26,4	1,4	2
61	3	2 al 4 de marzo del 2009	39,2	26,4	4,2	2
62	4	2 al 5 de de noviembre del 2009	39,4	26,8	4,4	2,4
63	3	18 al 20 de diciembre del 2009	36,8	25,1	1,8	0,7
64	8	1 al 8 de febrero del 2010	40,8	28,2	5,8	3,8
65	3	19 al 21 de abril del 2010	37,6	26,4	2,6	2
66	3	26 al 28 de enero del 2011	37,2	25,2	2,2	0,8
67	3	9 al 11 de enero del 2012	38,3	26,6	3,3	2,2
68	4	5 al 8 de febrero del 2012	38,8	27	3,8	2,6
69	7	15 al 21 de febrero del 2012	37,6	25,2	2,6	0,8
70	3	16 al 18 de septiembre del 2012	39,6	28	4,6	3,6
71	4	6 al 9 de octubre del 2012	38	27,2	3	2,8
72	5	3 al 7 de diciembre del 2012	36,2	27,4	1,2	3
73	3	10 al 12 de diciembre del 2012	38,4	28,6	3,4	4,2
74	3	24 al 26 de diciembre del 2012	39	29	4	4,6
75	5	30 de enero al 3 de febrero del 2013	39,4	28	4,4	3,6

Umbral de la temperatura máxima: 35,0 °C						
Umbral de la temperatura mínima: 24,4 °C						
N°	Duración	Fecha	Tmax	Tmin	ΔTmax	ΔTmin
76	3	25 al 27 de diciembre del 2013	37,6	26,6	2,6	2,2
77	6	19 al 24 de enero del 2014	38,6	26,5	3,6	2,1
78	12	30 de enero al 10 de febrero del 2014	40,6	26,6	5,6	2,2
79	3	16 al 18 de octubre del 2014	41,8	28,6	6,8	4,2
80	3	27 al 29 de octubre del 2014	38	27,2	3	2,8
81	3	12 al 14 de enero de 2015	37,4	27	2,4	2,6
82	8	12 al 19 de enero del 2016	37,4	27	2,4	2,6
83	8	12 al 19 de febrero del 2016	37,2	27,6	2,2	3,2
84	5	4 al 8 de abril del 2016	36,4	26,6	1,4	2,2
85	8	8 al 15 de enero del 2017	38,4	28,6	3,4	4,2
86	3	19 al 21 de enero del 2017	36,4	25,8	1,4	1,4
87	3	7 al 9 de marzo del 2017	37	26,4	2	2
88	3	8 al 10 de septiembre del 2017	38,2	26,6	3,2	2,2
89	4	14 al 17 de diciembre del 2017	38	27,2	3	2,8
90	3	10 al 12 de diciembre del 2018	36,6	26,4	1,6	2
91	4	17 al 20 de diciembre del 2018	37,4	27	2,4	2,6
92	4	1 al 4 de enero del 2019	36,4	27	1,4	2,6
93	4	15 al 18 de enero del 2019	37,8	28	2,8	3,6
94	3	22 al 24 de febrero del 2019	36,5	26	1,5	1,6
95	3	11 al 13 de octubre del 2019	38,8	27,6	3,8	3,2
96	3	28 al 30 de octubre del 2019	41,4	28,8	6,4	4,4
97	5	2 al 4 de noviembre del 2019	40	27	5	2,6

ESTADO DEL CLIMA PARAGUAY 2019

Agosto, 2020

