

Esta obra es parte de los trabajos científicos pertenecientes al proyecto de investigación
LA NATURALEZA DE I-STEM (NOSTEM) PARA LA FORMACIÓN CIUDADANA.
Referencia: PID2020-118010RB-I00. Financiado por la Agencia Estatal de Investigación.



Textos y diseño de actividades:

María Eugenia Seoane. *Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.*

Irene Arriasecq. *Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.*

Ileana María Greca Dufranc. *Universidad de Burgos.*

Agustín Adúriz-Bravo. *Universidad de Buenos Aires*

Diseño y maquetación:

Lara Lester

Portada realizada con recursos de diversas fuentes periodísticas *online* y de archivo.

© LOS AUTORES

© UNIVERSIDAD DE BURGOS

Edita: Servicio de Publicaciones e Imagen Institucional
UNIVERSIDAD DE BURGOS
Edificio de Administración y Servicios
C/ Don Juan de Austria, 1, 09001 BURGOS - ESPAÑA

ISBN: 978-84-18465-98-7

DOI: <https://doi.org/10.36443/9788418465987>

Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional



TABLA DE CONTENIDOS



PRÓLOGOS **P.5**



INTRODUCCIÓN **P.9**



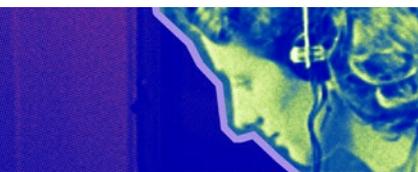
AGRADECIMIENTOS **P.11**



CONCEPTOS RELEVANTES EN METEOROLOGÍA **P.13**



BLOQUE 1
FENÓMENOS METEOROLÓGICOS EXTREMOS
DESTRUCTIVOS Y MORTALES EN ARGENTINA **P.26**



BLOQUE 2
OBSERVACIÓN Y PREDICCIÓN EN METEOROLOGÍA:
UN RECORRIDO HISTÓRICO **P.41**



BLOQUE 3
LA IMPORTANCIA DE LA MODELIZACIÓN EN LA
INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y EN LA METEOROLOGÍA **P.50**



BLOQUE 4
EL PROCESO DE MODELIZACIÓN EN
METEOROLOGÍA Y LOS PRONÓSTICOS DEL TIEMPO **P.61**



BLOQUE 5

FENÓMENOS METEOROLÓGICOS: SISTEMAS COMPLEJOS, CAÓTICOS E INCIERTOS

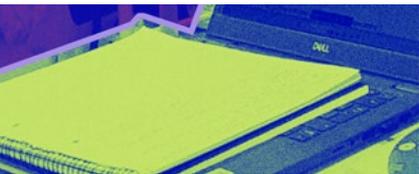
P.69



BLOQUE 6

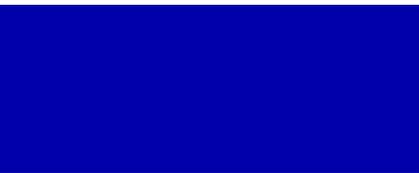
NOWCASTING: LA IMPORTANCIA DE LA ACTUALIZACIÓN DE INFORMACIÓN METEOROLÓGICA PARA LA PREVENCIÓN DE LA SOCIEDAD

P.82



ACTIVIDADES DE CIERRE DE PROYECTO

P.90



REFERENCIAS

P.95

PRÓLOGOS

LOS FENÓMENOS METEOROLÓGICOS EXTREMOS EN CONTEXTO DE CIENCIA POSNORMAL

Por Silvio Funtowicz

Vivimos en una era donde los fenómenos meteorológicos extremos son cada vez más de actualidad. Su gestión se ha convertido en un desafío práctico y político que trasciende el ámbito científico. Aquí es donde entra en juego la llamada "ciencia posnormal" [i], un enfoque que reconoce que, en situaciones de alta incertidumbre, múltiples perspectivas, posibles consecuencias catastróficas y decisiones urgentes, las emergencias no pueden ser gestionadas únicamente por los administradores y expertos, sino que debe involucrar a toda la sociedad.

Tradicionalmente, la enseñanza de las ciencias sigue el enfoque de *ciencia normal* [ii], que enfatiza el determinismo y la supuesta neutralidad del conocimiento. Esta perspectiva ya no es suficiente para abordar los problemas de la gobernanza de los fenómenos meteorológicos extremos, donde los hechos son inciertos (por ejemplo, si un tornado atravesará una zona poblada); los valores están en disputa (suspender o no actividades que implican movilización de personas ante una alerta); los riesgos son elevados (pérdida de bienes materiales, alteraciones severas del paisaje, riesgo de vida); y las decisiones deben tomarse con urgencia (promover o imponer conductas como la evacuación). Ante este tipo de situaciones, lo fundamental es garantizar la calidad del proceso de toma de decisiones a través del diálogo abierto entre los involucrados y afectados. En síntesis, se requiere una gobernanza ampliada mediante una *comunidad de pares extendida* que permita una visión más integral de estos temas.

El libro **Fenómenos meteorológicos (cada vez más) extremos** para la escuela secundaria presenta ejemplos paradigmáticos de problemas socio-científicos que requieren un enfoque inter y transdisciplinario. Aborda la interdependencia entre la investigación científica y los valores sociales, económicos y políticos. La educación secundaria es un espacio clave para fomentar una conciencia científica crítica sobre estos fenómenos y preparar a los estudiantes para comprender su impacto y promover su participación activa en la mitigación de sus efectos.

Desde un enfoque de ciencia posnormal, el libro analiza eventos meteorológicos destructivos y mortales; el rol de la observación y el registro de

[*Centre for the Study of the Sciences & the Humanities \(SVT\), University of Bergen \(UiB\)*](#)

[*European Centre for Governance in Complexity*](#)

datos desde una perspectiva histórica hasta la actualidad; la evolución del pronóstico meteorológico; el papel de los modelos científicos y su capacidad y limitaciones para comprender y predecir fenómenos naturales; la incertidumbre inherente a los sistemas meteorológicos y, finalmente, la importancia de la actualización inmediata de datos meteorológicos para la toma de decisiones en emergencias, destacando el rol de la ciudadanía a través del uso responsable de las redes sociales.

La propuesta didáctica plasmada en este libro se ofrece a la comunidad de educadores en el área de educación en ciencias de Iberoamérica como una herramienta poderosa para promover la formación de estudiantes en cuestiones vinculadas con la naturaleza de la ciencia. Al mismo tiempo, es un recurso flexible que permite a los docentes adaptarla a sus propios diseños curriculares o en trabajos por proyectos que involucren diversas disciplinas, seleccionando qué actividades son más apropiadas para sus objetivos y qué recursos son más adecuados para su grupo de estudiantes. Incluso, es de interés para los ciudadanos en general que pretendan tener una visión actualizada de cómo se produce ciencia en la actualidad, cómo se valida, cómo se comunica, cómo se relaciona con aspectos políticos, económicos y posibilita que se piensen a sí mismos como sujetos con conocimiento útil y con posibilidad de ser partícipes de la toma de decisiones.

Uno de los principales desafíos en la gestión de fenómenos con características posnormales (cambio climático, pandemias, colapso de ecosistemas, pérdida de la biodiversidad y transiciones a la sostenibilidad) es que la sociedad analice críticamente la información que recibe. La pandemia de COVID-19 evidenció la confusión generada por la multiplicidad de voces entre los expertos encargados de gestionar la crisis.

Si queremos que la ciudadanía participe activamente en la toma de decisiones y comprenda tanto el valor como las limitaciones de la ciencia en la gestión de riesgos, es imprescindible reformar la enseñanza de las ciencias en todos los niveles educativos. También los expertos deben aprender a escuchar y valorar otras formas de conocimiento que han ayudado históricamente a la humanidad a superar grandes desafíos.

Es necesario incorporar ejemplos de ciencia posnormal no solo en la educación secundaria, sino también en la formación de los científicos, para que aprendan a gestionar la incertidumbre, la indeterminación y la ignorancia, comprendiendo que la toma de decisiones en contextos críticos no es exclusiva de los expertos, sino de toda la sociedad. En un mundo en

plena policrisis [iii], la combinación del conocimiento científico con saberes prácticos y la participación informada pueden marcar la diferencia entre la anticipación responsable y la tragedia.

El filósofo y político italiano Antonio Gramsci (1974) [iv] lamentaba que “la historia enseña, pero no tiene alumnos”. La ciencia posnormal busca revertir este pesimismo, invitándonos a reflexionar sobre cómo gestionamos, individual y colectivamente, la ambigüedad del conocimiento y la política, y a asumir un rol activo en la construcción de sociedades más justas, resilientes y preparadas para un futuro incierto.

Corça, Cataluña. España. Febrero 2025.

[i] Funtowicz, S. y Ravetz, J. (2000). La Ciencia posnormal: Ciencia con la gente. Icaria Editorial, Barcelona.

[ii] Kuhn, T. (1988). La estructura de las revoluciones científicas. Fondo de Cultura Económica de Argentina S.A.

[iii] Morin, E., et Kern, A. (1993). Terre-Patrie, Paris, Éd. du Seuil.

[iv] Gramsci, A. (1974). Socialismo e fascismo: L'ordine nuovo 1921-1922, Torino, Einaudi.

LOS FENÓMENOS METEOROLÓGICOS EXTREMOS Y LA FORMACIÓN CIUDADANA

Por Noemí E. Troche

Detenerse a mirar el cielo, observar las formas de las nubes, hacia dónde se dirigen, apreciar los fenómenos que se presentan, entender los procesos de cambio que se dan en la atmósfera, es parte de la vida de un profesional en meteorología. Es lo que hacían nuestros antepasados, desde épocas remotas, para anticipar el tiempo: observar el comportamiento de las nubes y el viento, como así también de los animales y esto los ayudaba a protegerse de tormentas y temporales.

