CÁTEDRA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL.

Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Jujuy

UNIDAD CC: CAMBIO CLIMÁTICO, EL FENÓMENO EL NIÑO (ENSO) Y EVENTOS HIDROCLIMÁTICOS EXTREMOS

Introducción

Esta unidad aborda tres ejes vinculados entre sí:

- ✓ el cambio climático de origen antrópico,
- ✓ la variabilidad climática natural asociada al fenómeno El Niño–Oscilación del Sur (ENSO, por su sigla en inglés) y
- ✓ los eventos hidroclimáticos que resultan de la interacción entre ambos procesos.

El enfoque adoptado es geoambiental, se pone foco en el territorio a partir de los riesgos geológicos e hidrológicos (inundaciones, remoción en masa entre otros).

Contexto: Hacia septiembre de 2026, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y los principales centros de monitoreo internacional confirman el desarrollo de un evento El Niño de gran intensidad —denominado en la prensa especializada "Súper Niño 2026"—, con una probabilidad cercana al 100 % de persistencia hasta febrero de 2027.

Objetivos de aprendizaje

Al finalizar esta unidad, se espera que el/la estudiante sea capaz de:

- ✓ Diferenciar los conceptos de tiempo meteorológico, variabilidad y cambio climáticos, reconociendo sus escalas temporales y causas respectivas.
- ✓ Explicar el mecanismo físico del sistema climático y el efecto invernadero, e interpretar la evidencia científica del cambio climático de origen antrópico documentada por el IPCC.
- ✓ Analizar los efectos históricos y actuales de El Niño y La Niña sobre el clima de Argentina y, en particular, del Noroeste Argentino (NOA) y la provincia de Jujuy.
- ✓ Definir y clasificar los eventos hidroclimáticos extremos (sequías, inundaciones, olas de calor, precipitaciones intensas) y relacionarlos con el cambio climático y la variabilidad ENSO.
- ✓ Vincular los eventos hidroclimáticos extremos con procesos geológicos y geomorfológicos de riesgo ambiental relevantes para la región
- ✓ Buscar, leer críticamente y comunicar información científica y periodística sobre fenómenos climáticos en curso, distinguiendo fuentes confiables de información imprecisa o alarmista.

CÁTEDRA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL.

Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Jujuy

1. EL SISTEMA CLIMÁTICO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL

1.1. Tiempo meteorológico, variabilidad climática y cambio climático

Tiempo

- ✓ El **tiempo desde el punto de vista meteorológico** refiere al estado de la atmósfera en un lugar y momento puntual (horas a días). Se expresa mediante variables como la temperatura, la precipitación, el viento, la humedad y la presión atmosférica.

  Ejemplo de **tiempo meteorológico** es: " *Hoy a las 15:00 h en San Salvador de Jujuy el cielo está despejado, la temperatura es de 24 °C y hay un viento suave del norte de 12 km/h."."*

Clima y variabilidad climática

- ✓ El **clima** representa el comportamiento habitual de las condiciones atmosféricas de una región durante períodos prolongados y para caracterizarlo se analizan valores medios, variaciones y eventos extremos a lo largo de varias décadas; la **variabilidad climática** describe fluctuaciones del clima en escalas de meses a décadas, **generadas por procesos internos del sistema climático** —como el ENSO— sin que sea una tendencia direccional.

  Ejemplo: "El fenómeno de El Niño (ENSO), cada 2 a 7 años altera las lluvias y temperaturas globales: durante una fase de El Niño, el Pacífico tropical se calienta y genera sequías intensas en el norte de Australia e Indonesia, mientras provoca lluvias torrenciales e inundaciones en la costa de Perú y Ecuador; al cabo de unos años, la fase se revierte a La Niña o a una condición neutral, volviendo los patrones a su comportamiento habitual."

  El clima oscila y varía entre meses, años o décadas debido a la dinámica propia del planeta (océano y atmósfera), pero no hay una tendencia continua y direccional a largo plazo.

  Hablar de probabilidades es importante. La presencia de El Niño no significa que necesariamente se producirá una inundación, del mismo modo que La Niña no implica que todos los territorios sufrirán una sequía. Los efectos dependen de la región, la época del año, la intensidad del fenómeno y la interacción con otros componentes del sistema climático.