Hoy la ciencia ha avanzado, significativamente, permitiéndonos comprender mejor los patrones climáticos y los eventos extremos que afectan a todas las poblaciones. Como meteorólogos, es nuestra responsabilidad asesorar a los tomadores de decisiones sobre la ocurrencia de fenómenos extremos en una determinada región teniendo en cuenta el riesgo y el impacto, principalmente en las poblaciones más vulnerables. Como ciudadanos, también debemos tomar conciencia de lo que esto implica y estar informados para mejorar nuestra calidad de vida y no exponernos, innecesariamente, a las condiciones meteorológicas adversas. Asimismo, es necesario tomar conocimiento sobre las acciones a seguir para mitigar los efectos del cambio climático y de esta manera proteger nuestro planeta con nuestras acciones en la vida cotidiana.

En el recorrido de este libro me encontré con material muy valioso en artículos, notas, videos y actividades muy interesantes que ayudarán en el aprendizaje y toma de conciencia de estos temas, así como también la fotografía y presentación del mismo que proporciona herramientas que contribuirán a la comprensión más profunda de la atmósfera que nos rodea y de la importancia de la meteorología en nuestra vida diaria.

Base Marambio, Antártida, Argentina. Marzo 2025.

Técnica en meteorología sinóptica, especialista en meteorología antártica y responsable del Centro Meteorológico Internacional de la Base Marambio, Antártida.

INTRODUCCIÓN

La creciente frecuencia, intensidad y duración de los fenómenos meteorológicos extremos, exacerbados por el cambio climático, requiere de ciudadanos con capacidad crítica y proactiva, que sean capaces de actuar de la manera más asertiva posible en pos de protegerse a sí mismos y, al mismo tiempo, que se constituyan en agentes de promoción de las mismas actitudes en otros actores de la sociedad de la cual forman parte. Estos fenómenos son ejemplos paradigmáticos de problemas socio-científicos que requieren ser abordados desde un enfoque inter y transdisciplinario, una comprensión profunda de la actividad científica, y de los productos de la misma, que contemple tanto cuestiones cognitivo-epistémicas como aspectos sociales-institucionales donde se expliciten la interdependencia entre la empresa científica y los valores sociales, económicos y políticos. Partimos de considerar que la educación científica, fundamentalmente la etapa de escolarización secundaria, es un momento adecuado para fomentar una conciencia crítica y científica sobre los fenómenos meteorológicos extremos y preparar a los estudiantes para entender cómo los puede afectar y participar activamente en la mitigación de sus efectos.

Para lograr ese objetivo transdisciplinario, se ha desarrollado, implementado y evaluado una secuencia didáctica que se estructura en bloques con temas y objetivos específicos: Bloque 1: Fenómenos Meteorológicos Extremos en Argentina. Se abordan eventos destructivos y mortales, con ejemplos específicos del territorio argentino. Bloque 2: Observación y Predicción en Meteorología. Se plantea el rol que en todo momento tiene la observación y el registro de datos a través de un recorrido histórico desde los primeros instrumentos utilizados hasta las tecnologías modernas, y se analiza la evolución de la predicción meteorológica. Bloque 3: Importancia de la Modelización en la Ciencia y la Meteorología. Se discute el rol de los modelos y de la modelización en ciencia y cómo los modelos científicos permiten comprender y predecir fenómenos naturales y los complejos en particular. Bloque 4: Proceso de Modelización Meteorológica y Pronósticos del Tiempo. Se analiza cómo se elaboran los modelos meteorológicos y su rol en los pronósticos del tiempo. Bloque 5: Fenómenos Meteorológicos como Sistemas Complejos. Este tema introduce la noción de sistemas complejos y caóticos y el concepto de incertidumbre inherente a los fenómenos meteorológicos, esenciales para comprender qué información brinda un pronóstico. Bloque 6: Nowcasting y la Prevención. Se debate sobre la importancia de las actualizaciones inmediatas de datos meteorológicos para la toma de decisiones

rápidas y efectivas en situaciones de emergencia y el rol que debería ejercer la ciudadanía para colaborar con la tarea de los pronosticadores a través de un uso responsable de las redes sociales.

Esta secuencia didáctica es una herramienta poderosa para promover la formación de estudiantes en cuestiones vinculadas a la naturaleza de la ciencia que les posibilite comprender y enfrentar los desafíos que los fenómenos meteorológicos extremos presentan en nuestro tiempo. A la vez, es flexible y los docentes pueden adaptarla a sus propios diseños curriculares, en trabajos por proyectos que involucran diversas disciplinas y seleccionar qué actividades son más apropiadas para sus objetivos y qué recursos son más adecuados para su grupo de estudiantes.

Cabe destacar que el presente material surge de un trabajo de investigación en el contexto de una tesis de doctorado desarrollada en Argentina en el marco del proyecto Proyecto de Investigación **La naturaleza de I- STEM (Nostem) para la formación ciudadana** (PID2020-118010RB-I00), en colaboración con investigadores españoles y argentinos.

Dado el contexto, ciertos párrafos pueden contener modismos propios del vocabulario de estudiantes de secundaria de Argentina. Sin embargo, ese aspecto no invalida la posibilidad de que el material sea utilizado en cualquier contexto iberoamericano. Por otra parte, algunos textos y videos, que han sido cuidadosamente seleccionados por su calidad, abordan fenómenos meteorológicos que han ocurrido, o son frecuentes, en Argentina (a todos los materiales se puede acceder mediante los links de forma directa desde el propio documento). Los docentes de otros países que deseen implementar esta propuesta, pueden reemplazarlos por otros materiales que consideren más adecuados para cada región geográfica, sin que por ello pierda sentido la misma. Es más, consideramos que sería muy importante reemplazarlos por fenómenos meteorológicos cercanos al estudiantado, que hayan podido afectar sus vidas o hayan tenido amplia repercusión mediática. Esto favorece la conexión con la temática abordada.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este libro agradecen a las autoridades de la Escuela Secundaria Superior Técnica N° 6, paraje San Antonio, Tandil, Provincia de Buenos Aires, Argentina y de la Escuela Nacional Ernesto Sabato –dependiente de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina– por permitir implementar la secuencia didáctica en diversos cursos y a las docentes de los mismos, Prof. Silvia Bernardoni y Prof. Esther Cayul; al personal técnico involucrado; a los alumnos de ambas instituciones por su disposición para participar del proyecto; a la Prof. Dominique Moreno, de la Escuela Nacional Ernesto Sabato por la lectura del primer manuscrito y por las sugerencias realizadas; a investigadores del Núcleo de Investigación Educación en Ciencias con Tecnología, de la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, por los aportes en el diseño de la secuencia didáctica y a investigadores del Proyecto de Investigación “La naturaleza de I- STEM (Nostem) para la formación ciudadana” (PID2020-118010RB-I00), de la Universidad de Burgos, en colaboración con investigadores argentinos, por los aportes metodológicos.

También han sido un insumo importante para el proyecto los aportes académicos de la actual Secretaria General de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), Dra. Celeste Saulo y de la Dra. Carolina Vera, Coordinadora e Investigadora de proyectos en Variabilidad Climática y Cambio Climático, Profesora Emérita de la Universidad de Buenos Aires, Argentina, Investigadora Principal de CONICET y Vice-Chair del último informe de evaluación Intergovernmental Panel on Climate Change Working Group I.

Sin duda, la visita a uno de los cursos en que se implementó la secuencia, de Noemí Troche –técnica en meteorología sinóptica, especialista en meteorología antártica y responsable del Centro Meteorológico Internacional de la Base Marambio, Antártida– en la que compartió su experiencia en la elaboración de pronósticos dedicados en climas extremos, la historia del Servicio Meteorológico Nacional de Argentina y su trayectoria fue una experiencia incomparable. A ella, le estamos muy agradecidos.

Por último, un especial agradecimiento a la Agencia Estatal de Investigación (España) por el apoyo financiero para el desarrollo del proyecto y, en particular, de este material.

IMPORTANTE

Este es un libro interactivo. Cuando veas un "Click!" podés acceder al contenido representado en cada componente.

CONCEPTOS RELEVANTES EN METEOROLOGÍA

En esta primera etapa abordaremos cuestiones fundamentales para el desarrollo del proyecto: el rol de la observación y las mediciones en meteorología para realizar pronósticos del tiempo, los instrumentos que se utilizan, dónde se localizan esos instrumentos, qué organismos regulan la actividad y cómo se comunican los pronósticos a la ciudadanía.



Alumna en 2023 en la segunda edición de este proyecto en la Escuela Nacional Ernesto Sabato.



Figura 1. Trabajadores del SMN utilizando computadoras para modelizar. [1]

INTRODUCCIÓN AL REGISTRO DE DATOS METEOROLÓGICOS

Los especialistas en meteorología deben realizar mediciones para conocer el estado de la atmósfera en un momento determinado, a fin de poder llevar a cabo la realización de pronósticos. En la antigüedad, los primeros instrumentos utilizados para medir el tiempo atmosférico eran los sentidos del cuerpo humano, especialmente la vista, el tacto (sensación), el olfato y el oído. Actualmente, tenemos otros instrumentos para medir el tiempo atmosférico de forma más precisa. Algunos de ellos llevan décadas de uso: satélites (Unión Soviética, 1957), radares (Nikola Tesla, 1934) y otros son todavía más antiguos: el barómetro (Evangelista Torricelli, 1643), que mide la presión atmosférica, el anemómetro (Leon Battista Alberti, 1450), la velocidad del viento; la veleta (Andrónico, 48 a.C), la dirección del viento; el termómetro (Galileo Galilei, 1592), la temperatura; el pluviómetro (Jang Yeong Sil, 1441), la precipitación; el higrómetro (Leonardo da Vinci, 1480), la humedad del aire, entre los más importantes.

Las **estaciones meteorológicas**, instalaciones destinadas a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas, cuentan con algunos de los instrumentos mencionados anteriormente para medir las variables de la atmósfera como la presión atmosférica, la temperatura, la velocidad y dirección del viento, la cantidad de precipitaciones acumuladas y la humedad del aire, a fin de elaborar el pronóstico del tiempo.

Los **sitios web del tiempo meteorológico**, así como las aplicaciones utilizadas para consultar el pronóstico, muestran datos de algunas variables de la atmósfera en un momento y en un lugar dados. La información (datos de las variables atmosféricas) que se observa tanto en los sitios web como en las aplicaciones proviene de diversas fuentes: estaciones meteorológicas, satélites, radares, etc.

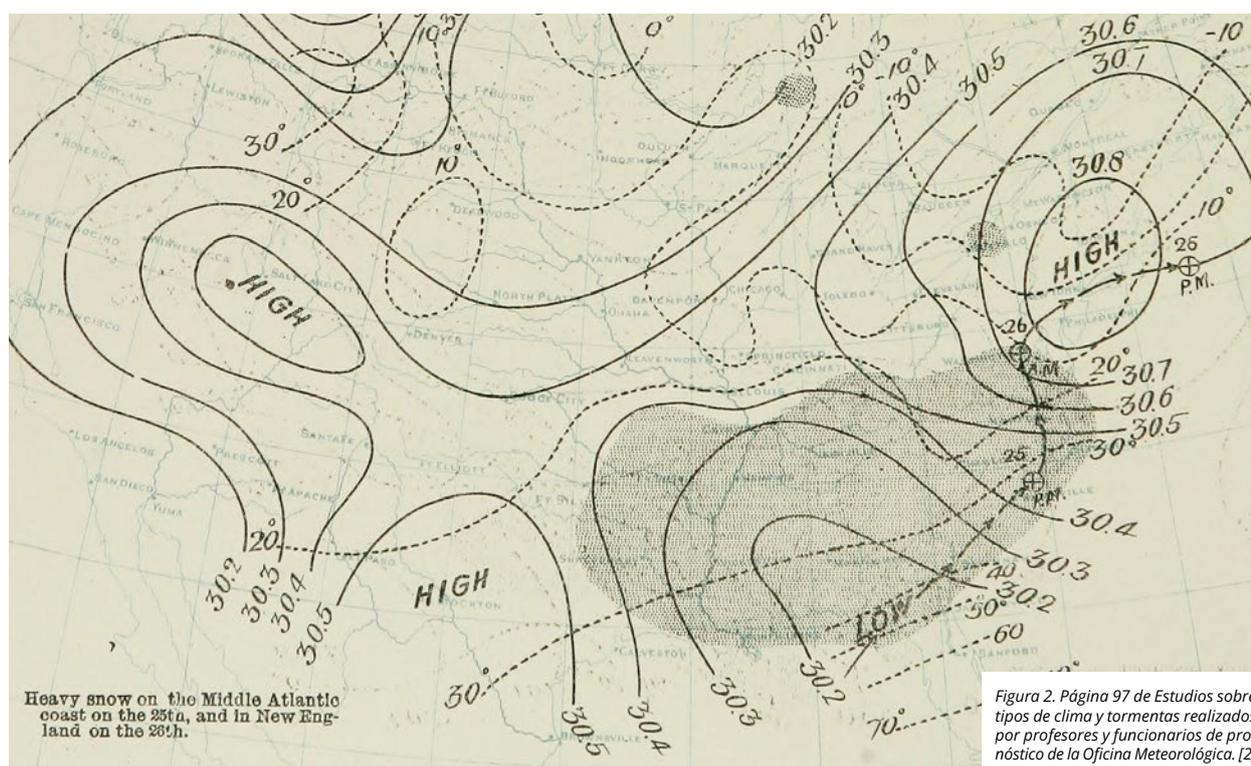
INTRODUCCIÓN A LOS CONCEPTOS FUNDAMENTALES UTILIZADOS EN METEOROLOGÍA

Todos los días, millones de personas miran la televisión, la computadora o el celular para encontrar una respuesta a la misma pregunta: ¿Cómo estará el tiempo hoy?

La información meteorológica es de gran ayuda para resolver cuestiones de la vida cotidiana como la ropa que se ha de usar en una jornada, pero también es de vital importancia para planificar y tomar decisiones que tienen implicancias económicas: tiempos de siembra, transporte de mercaderías, prevención de accidentes y siniestros.

Por esos motivos, en el presente, existe un mayor acceso a los *pronósticos*, aunque esto no siempre fue así. Para llegar a las herramientas de las que disponemos hoy hizo falta mucha investigación científica, desarrollo tecnológico, infraestructura, diseño de numerosos instrumentos de medición, construcción de grandes computadoras con capacidad de procesar enormes volúmenes de datos a una supervelocidad, entre otros.

Un pronóstico se puede pensar como una estimación de cómo estará la atmósfera en un determinado momento. Pero para saberlo, debemos conocer cómo era el estado en un momento anterior. ¡Y para esto es fundamental medir!



Las **estaciones meteorológicas de todo el mundo** cumplen esta función: **informan durante todo el día** la temperatura, la humedad, la presión, la nubosidad, etc. presentes en un lugar. También hay **satélites, radares, boyas, barcos, aviones y globos sonda que recopilan datos con regularidad**, los envían a los servicios meteorológicos de cada país y a organismos internacionales con el objetivo de compartir simultáneamente los datos con los otros servicios, agencias y oficinas meteorológicas del mundo.

Las **estaciones meteorológicas** permiten **monitorear** factores como la **presión, la temperatura, la lluvia o la velocidad del viento**, entre otras, lo que posibilita la **toma de decisiones**. Son espacios donde se recopilan los datos de medición de las diferentes variables que influyen en los fenómenos atmosféricos y en el tiempo de una determinada región.

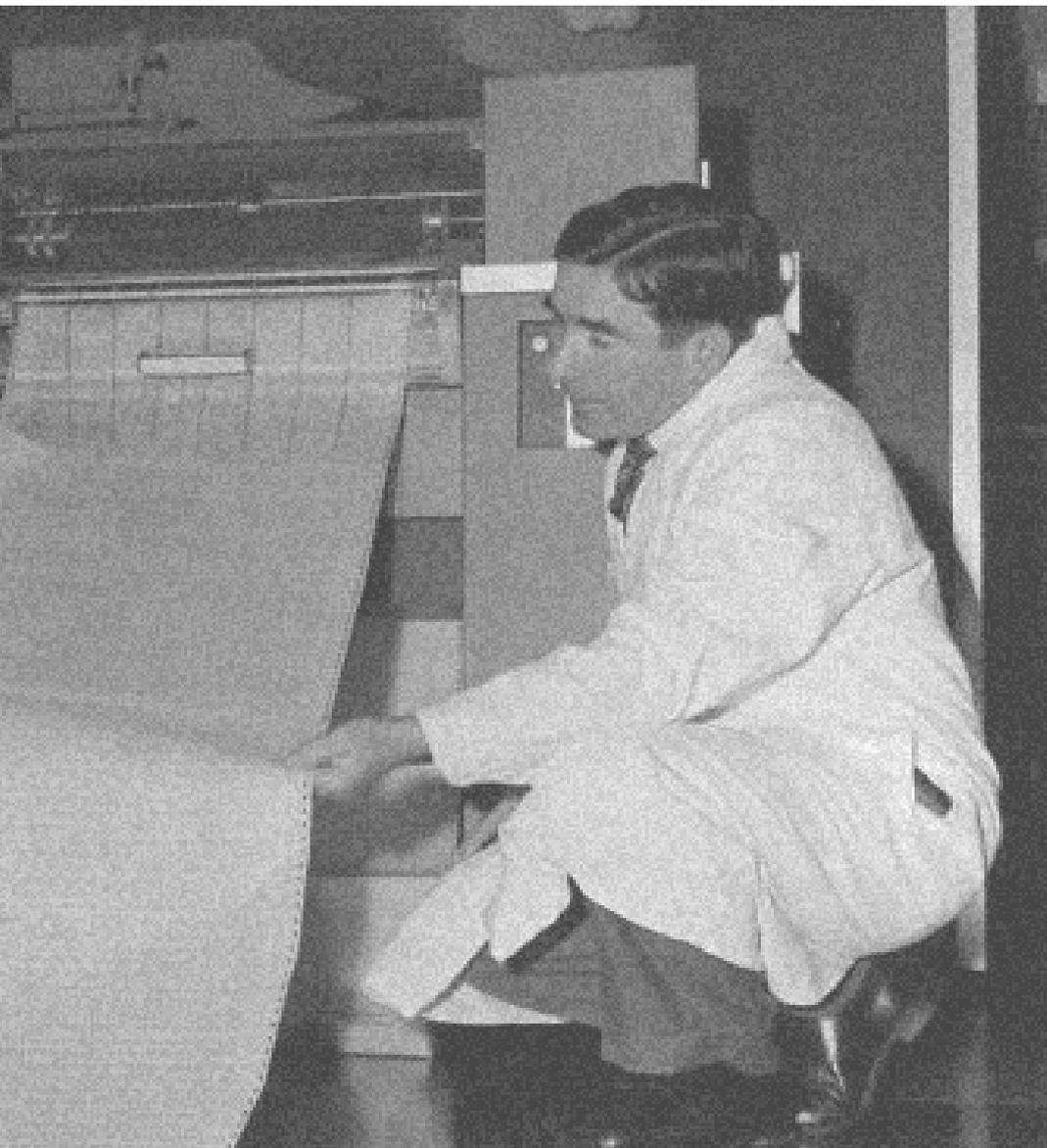


Figura 3. Impresión de programa meteorológico numérico en 1965. [3]

Los instrumentos más frecuentes utilizados por las estaciones meteorológicas son:

BARÓMETRO

Mide la presión atmosférica o el peso del aire por unidad de área.

SENSOR DE TEMPERATURA

Mide la temperatura ambiente y puede registrar las temperaturas mínimas y máximas de cada día.

SENSOR DE HUMEDAD RELATIVA AMBIENTE

Mide la temperatura ambiente y puede registrar la humedad relativa a lo largo del día, que permite determinar cuánta humedad hay en el aire respecto de la máxima que el aire puede contener a una temperatura determinada. La humedad relativa se expresa en porcentaje. Por ejemplo, 100% de humedad relativa expresa que la causa del rocío o la niebla es la condensación del aire.

PLUVIÓMETRO

Mide la cantidad de precipitaciones pluviales o lluvia y su unidad de medida es el milímetro.