Tiempo meteorológico	Clima
Se refiere a períodos breves.	Se analiza durante períodos prolongados.
Puede cambiar en horas o días.	Expresa tendencias, promedios y variaciones.
Describe una situación concreta.	Caracteriza el comportamiento atmosférico de una región.
Permite emitir pronósticos inmediatos.	Permite analizar patrones y escenarios climáticos.

Cambio climático

- ✓ El **cambio climático,** en cambio, es una modificación estadísticamente significativa y persistente (décadas o más) del estado medio del clima o de su variabilidad, identificable mediante pruebas estadísticas sobre series temporales largas. Un invierno frío puntual, por lo tanto, no contradice al cambio climático global, así como un evento El Niño intenso no equivale, por sí mismo, a cambio climático.

  Un ejemplo claro de cambio climático a escala de tiempo geológico es el pasaje del período Carbonífero al Pérmico (hace aproximadamente 300 millones de años):

  A finales del Carbonífero, la Tierra experimentó una intensa glaciación con extensos casquetes polares y selvas tropicales húmedas. A lo largo de decenas de millones de años, producto del desplazamiento de los continentes (formación de Pangea) y intensos ciclos volcánicos, los niveles de CO_2 en la atmósfera aumentaron drásticamente.

  Esto transformó el planeta en un mundo cálido y árido durante el Pérmico, provocando la pérdida masiva de los grandes bosques de helechos y reconfigurando los ecosistemas globales.

  Entre las principales manifestaciones del cambio climático se encuentran:

  - ✓ aumento de la temperatura media;
  - ✓ mayor frecuencia e intensidad de olas de calor;
  - ✓ alteraciones en los regímenes de precipitaciones;
  - ✓ retroceso de glaciares;
  - ✓ reducción de la cobertura de nieve; elevación del nivel medio del mar;
  - ✓ modificaciones en ecosistemas; cambios en la disponibilidad de agua;
  - ✓ intensificación de algunos eventos extremos.

  No todos estos cambios se producen con la misma magnitud ni de la misma manera en todos los territorios.

  Resumen:

  Una tormenta aislada no permite demostrar la existencia de un cambio climático. Del mismo modo, un día frío no contradice el calentamiento global. Para reconocer cambios en el clima se necesitan series de **datos extensas, comparables y obtenidas mediante procedimientos consistentes.**

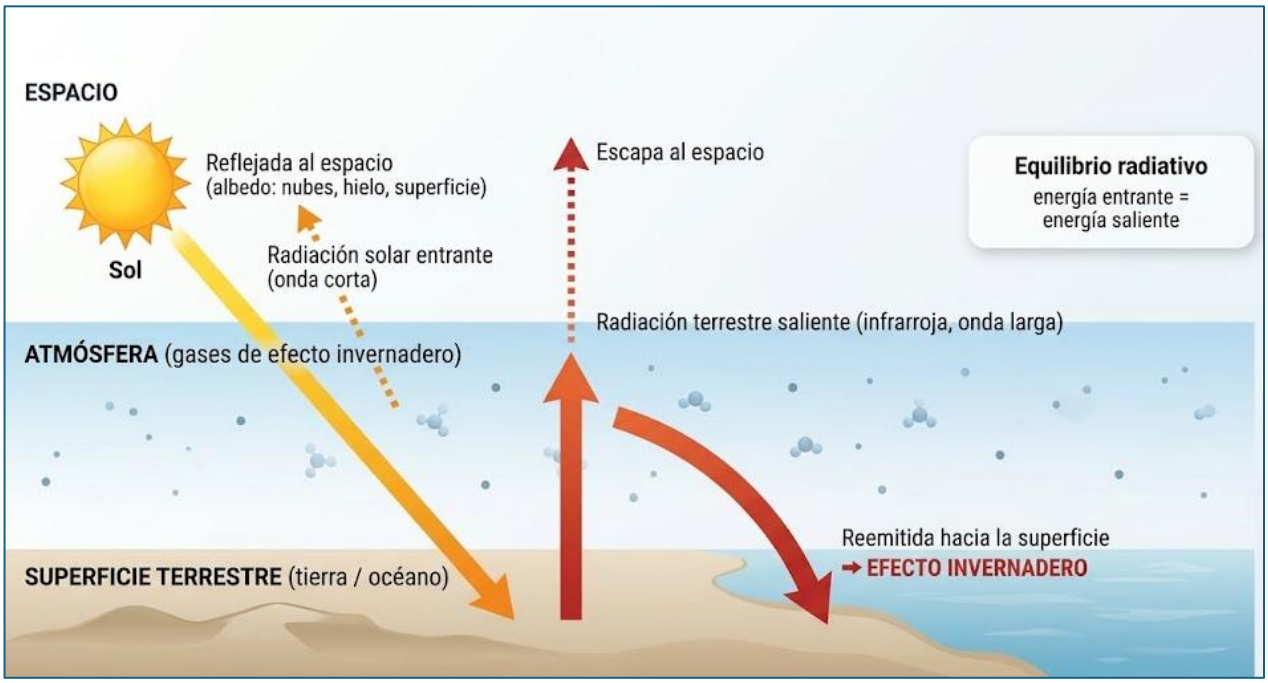
1.2. El balance radiativo y el efecto invernadero

El **sistema climático** terrestre está compuesto por la atmósfera, la hidrosfera, la criosfera, la litosfera y la biosfera, que intercambian energía, agua y materia.

La temperatura media resulta del balance entre la radiación solar entrante (de onda corta) y la radiación terrestre saliente (de onda larga). Los gases de efecto invernadero como —vapor de agua, dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) y otros— absorben y reemiten

parte de esa radiación infrarroja, generando el efecto invernadero natural que mantiene la temperatura media global apta para la vida (sin él, sería cercana a −18 °C en lugar de los aproximadamente 15 °C actuales).

El cambio climático antrópico se produce cuando las actividades humanas —principalmente la quema de combustibles fósiles, la deforestación y ciertas prácticas agropecuarias e industriales— incrementan la concentración atmosférica de estos gases, intensificando el efecto invernadero.



1.3. Evidencias del cambio climático: el Sexto Informe de Evaluación del IPCC

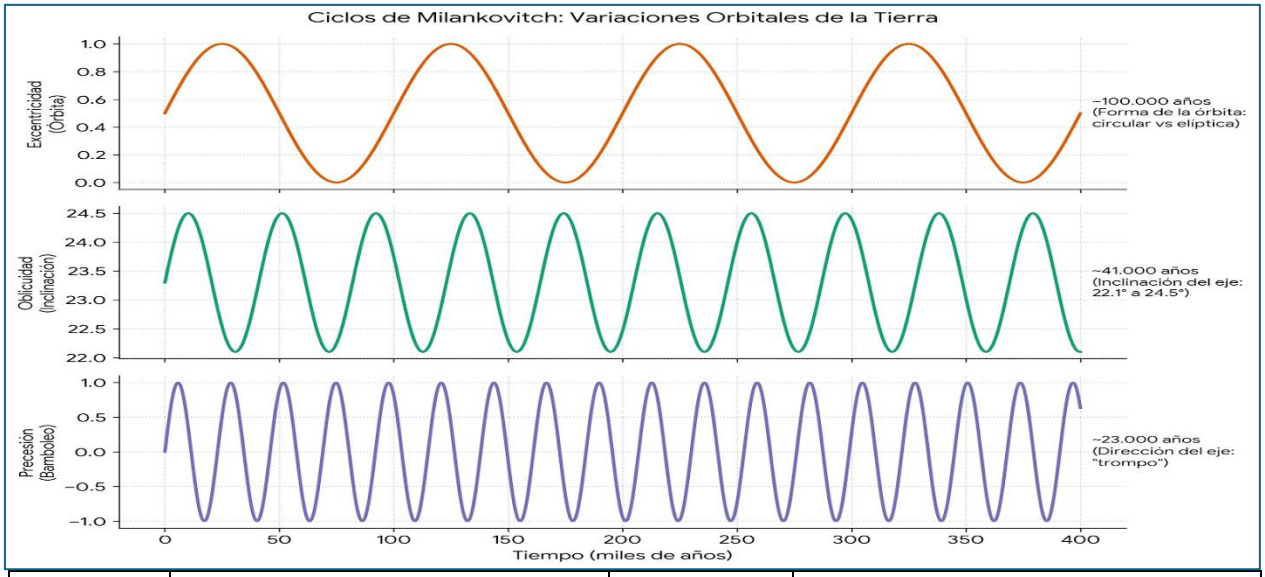
El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) sintetizó en su Informe de Síntesis del Sexto Ciclo de Evaluación (AR6, 2023) la evidencia científica disponible. Entre sus conclusiones más relevantes para esta unidad se destacan:

- ✓ El calentamiento global observado alcanza aproximadamente 1,1 °C por encima de los niveles preindustriales, con cambios en el sistema climático "sin precedentes en muchos siglos o milenios".
- ✓ El calentamiento reciente es de origen humano, atribuible fundamentalmente a las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de la quema de combustibles fósiles.
- ✓ Alrededor de la mitad de la población mundial enfrenta ya escasez severa de agua durante al menos un mes al año.
- ✓ Cada incremento adicional de temperatura intensifica los impactos: olas de calor más frecuentes e intensas, mayor intensidad de las precipitaciones extremas en muchas regiones, y agravamiento de sequías en otras

1.4. Causas naturales y causas antrópicas: una distinción necesaria

El clima terrestre ha variado a lo largo de la historia geológica por causas naturales: variaciones orbitales (ciclos de Milankovitch), actividad volcánica, cambios en la irradiancia solar y procesos internos del sistema océano-atmósfera.

Los **tres parámetros astronómicos** principales que componen los **Ciclos de Milankovitch alteran** la distribución de la radiación solar sobre la Tierra a lo largo del tiempo geológico:



Parámetro	Mecanismo	Periodicidad Principal	Efecto Clave
Excentricidad	Variación en la forma de la órbita terrestre (de casi circular a ligeramente elíptica).	~100.000 años	Modifica la diferencia de radiación recibida en el punto más cercano (perihelio) y más lejano (afelio).
Oblicuidad	Cambio en el ángulo de inclinación del eje de rotación (varía entre 22,1° y 24,5°).	~41.000 años	Controla la estacionalidad; una mayor inclinación acentúa los veranos e inviernos en altas latitudes.
Presición	Giro o "bamboleo" del eje de rotación, similar al movimiento de un trompo al perder velocidad.	~23.000 años	Altera las fechas del año en que la Tierra está más cerca o más lejos del Sol.

Sin embargo, ni la magnitud ni, sobre todo, la velocidad del calentamiento observado desde mediados del siglo XX puede explicarse por causas naturales. Solo los modelos climáticos que incorporan el componente antrópico —en particular, las emisiones de gases de efecto invernadero— reproducen la trayectoria de la temperatura observada.

Esta distinción es fundamental para diferenciar la variabilidad climática a escala geológica —de miles a millones de años— del cambio climático actual de escala centenaria y con una tasa anómala en el registro paleoclimático.

2. VARIABILIDAD CLIMÁTICA NATURAL: EL FENÓMENO ENSO (EL NIÑO / LA NIÑA)

El Niño

Durante El Niño, las aguas superficiales del Pacífico central y oriental presentan temperaturas superiores a los valores habituales, también se producen modificaciones en los vientos y en la circulación atmosférica. Estos cambios pueden alterar la distribución de las precipitaciones en regiones muy alejadas del Pacífico tropical.

La Niña

Durante La Niña, las aguas superficiales del Pacífico central y oriental presentan temperaturas inferiores a los valores habituales. Los vientos y el ascenso de aguas frías pueden intensificarse.

Sus efectos tampoco son uniformes. En determinadas regiones puede aumentar la probabilidad de sequía y en otras producir condiciones diferentes.