ANEMÓMETRO

Registra la velocidad del viento. Por su parte, la veleta registra la dirección del viento.

PUNTO DE ROCÍO

Mide la cantidad de humedad en el aire.



¿SABIAS QUÉ?

El punto de rocío se alcanza cuando la humedad relativa es del 100 %, es decir, cuando el aire se satura y ya no puede contener la humedad ambiental. Cuanto más baja sea la temperatura, menos vapor de agua puede contener el aire y más rápido se alcanza el punto de rocío.



CLICK!

VIDEO 1
EL PUNTO DE ROCÍO [4]
SMN

QUÉ SON LAS NUBES

Además de medir valores de las variables meteorológicas con instrumentos de medición, también es relevante la observación por parte de los especialistas. *¿Qué tipo de nubes son las que observamos durante el día? ¿Cómo se llaman las nubes que forman parte de eventos meteorológicos extremos como los tornados?*

La formación de nubes es un proceso complejo cuyas etapas están estrechamente relacionadas entre sí. Para que las nubes se formen se necesitan tres elementos: vapor de agua en la atmósfera, partículas que permitan su condensación y bajas temperaturas. Una nube puede estar formada por una gran cantidad de gotitas minúsculas y cristalitas de hielo (procedentes del cambio de estado del vapor de agua de una masa de aire) que al ascender en la atmósfera, se enfría hasta llegar a la saturación.

Las nubes que se forman en los frentes fríos (cumulonimbos, altocúmulos) suelen ser de mayor desarrollo vertical y, por lo tanto, producen precipitaciones más intensas y con gotas de mayor tamaño que las que se generan en los frentes cálidos cuya forma más estratificada se presenta en capas (nimbostratos, estratos, estratocúmulos). Estas últimas habitualmente dan lugar a precipitaciones más suaves, tipo llovizna.

Existen diversas clases de **nubes**, que podemos clasificar en cuatro grupos:

NUBES ALTAS

Cirros, cirrocúmulos, cirrostratos.

NUBES MEDIAS

Altocúmulos, altoestratos.

NUBES BAJAS

Nimbostratos, estratocúmulos, estratos.

NUBES DE DESARROLLO VERTICAL

Cúmulos, cumulonimbos.



¿SABIAS QUÉ?

Las nubes son el resultado de la condensación del vapor de agua. Se pueden ver tanto desde la superficie de la Tierra como desde el espacio. Se diferencian por composición, altura de formación, tamaño, forma, entre otros parámetros.



#ConociendoLasNubes

VIDEO 2
ATLAS DE NUBES [5]
SMN

CLICK!



ATLAS DE NUBES

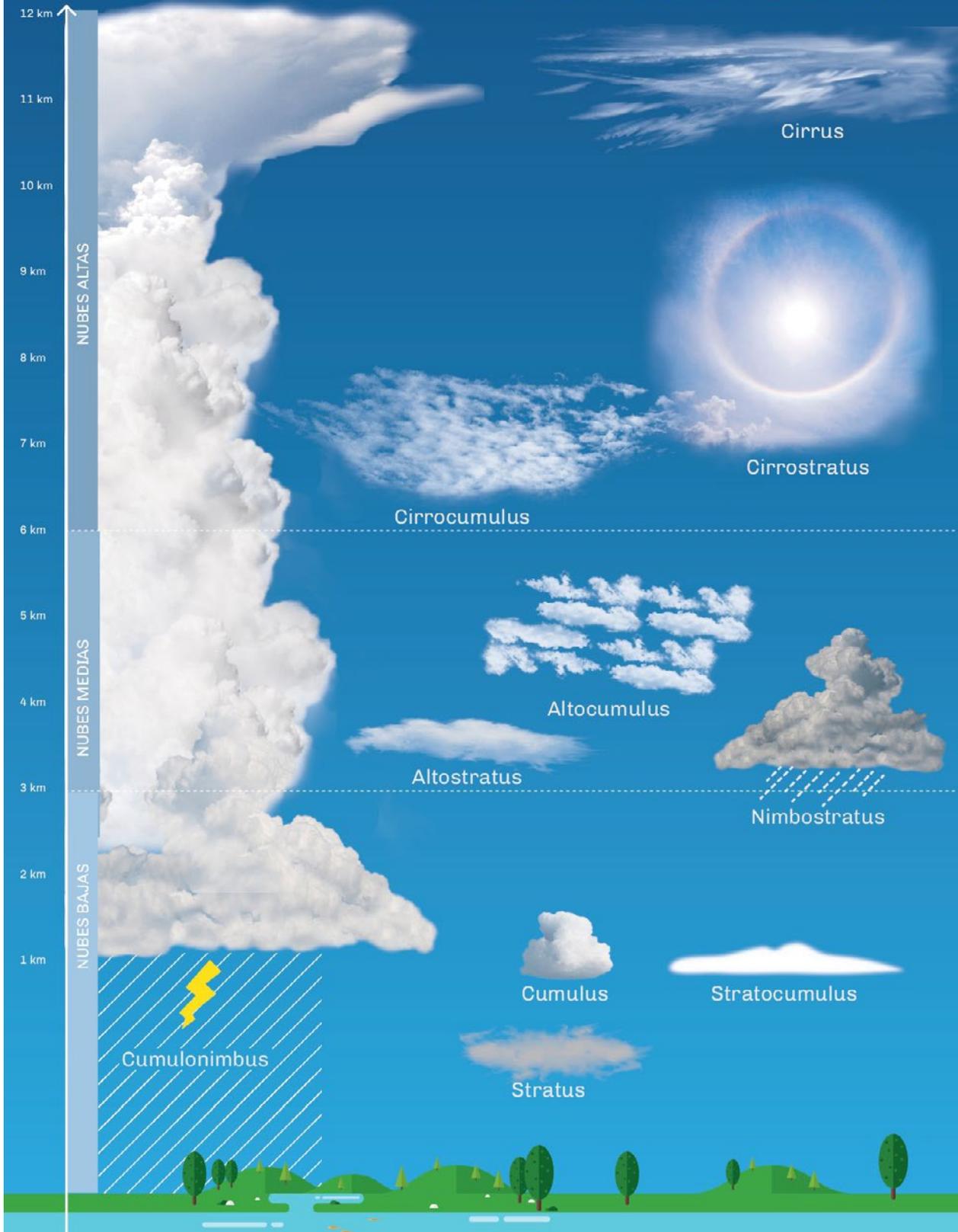


Figura 4. Atlas de Nubes .[6]

ACTIVIDADES DE INDAGACIÓN A REALIZAR POR LAS Y LOS ESTUDIANTES

En las siguientes actividades deberán realizar un registro diario de la información proporcionada por distintas fuentes a partir de los datos de las diferentes variables meteorológicas. Les proponemos realizar las siguientes actividades en pareja y les sugerimos que consideren tres horarios distintos en el día (mañana, tarde y noche).

1 Te invitamos a que leas y respondas las siguientes preguntas.

A. Registrar y completar en un documento de Excel (tal como aparece en la imagen) con los datos proporcionados por la página del [Servicio Meteorológico Nacional](#), la aplicación predeterminada de Google para el pronóstico del tiempo ([weather.com](#)) y la aplicación [Meteored](#) para cada una de las variables mencionadas.

Ver ejemplo de tabla aquí (Tabla 1)

A. En el caso de emitirse una alerta meteorológica (puede ser por ola de calor, granizo, lluvia, tormentas, ráfagas de viento) deberán fotografiar el cielo y clasificar las nubes de acuerdo con la clasificación dada.

Nombre de la nube según la imagen en la página 19	
Foto de la nube observada en el cielo (si corresponde)	
Alerta meteorológico (si corresponde)	
¿Coincidió con lo ocurrido al día siguiente?	
Pronóstico para el día siguiente (mirar el SMN a las 21hs)	
Velocidad y dirección del viento	
Humedad	
Presión Atmosférica	
Temperatura	
Fuente	SMN Weather Channel Meteored SMN Weather Channel Meteored SMN Weather Channel Meteored
Hora	Mañana Tarde Noche
Día	

Tabla 1. Ejemplo para la actividad.

ALGUNAS CONSIDERACIONES PARA LA REALIZACIÓN DE LAS ACTIVIDADES 1A) Y 1B)

Cada pareja deberá registrar por turnos los datos proporcionados por el SMN a las 21hs y cuál es el pronóstico para el día siguiente. Una vez que se haya registrado el primer dato, la pareja siguiente deberá analizar si los datos proporcionados por el SMN del día anterior coinciden o no con los datos registrados en ese día.

La columna de alerta meteorológica se completará cuando el SMN emita esta comunicación.

La columna denominada “Foto de la nube observada en el cielo” y “Nombre de la nube de acuerdo con la clasificación” se completarán en caso de haber una alerta meteorológica

C. Registrar los datos en el mismo día y horario por el SMN, Weather Channel y Meteored. ¿Qué tan diferentes son unos de otros?

D. Decidir si el pronóstico del tiempo brindado por los sitios web y/o aplicaciones se corresponden con lo ocurrido el día siguiente a su publicación.

A partir de esta primera actividad de registro comenzarás a tomar contacto con la meteorología en el marco del Proyecto “*Fenómenos meteorológicos extremos*”. Quizás te estés preguntando, ¿qué tiene que ver esto con los temas que abordamos en materias de las ciencias naturales? La respuesta es: ¡Mucho! Pero no solo con esa disciplina, sino con varias más: como la matemática, las ciencias de la computación, la tecnología, la ingeniería o las comunicaciones. De hecho, la meteorología estudia el tiempo y el clima con el auxilio de muchas otras áreas, ya que los fenómenos meteorológicos son complejos, caóticos e inciertos.

A medida que avancen, llevarán a cabo intercambios en los que reflexionarán sobre el significado que habitualmente le damos a estos conceptos en relación con lo que dice la ciencia, es decir, se analizarán opiniones sobre qué significan esos conceptos para ustedes y qué significan para la ciencia.