Duración aproximada:

Aspecto	El Niño	La Niña
Duración habitual	**9 a 12 meses**	**9 a 12 meses**
Duración excepcional	**Puede superar un año**	**Puede persistir 2 o hasta 3 años**
Reaparición del ciclo ENSO	**Cada 2 a 7 años, de manera irregular**	**Cada 2 a 7 años, de manera irregular**

Habitualmente, los episodios:

- ✓ comienzan a desarrollarse entre abril y junio;
- ✓ se intensifican durante la segunda mitad del año;
- ✓ alcanzan su máxima intensidad entre noviembre y enero;
- ✓ comienzan a debilitarse entre febrero y abril del año siguiente.

Por ejemplo, un episodio que comienza a mediados de 2026 podría alcanzar su mayor intensidad entre noviembre de 2026 y enero de 2027, y debilitarse durante el otoño de 2027.

Aclaración importante

El Niño y La Niña no son consecuencia directa del cambio climático, son manifestaciones de la **variabilidad natural del clima**. No obstante, actúan sobre un planeta que actualmente presenta temperaturas más elevadas debido al cambio climático. La relación entre ambos procesos debe analizarse con información científica y sin establecer explicaciones automáticas.

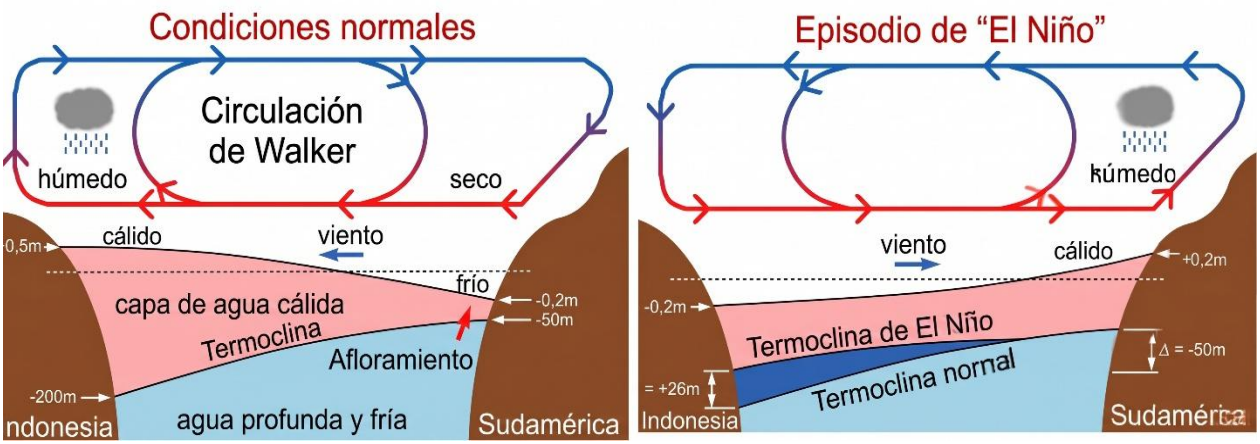
2.1. Definición y mecanismo físico

El fenómeno de la Oscilación del Sur-el Niño (ENSO) implica grandes intercambios de calor entre el océano y la atmósfera que afectan a la temperatura media global de la Tierra y crean situaciones extremas en el ciclo hidrológico como pueden ser lluvias torrenciales y sequías en diferentes partes del mundo.

Consiste en una oscilación cuasi-periódica (cada 2 a 7 años) del sistema acoplado océano-atmósfera en el Pacífico ecuatorial, con dos fases opuestas —El Niño (fase cálida) y La Niña (fase fría)— y una fase Neutral intermedia.

En condiciones normales, los vientos alisios empujan las aguas cálidas superficiales hacia el Pacífico occidental (Indonesia-Australia), mientras que en el Pacífico oriental (costas de Perú y Ecuador) predomina el afloramiento de aguas frías profundas, ricas en nutrientes.

Durante El Niño, los vientos alisios se debilitan y las aguas cálidas migran hacia el este, suprimiendo el afloramiento frente a Sudamérica; durante La Niña, los alisios se intensifican y el patrón se acentúa en sentido contrario. Esta redistribución del calor oceánico modifica la posición de la convección atmosférica tropical (circulación de Walker), alterando los patrones de precipitación y presión en todo el planeta.



Traducido de:

https://fjferrer.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion05/1_el_fenmeno_de_la_oscilacin_del_surel_nio_enso.html

2.2. El Niño y La Niña en Argentina y en el Noroeste Argentino (NOA)

En términos generales y para gran parte del territorio argentino —en particular el centro-este y el Litoral—, los eventos El Niño tienden a asociarse con precipitaciones superiores a la media durante la primavera y el verano, con mayor riesgo de crecidas en los grandes ríos (Paraná, Uruguay) e inundaciones en zonas bajas.

Los eventos La Niña, en cambio, suelen asociarse con déficit de precipitaciones y mayor riesgo de sequía en esas mismas regiones.

En el NOA y en particular en Jujuy, la señal es más compleja por la influencia del relieve andino y del monzón sudamericano, pero estudios locales han documentado tendencias significativas: un aumento en la frecuencia de eventos de temperatura máxima extrema (días cálidos) y una disminución de los eventos de temperatura mínima extrema (noches frías) en estaciones meteorológicas del NOA en el período 1988–2020, con La Quiaca como la estación de mayor tasa de calentamiento en extremos térmicos.

2.3. Caso de estudio actual: el "Súper Niño" 2026

Hacia septiembre de 2026, la Organización Meteorológica Mundial confirmó el desarrollo de un evento El Niño calificado como "extremadamente fuerte", con proyecciones de intensidad pico hacia fin de año y una probabilidad cercana al 90 % de alcanzar la categoría de "muy fuerte".

Según la secretaria general de la OMM, Celeste Saulo, el evento "podría ser más potente que todo lo observado" desde el inicio del monitoreo satelital, hace cuatro décadas, y su evolución se compara con la del histórico El Niño de 1997-98.

El Servicio Meteorológico Nacional argentino proyecta precipitaciones sensiblemente superiores a lo normal en 17 provincias durante la primavera 2026, con mayor probabilidad de lluvias por encima de lo normal en Misiones, Corrientes y sectores de Formosa, Chaco y Santa Fe, y riesgo de crecidas en el río Paraná y anegamientos en el Litoral y Buenos Aires.

Se prevén, en cambio, condiciones normales a inferiores a la media en el noroeste del país.

Este caso permite ilustrar en tiempo real varios conceptos:

- ✓ la diferencia entre pronóstico probabilístico y certeza;
- ✓ el rol de los organismos internacionales (OMM) y nacionales (SMN) en el monitoreo climático;
- ✓ la heterogeneidad regional de los impactos de un mismo evento ENSO dentro de un mismo país.

3. EVENTOS HIDROCLIMÁTICOS EXTREMOS

3.1. Definición y clasificación

El IPCC define un evento climático extremo como la ocurrencia de un valor de una variable meteorológica o climática por encima (o por debajo) de un umbral cercano a los extremos del rango observado históricamente para esa variable en un lugar dado.

Es importante notar que un evento puede ser extremo en términos estadísticos sin ser necesariamente catastrófico, y que su impacto (el llamado riesgo) depende tanto de la amenaza física como de la exposición y vulnerabilidad de la población y el territorio afectados.

Entre los principales tipos de eventos hidroclimáticos extremos se distinguen:

- ✓ **Sequías:** déficit prolongado de precipitaciones respecto de la media histórica, con impactos en la disponibilidad de agua, la agricultura y los ecosistemas.
- ✓ **Inundaciones y crecidas súbitas:** exceso de agua superficial por precipitaciones intensas, deshielo o desborde de cursos de agua, con capacidad de generar erosión, sedimentación y remoción en masa asociada.
- ✓ **Olas de calor y golpes de frío/heladas:** persistencia de temperaturas anómalamente altas o bajas durante varios días consecutivos.
- ✓ **Precipitaciones intensas de corta duración:** lluvias que superan umbrales críticos en pocas horas, generadoras de anegamientos urbanos y procesos torrenciales en cuencas de montaña.