Los fenómenos meteorológicos extremos son cada vez más frecuentes, más intensos y, por tanto, más peligrosos para los seres humanos y los seres vivos en general. Por otra parte, afectan la actividad económica, ya que causan graves pérdidas materiales. Nuestro objetivo principal en este proyecto es que conozcan los aspectos centrales de los fenómenos meteorológicos extremos, cómo se estudian y se pronostican, cuáles de ellos pueden llegar a producirse en la zona donde vivís, y por qué a pesar de no tener certezas sobre ellos, contamos -a partir de estudios científicos- con herramientas teóricas y dispositivos tecnológicos para la toma de decisiones.

¿QUÉ SON LOS FENÓMENOS METEOROLÓGICOS EXTREMOS?

Los **fenómenos meteorológicos extremos** son sucesos que ocurren en la tropósfera (capa inferior de la atmósfera). Algunos de ellos pueden ser: olas de calor, olas de frío, tormentas severas, fuertes vientos, tornados, inundaciones, entre otros.

Las capas de la atmósfera se dividen en:



VIDEO 3 CAPAS DE LA ATMÓSFERA [7]

SMN

1. TROPÓSFERA

Es la capa más cercana a la superficie de la tierra y ocupa el mayor volumen de atmósfera (entre el 75% al 80%). Se extiende desde el nivel del mar hasta más o menos unos 10 km de altura. En la troposfera se desarrolla la vida del planeta. Más allá de la troposfera, las condiciones no permiten el desarrollo de la vida, ya que la temperatura y la presión atmosférica van disminuyendo en la troposfera a medida que se incrementa la altura en la que nos encontramos. Los fenómenos meteorológicos tal y como los conocemos se producen en la troposfera.

2. ESTRATÓSFERA

Se extiende desde los 10 km hasta los 50 km de altura. La temperatura en la estratosfera es mayor en la parte superior que en la inferior, dado que a medida que aumenta la altura hay una mayor absorción de radiación solar, gracias a la capa de ozono.

3. MESÓSFERA

Es la capa más delgada de la atmósfera y en ella se pueden alcanzar temperaturas de hasta -80° Celsius, se extiende desde los 50 km hasta más o menos los 80 km de altura. El comportamiento de la temperatura en la mesósfera es semejante a la tropósfera, ya que desciende en altitud. Esta capa de la atmósfera, a pesar de ser fría, es capaz de frenar a los meteoritos, pues cuando estos se precipitan en la atmósfera, comienzan a quemarse, dejando rastros de fuego en el cielo nocturno.

4. TERMÓSFERA

Es la capa de la atmósfera más amplia. Se extiende desde los 80 km hasta los 640 km. A estas alturas apenas queda aire. Todas las partículas que se encuentran en la termósfera están altamente cargadas de energía proveniente de los rayos del sol. La temperatura en la termosfera es muy alta, de hasta miles de grados Celsius. Es la capa don

5. EXÓSFERA

Esta es la capa más alejada de la superficie terrestre y debido a su altura, la más indefinida. Separa el planeta Tierra del espacio exterior. Se extiende, más o menos, entre los 600 km de altura hasta los 10.000 km. Está compuesta en su mayoría de hidrógeno.

EL SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL DE ARGENTINA

¿Qué hacemos como ciudadanos para conocer, por ejemplo, cuándo ocurrirá una tormenta? ¿Qué podemos observar? ¿Qué sitios brindan información al respecto? ¿Podemos tener acceso a ellos desde nuestros teléfonos celulares?

Todos los centros meteorológicos mundiales tienen la obligación de publicar hora a hora, mediante canales de comunicación y códigos propios, la información meteorológica de sus estaciones de monitoreo. Esta información es recopilada por los grandes centros de información del mundo, que también reciben a su vez datos de otras fuentes como, por ejemplo: radares, boyas, barcos, sondas, aviones, barcos y satélites.

En Argentina, el Servicio Meteorológico Nacional (*SMN*) brinda información y pronósticos meteorológicos, así como alertas en cada área de incumbencia, basados en el monitoreo continuo de la atmósfera y en el conocimiento científico, con el objeto de proteger a la población y dar cumplimiento a sus compromisos internacionales.

El SMN es un organismo estatal que desde el año 2007 fue transferido al ámbito de la actual Secretaría de Ciencia, Tecnología y Producción (desde el Ministerio de Defensa de la Nación, del cual dependía anteriormente). El SMN tiene 125 estaciones meteorológicas de superficie y de observación en altitud y se extiende sobre el territorio continental de la nación y la Antártida. Todos los días del año, el personal de estas estaciones mide y transmite los datos de las variables meteorológicas de acuerdo con las normas y programas establecidos por la Organización Meteorológica Mundial. Además, el SMN cuenta con 14 Oficinas Meteorológicas de Aeródromo (OMA), 5 Oficinas de Vigilancia Meteorológica (OVM) y 1 Oficina de Información Meteorológica (OIM) que elaboran y difunden pronósticos y alertas especiales para la aviación.



¿QUÉ INFORMACIÓN NOS BRINDA EL SITIO WEB DEL SMN?

Figura 5. Datos registrados el día martes 17 de septiembre del 2024 a las 19.20hs en CABA [9]

Servicio Meteorológico Nacional Argentina

PRONÓSTICO ▾ DATOS ▾ SERVICIOS ▾ COMUNICACIÓN ▾ NOSOTROS ▾

Volver Transparencia | Datos abiertos | RSS

SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA >

Ciudad Autónoma de Buenos Aires, CABA

21.5°C

Mayormente nublado
Actualizado: 18h

Humedad: 50 %
Presión: 1012.8 hPa
Viento: Noreste a 13 km/h
Visibilidad: 10 km

Sol
06:49
18:47
Fuente: SMN

Pronóstico para los próximos 7 días
Pronóstico oficial del día martes, 17 de Septiembre de 2024 - actualizado a las 18:43 horas

Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes
Mín 14°C Máx 25°C	Mín 14°C Máx 24°C	Mín 17°C Máx 23°C	Mín 13°C Máx 22°C	Mín 14°C Máx 23°C	Mín 12°C Máx 21°C	Mín 11°C Máx 22°C

Martes, 17 de Septiembre de 2024 Noche

- 1 Sistema de alerta temprana 2 Localidad 3 Datos de variables meteorológicas 4 Pronóstico extendido a 7 días

¿Es el SMN la única fuente de información de los fenómenos meteorológicos? La respuesta es no. Sin embargo, es la única información que se considera oficial para la Argentina.

Existen otros centros de información no gubernamentales que brindan pronósticos del tiempo, como por ejemplo: Weather Channel (la aplicación predeterminada de Google), Meteored, Windguru, Windy, entre otros, en versiones libres y pagas.

SMN

APP DEL SERVICIO METEOROLÓGICO
PARA CONOCER EL ESTADO DEL CLIMA/ALERTA E INFORMACIÓN

VIDEO 5
PRESENTARON LA APP PARA CONOCER EL ESTADO DEL CLIMA [10]
Televisión Pública Noticias

A continuación, les mostraremos algunas características de estas aplicaciones:

THE WEATHER CHANNEL

The Weather Channel es una cadena estadounidense de pronósticos del tiempo lanzada en 1982. Cuando se consulta sobre el tiempo desde Google, los pronósticos provienen de este sitio web.

METEORED

Meteored se ha convertido en uno de los proyectos líderes sobre información meteorológica a nivel mundial, con sede en España donde, además, se encuentra la mayor parte del equipo de trabajo formado por físicos, meteorólogos, ingenieros, diseñadores, periodistas, redactores, etc. Sus predicciones se basan en los datos que aporta el modelo ECMWF, considerado el mejor modelo meteorológico a nivel mundial por la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

WINDGURU

Windguru es una herramienta elaborada en 2003 como respuesta a la necesidad de los kitesurfistas y windsurfistas de conocer las condiciones del mar en tiempo real.

WINDY

Windy un proveedor de datos meteorológicos que se especializa en la creación de mapas meteorológicos animados.

Otros servicios meteorológicos internacionales consultados a nivel mundial, son:

[National Weather Service \(EEUU\)](#)

[Agencia Estatal de Meteorología \(España\)](#)

En la actualidad, gracias al avance de la tecnología y las comunicaciones, existen diferentes aplicaciones (como las mencionadas anteriormente) que nos permiten acceder al pronóstico desde nuestro celular. Para elegir una, es relevante tener en cuenta el propósito de la búsqueda y la precisión requerida para cada situación en particular.



CLICK!

VIDEO 6

"APP DEL TIEMPO": EL SMN LANZÓ UNA APLICACIÓN CON INFORMACIÓN PRECISA SOBRE EL CLIMA [11]

Televisión Pública Noticias

BLOQUE 1

FENÓMENOS METEOROLÓGICOS EXTREMOS DESTRUC- TIVOS Y MORTALES EN ARGENTINA

En este bloque se analiza qué son los fenómenos meteorológicos extremos (FME). Se discute los tipos de FME que pueden ocurrir en Argentina, particularmente, los tornados. Respecto de estos fenómenos se examina cuáles son los conceptos físicos involucrados y cuáles son las diferencias con un huracán. Además, se estudia cuál es la zona geográfica donde se producen estos fenómenos.

Figura 6. San Justo, Provincia de Santa Fe, Argentina, 1973. Devastación provocada por el tornado más violento en la historia de Sudamérica. [12]





Figura 7. Formas de refrescarse improvisadas por ola de calor. [13]

PARTE 1: "FENÓMENOS METEOROLÓGICOS EXTREMOS"

Teniendo en cuenta la zona en la que vivís y en la que te desplazás (desde tu casa a la escuela y viceversa), te pedimos que respondas a las siguientes preguntas:

- 1** A. ¿Qué fenómeno meteorológico extremo (FME) identificás que podría ocurrir o que ocurre en tu región (zona de la escuela o del lugar donde vivís)?
B. ¿Considerás que un FME, como por ejemplo un tornado, puede darse en la región donde vivís? ¿Por qué?
C. ¿Te preocupa vivir la experiencia de un FME? ¿Por qué? En el caso de que efectivamente te preocupe, ¿en qué situación? (cuando estás en la escuela, en tu casa o te trasladás de un lugar a otro).
D. ¿Buscás información sobre FME? ¿En qué sitios?
E. ¿Qué harías si te enfrentas a un FME?
- 2** ¿Cómo definirías con tus palabras un tornado? ¿Identificás algún concepto de los que estudiaste en física que permita explicar este fenómeno? ¿Cuál/es? ¿De qué manera obtenés información acerca de los tornados?

¿QUÉ SON LOS FENÓMENOS METEOROLÓGICOS EXTREMOS?

Los fenómenos meteorológicos extremos (FME) **son eventos atmosféricos inusuales debido a su magnitud, dimensión o duración**. Hay distintos tipos de FME. A continuación vamos a analizar algunos ejemplos...

Con sequías cada vez más largas, incendios incontrolables y olas de calor extenuantes, el verano 2022-2023 golpeó fuerte a toda la Argentina. Nuestro país atravesó el verano más cálido de su historia, con varias semanas de altas temperaturas y ciudades que superaron los 40° grados. El período estival de 2022 y 2023 fue el más caluroso desde 1961, según un informe del SMN. Además, se registró el récord de 9 olas de calor desde el final de la primavera hasta comienzos del otoño, con la particularidad de que algunas de ellas se extendieron por varios días (la última ola de calor duró dos semanas en algunas regiones). La primera ola de calor de la temporada 2023 fue muy temprana (comenzó a finales de noviembre) y la última terminó el 20 de marzo. Las *olas de calor* afectaron principalmente la zona centro del país, así como también en las zonas norte y litoral.

Por ejemplo, en Tandil, ciudad de la provincia de Buenos Aires, en Argentina, los valores serían temperaturas máximas iguales o superiores a 35 grados y mínimas que no bajan de 22 grados durante tres o más días consecutivos.

Una ola de calor se define como un período excesivamente cálido en el cual las temperaturas máximas y las mínimas superan ambas, por lo menos, durante tres días consecutivos, valores que dependen de cada localidad (definición del SMN).

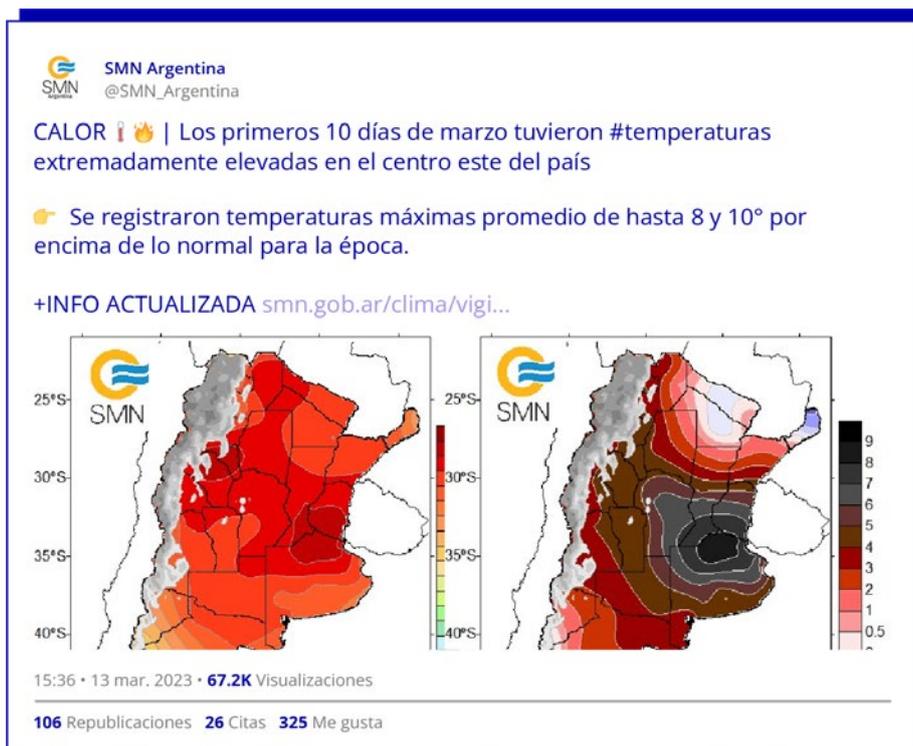


Figura 8. Reproducción de posteo en X del SMN sobre mapa de calor en marzo de 2023. [14]

A nivel global, existen evidencias contundentes de los riesgos para la salud frente al exceso de calor o temperaturas muy elevadas. Una herramienta importante que advierte de esos riesgos es el *Sistema de Alerta Temprana* por Olas de Calor y Salud (SAT-OCS) del SMN. Este Sistema se basa en los resultados del proyecto de investigación “Mortalidad por olas de calor en el semestre cálido 2013-2014 en las regiones del centro y norte de la República Argentina. Estudio ecológico”, realizado por un equipo interdisciplinario conformado por profesionales de las ciencias de la salud, de las ciencias sociales y de las ciencias de la atmósfera, entre los cuales se contó con integrantes del Ministerio de Salud de la Nación y del SMN. En esta investigación se analizaron y caracterizaron los efectos de las olas de calor del semestre cálido (octubre a marzo) 2013-2014 sobre la mortalidad en la región centro-norte de la Argentina, y el resultado evidenció un aumento significativo de la mortalidad producto de la ola de calor.

El Sistema de Alerta Temprana por Ola de Calor y Salud anticipa situaciones meteorológicas extremas y sus posibles efectos en la salud y mortalidad. El objetivo es que tanto la población como los organismos de protección civil puedan tomar las medidas de prevención, mitigación y de respuesta adecuadas a cada nivel de alerta

Los niveles de alerta y los efectos que tienen para la salud son los siguientes:

SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE OLA DE CALOR Y SALUD DEL 1 DE NOVIEMBRE AL 31 DE MARZO		
VERDE	Sin efecto sobre la salud	Sin peligro sobre la salud de la población.
AMARILLO	Efecto leve-moderado	Pueden ser peligrosas, sobre todo para los grupos de riesgo: bebés y niños pequeños, mayores de 65 años y enfermos crónicos.
NARANJA	Efecto moderado-alto	Pueden ser muy peligrosas, especialmente para los grupos de riesgo: bebés y niños pequeños, mayores de 65 años y enfermos crónicos.
ROJO	Efecto alto-extremo	Muy peligrosas. Pueden afectar a todas las personas saludables.



Figura 9. Sistema de Alerta Temprana por Olas de Calor en Argentina en 2019. [15]

Las olas de calor severas pueden provocar daños de diversa gravedad a las personas y seres vivos. Diferentes investigaciones han demostrado que durante las olas de calor -con noches de altas temperaturas- aumenta la morbilidad, es decir, los ingresos hospitalarios, y se incrementa la mortalidad (por infarto, entre otras causas), especialmente en personas de edad avanzada o con enfermedades crónicas. Las **personas jóvenes y sanas** no están exentas de **riesgo de muerte** en condiciones de calor extremo si realizan actividades no recomendadas para esos eventos (actividades deportivas, consumo de alcohol, hidratación inadecuada, entre otras). Durante la ocurrencia de este tipo, y otros eventos meteorológicos extremos, el SMN informa mediante sus alertas a corto plazo cuáles son las recomendaciones que deben seguir los ciudadanos para su prevención (medidas para el cuidado de la salud, uso responsable de la energía eléctrica).

Figura 10. Temperaturas Extremas de Calor. [16]

SAT | Sistema de Alerta Temprana

TEMPERATURAS EXTREMAS CALOR

Tomá medidas de prevención, mitigación y de respuesta adecuadas a cada nivel de alerta.

Se actualiza todos los días a las 19h.



VERDE	Sin efecto sobre la salud
Sin peligro sobre la salud de la población.	
AMARILLO	Efecto leve a moderado en la salud
Las temperaturas extremas pueden ser peligrosas, sobre todo para los grupos de riesgo, como niños y niñas, personas mayores de 65 años, con enfermedades crónicas.	
NARANJA	Efecto moderado a alto en la salud
Las temperaturas extremas pueden ser muy peligrosas, especialmente para los grupos de riesgo.	
ROJO	Efecto alto a extremo en la salud
Las temperaturas extremas son muy peligrosas. Pueden afectar a todas las personas, incluso a las saludables.	

¿POR QUÉ SE EMITEN ESTOS ALERTAS?

Porque se espera un periodo caluroso con temperaturas que pueden poner en peligro la salud de las personas.
La exposición prolongada a las temperaturas extremas agrava los cuadros crónicos e impacta negativamente en la salud de las personas.

RECOMENDACIONES para que te cuides



Aumentar el consumo de agua sin esperar a tener sed para mantener una hidratación adecuada.



Evitar las bebidas con cafeína, con alcohol o muy azucaradas.



No exponerse al sol en exceso, ni en horas centrales del día (entre las 10 y las 16 horas).



Prestar atención a los bebés, niños y niñas y a las personas mayores.



Evitar comidas muy abundantes.



Ingerir verduras y frutas.



Reducir la actividad física.



Usar ropa ligera, holgada y de colores claros, sombrero, anteojos oscuros.



Permanecer en espacios ventilados o acondicionados.

Recordar que no existe un tratamiento farmacológico contra el golpe de calor y sólo los métodos clásicos, citados arriba, pueden prevenirlo y contrarrestarlo.





Ante sed intensa y sequedad en la boca, temperatura mayor a 39° C, sudoración excesiva, piel seca, agotamiento, mareos o desmayo, dolores de estómago, falta de apetito, náuseas o vómitos, dolores de cabeza, entre otros, se deberá actuar de la siguiente manera:

Solicitar de inmediato asistencia médica.

Trasladar a la persona afectada a la sombra, a un lugar fresco y tranquilo.

Intentar refrescarla, mojarle la ropa y darle de beber agua fresca.