Evento o condición climática	**Procesos territoriales relacionados**
Precipitaciones intensas	Crecidas, inundaciones, erosión, deslizamientos y flujos de detritos
Lluvias prolongadas	Saturación de suelos, inestabilidad de laderas y aumento de caudales
Sequía	Reducción de caudales, menor disponibilidad de agua y degradación de suelos
Olas de calor	Estrés hídrico, afectación de la salud y aumento del riesgo de incendios
Incendios	Pérdida de cobertura vegetal, erosión y aumento de la escorrentía posterior
Heladas	Daños en cultivos, infraestructura y abastecimiento de agua
Vientos intensos	Erosión eólica, caída de árboles y afectación de construcciones

3.2. Relación entre cambio climático, ENSO y eventos extremos

El cambio climático y la variabilidad ENSO no son procesos independientes de los eventos extremos: actúan como moduladores de su frecuencia, intensidad y distribución geográfica.

El calentamiento global aumenta la capacidad de la atmósfera de retener humedad (relación de Clausius-Clapeyron, aproximadamente 7 % más de vapor de agua por cada grado de calentamiento), lo que intensifica el potencial de precipitaciones extremas donde existe humedad disponible, y a la vez agrava el déficit hídrico donde predominan condiciones secas, al aumentar la evapotranspiración.

Sobre ese estado de base modificado por el cambio climático se superpone la variabilidad ENSO, que en años El Niño o La Niña intensos puede llevar a determinadas regiones a superar umbrales de riesgo con mayor frecuencia que en años neutrales.

El evento de Super Niño se lo compara en magnitud con los eventos de 1982-83 y 1997-98, considerados entre los más intensos y advierte sobre la posibilidad de lluvias torrenciales sin precedentes en algunas cuencas.

3.3. Evidencia regional: extremos térmicos e hídricos en el NOA y Jujuy

Estudios realizados con datos de estaciones meteorológicas del NOA mediante índices climáticos estandarizados muestran, para el período 1988-2020, una tendencia significativa hacia un aumento de los días cálidos extremos y una disminución de las noches frías extremas.

Estos resultados son consistentes con la señal de cambio climático a escala regional y tienen implicancias directas para la evaluación de riesgos geoambientales en cuencas de montaña, donde los ciclos de hielo-deshielo y las precipitaciones estivales concentradas condicionan procesos de remoción en masa y erosión hídrica.

3.4. Vínculo con la geología ambiental: de la atmósfera al territorio

Desde la perspectiva de la Geología Ambiental, los eventos hidroclimáticos extremos son el nexo causal entre la atmósfera y los procesos geológicos superficiales.

Las precipitaciones intensas —frecuentemente amplificadas en años El Niño en ciertas regiones— disparan procesos de remoción en masa (deslizamientos, flujos de detritos, aluviones) en las laderas de las Sierras Subandinas y la Cordillera Oriental jujeña; incrementan la carga sedimentaria y la capacidad erosiva de ríos y quebradas; y pueden generar anegamientos en áreas urbanas construidas sobre planicies de inundación. Las sequías asociadas a La Niña, por su parte, incrementan la susceptibilidad a la desertificación, la pérdida de cobertura vegetal protectora del suelo y, paradójicamente, el riesgo posterior de escorrentía concentrada y erosión cuando finalmente se producen lluvias sobre suelos degradados.

Comprender esta cadena causal —clima global, variabilidad ENSO, evento extremo, proceso geomorfológico, riesgo para la población— es uno de los objetivos transversales de la asignatura.

CÁTEDRA DE GEOLOGÍA AMBIENTAL.

Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Jujuy

SÍNTESIS INTEGRADORA

Eje	Escala temporal / naturaleza	Expresión geoambiental principal
Cambio climático	Décadas a siglos; forzante antrópico (GEI) sobre tendencia natural	Aumento de temperatura media, retroceso de glaciares y nieve, intensificación de extremos
ENSO (El Niño / La Niña)	Interanual (2 a 7 años); variabilidad natural océano-atmósfera	Anomalías estacionales de lluvia y temperatura; modula el riesgo de extremos
Eventos hidroclimáticos extremos	Días a semanas; resultado combinado de tendencia climática y variabilidad ENSO	Inundaciones, sequías, remoción en masa, erosión y sedimentación