Por otra parte, es importante señalar también que **durante estos eventos extremos de calor la tierra seca es más susceptible a la erosión, lo que disminuye el suelo disponible para la agricultura y los incendios forestales aumentan en frecuencia, ya que la vegetación seca es más susceptible a la ignición.**

Una de las consecuencias del cambio climático es el incremento de la ocurrencia, intensidad y duración de eventos climáticos extremos, entre los cuales se encuentran las olas de calor. La Organización Meteorológica Mundial (WMO, por sus siglas en inglés) -organismo especializado de la Organización de las Naciones Unidas- en el informe “El estado del clima en América Latina y el Caribe 2021” detalla los impactos del cambio climático y los FME en toda la región. En el mismo se indica que, desafortunadamente, los riesgos hidrometeorológicos -como las sequías, las olas de calor y de frío, los ciclones tropicales, las tormentas severas y las crecidas- han causado la pérdida de cientos de vidas, graves daños en la producción agrícola y las infraestructuras y provocado desplazamientos de población. **Se destaca, además, que América del Sur es una de las regiones donde se documenta la mayor necesidad de refuerzo de los sistemas de alerta temprana y de mejores observaciones para tener mejores pronósticos.**

Además de las olas de calor y los eventos asociados a las inundaciones, existen otros FME como son los tornados.

El 13 de abril del 2023 se conmemoró la “Noche de los 100 tornados” que atravesaron gran parte de la provincia de Buenos Aires en Argentina. En la tarde del martes 13 de abril de 1993, las condiciones de alta inestabilidad y la llegada de un poderoso frente frío a la provincia de Buenos Aires dieron lugar al desarrollo de tor-



Figura 17. Peatonal de Mar del Plata, Pcia de Buenos Aires, Argentina, el día después de “la noche de los 100 tornados”. [17]

mentas severas acompañadas de decenas de tornados que afectaron a varias ciudades de esta provincia. Este evento fue clasificado por los expertos como “extraordinario” y, hasta hoy, ninguna otra tormenta en nuestro país ha logrado igualar la cantidad de tornados de ese día. Los tornados ocurridos en estas zonas alcanzaron velocidades de hasta 266 kilómetros por hora; hubo personas muertas y heridas y más de 3 millones de usuarios sufrieron cortes de luz. En total, **se reportaron más de 100 tornados** que fueron clasificados en categorías de F1 a F3.

Meteorólogos del mundo se hicieron eco de la noticia, ya que fue la mayor oleada de tornados registrada fuera del hemisferio norte, lo que evidencia que la región pampeana argentina es una de las zonas más propensas del mundo a los tornados. El SMN recordó este suceso, ratificando que **Argentina**, al igual que Estados Unidos, tiene su “**pasillo de los tornados**”.

PARTE 2: "TORNADOS: UN TIPO DE FME"

La naturaleza y la gravedad de los impactos debidos a FME no dependen solo de los propios fenómenos, sino también de la exposición y la vulnerabilidad a la que se ve envuelta la población. Cualquier actividad que se quiera realizar puede verse afectada por estos eventos, entre ellas las actividades del sector agrícola-ganadero, base de la economía de Argentina.

Para saber qué decisiones tomar, vamos a profundizar el estudio sobre los mismos.

Observen y analicen los siguientes videos:

3 Después de realizar el análisis de los videos referidos al fenómeno de los tornados, respondé "¿qué conceptos físicos están involucrados en la explicación de un tornado?" (Se sugiere utilizar un Mentimeter).

CLICK!



VIDEO 7

¿CÓMO SE FORMAN LOS TORNADOS? [18]

National Geographic España



VIDEO 8

HURACÁN VS TORNADO, ¿SON LO MISMO? [19]

SMN



VIDEO 9

TORNADOS EN ARGENTINA, ¿CÓMO SE FORMAN? [20]

Telefe Noticias



VIDEO 10

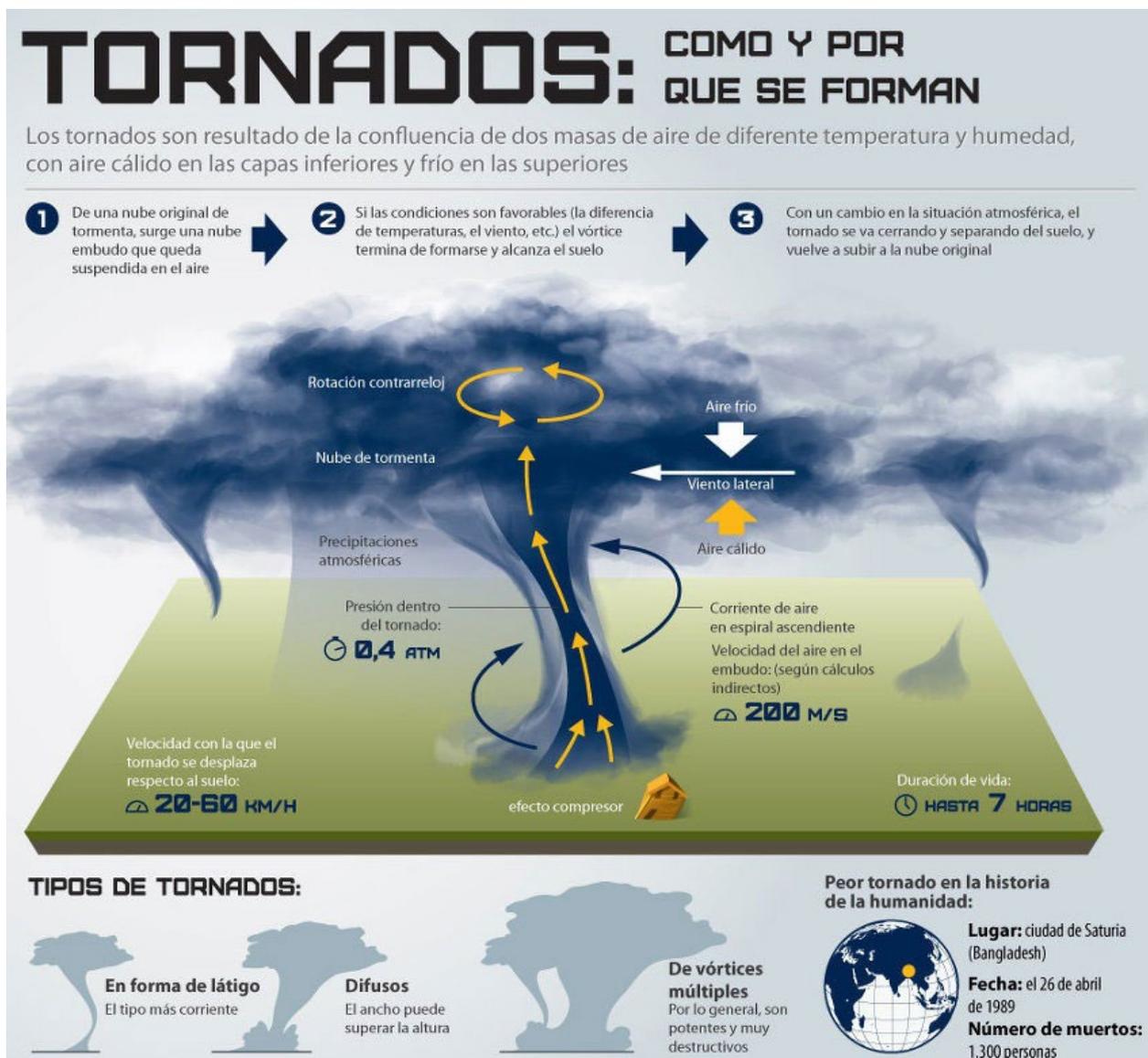
DE LA CALMA A LA TORMENTA- LA NOCHE DE LOS 100 TORNADOS EN TANDIL [21]

El Eco de Tandil

Un **tornado** (del latín tornare, 'girar') es un fenómeno meteorológico que consiste en un torbellino de viento producido a raíz de una rotación de aire de gran intensidad y de poca extensión horizontal, que se prolonga desde la base de una nube madre, conocida como **cumulonimbo**. Este comienza con el origen de la propia **supercelda**, que se da cuando una corriente de aire frío y seco se encuentra con otra de aire cálido y húmedo y se desplaza por encima de ella. Al ser más pesado el aire frío, se producen capas de aire inestable donde el aire frío desciende y obliga al aire caliente a ascender, creando de esta manera la tormenta.

La **fuerza más destructiva de los tornados está en el embudo**. Al desplazarse rápidamente hacia arriba en espiral, ese embudo succiona casas, árboles y puede elevar objetos tan pesados como un auto o una vaca.

Figura 12. Formación de los tornados. [22]



Los tornados se presentan de diferentes tamaños y formas, pero generalmente tienen la de una nube embudo, cuyo extremo más angosto toca el suelo y suele estar rodeado por una nube de desechos y polvo. Theodore Fujita (investigador de tormentas severas del siglo XX), de la Universidad de Chicago en Estados Unidos, creó en 1971 la primera escala para clasificar los tornados. Esta escala los clasifica según la gravedad en función de los daños que causan.

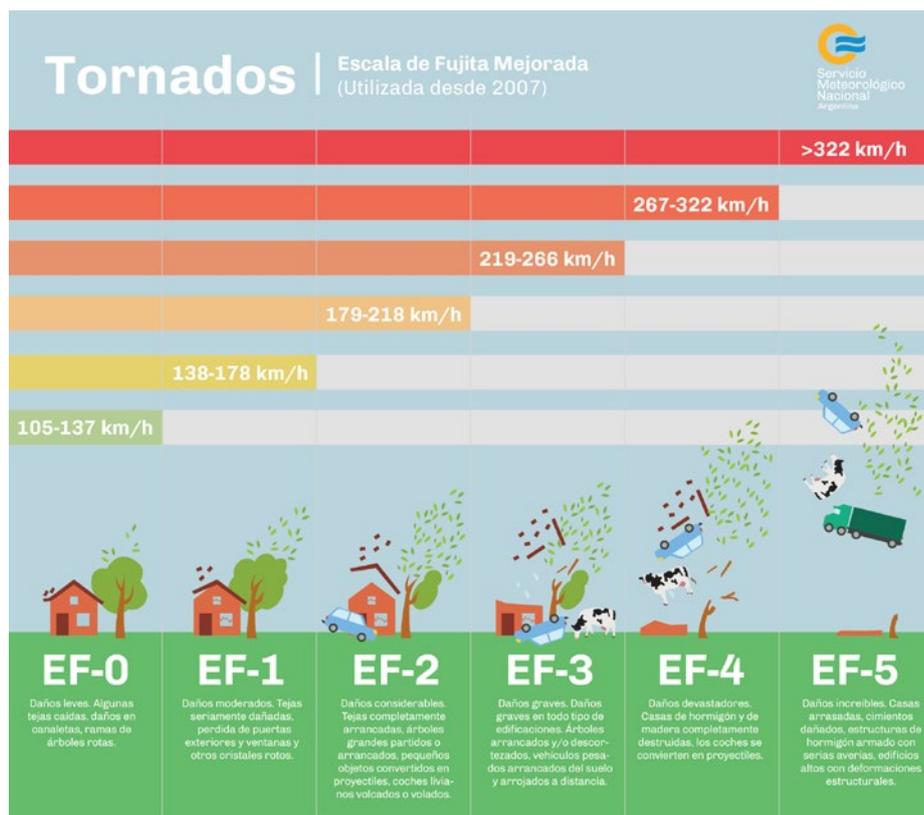
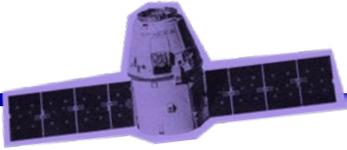


Figura 13. Los tornados se clasifican según la intensidad del viento utilizando la escala Fujita (SMN). [23]

La intensidad de un tornado de categoría F5 podría compararse (en unidades de energía) con la de una bomba nuclear como la Hiroshima y Nagasaki o con los destrozos generados a partir de los bombardeos en la guerra entre Ucrania y Rusia.

4 Los conceptos físicos identificados en la explicación de la formación de un tornado, ¿son suficientes para pronosticar cuándo ocurrirá? ¿Por qué?



¿SABIAS QUÉ?

Se estima que un huracán, de categoría 5, libera energía equivalente a varios miles de bombas atómicas de Hiroshima. Esta cantidad gran cantidad explica la capacidad destructiva de estos eventos que, además de cobrar vidas, genera gastos millonarios en la reconstrucción de vastas regiones.

Otro dato interesante es el que nos brinda el tornado de Oklahoma, en 2013. Varios meteorólogos contactados por la agencia de noticias estadounidense The Associated Press utilizaron mediciones en tiempo real para calcular la energía liberada durante el tiempo que duró el fenómeno, aproximadamente una hora. Esos cálculos oscilaron entre 8 veces y más de 600 veces la fuerza de la bomba de Hiroshima, y



Figura 14. Nube luego del bombardeo en Hiroshima en 1945. [24]



Figura 15. Destrucción del tornado en la ciudad de Moore en 2013. [25]

PARTE 3: "¿CÓMO PODEMOS INFORMARNOS SOBRE LA OCURRENCIA DE ALGÚN FME?"

A partir del material analizado y discutido hasta el momento, ¿de qué manera podemos informarnos sobre la ocurrencia de algún fenómeno extremo?

Para responder a esta pregunta debemos considerar que los pronósticos del tiempo o pronósticos meteorológicos que vemos en el celular,

en internet, en la televisión o escuchamos en la radio informan sobre las condiciones meteorológicas en un momento y lugar determinado.

La siguiente imagen muestra el pronóstico del tiempo del día martes 12 de marzo del 2024 comunicado por el SMN para la localidad de Olavarría, provincia de Buenos Aires, Argentina. Considerando esta información te solicitamos que respondas:



Figura 16. Captura de pantalla de la página de inicio del SMN. Pronóstico para Olavarría en diciembre de 2024. [26]

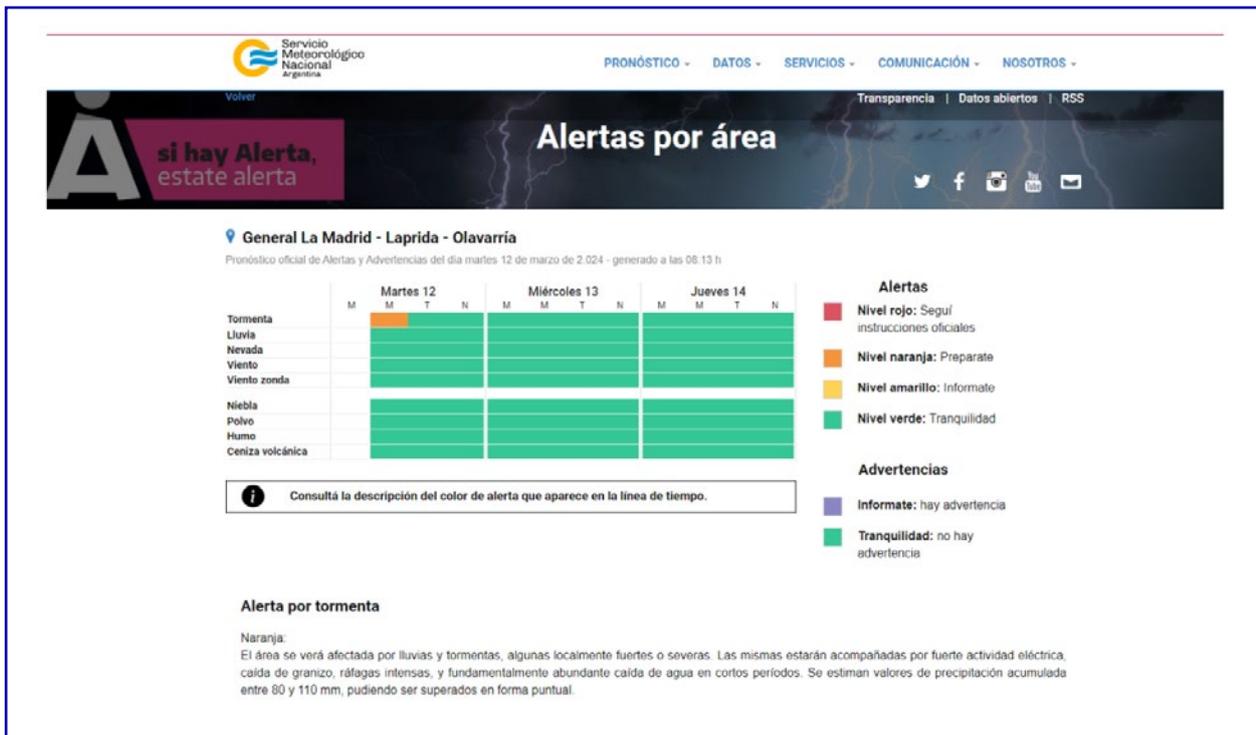


Figura 17. Captura de pantalla de la página de alertas del SMN para Olavarría en diciembre del 2024. [27]

5 A. ¿Qué información proporciona este pronóstico del tiempo?

B. ¿Se puede realizar alguna anticipación a partir de estos datos? ¿Cuál/es?

6 A continuación, te compartimos los siguientes videos para que puedas responder las preguntas:

A. ¿Cuáles son las características relevantes que forman parte de una alerta meteorológica? ¿Y las de un aviso a corto plazo?

B. ¿Cuál es el valor que se le asigna a los colores cuando se anuncia una alerta y qué información está asociada a ellos?

CLICK!

C SMN **Alertas**

Mensajes que informan sobre la posible ocurrencia de fenómenos que podrían poner en riesgo el medioambiente y la vida o los bienes de la sociedad.

VIDEO 11
SAT | ALERTAS METEOROLÓGICAS DE SMN [28]
 SMN

INFORMAN A LA POBLACIÓN

RÁFAGAS
 GRANIZO
 LLUVIAS INTENSAS

de ráfagas, granizo o lluvias intensas

VIDEO 12
SAT | AVISOS A MUY CORTO PLAZO [29]
 SMN

¿QUÉ OCURRIÓ EN BAHÍA BLANCA EL 16 DE DICIEMBRE DE 2023?

Bahía Blanca es una ciudad argentina ubicada en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires. Se sitúa en la región pampeana, a poca distancia del límite con la región patagónica y a 636 km de CABA.

El sábado 16 de diciembre de 2023 un temporal de lluvia y viento sin precedentes azotó al interior de la Provincia de Buenos Aires y el Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA). El fenómeno climático provocó daños materiales, lesiones y la muerte de al menos trece personas en la ciudad de Bahía Blanca.

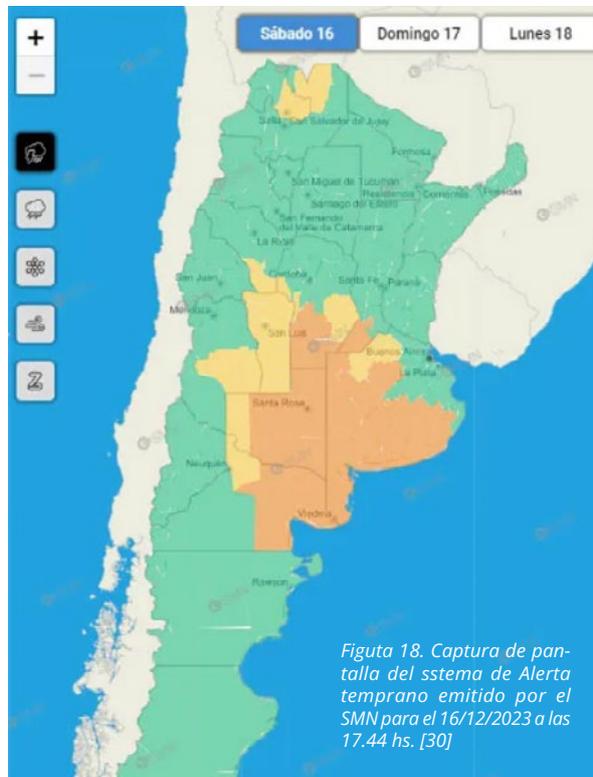


Figura 18. Captura de pantalla del sistema de Alerta temprana emitido por el SMN para el 16/12/2023 a las 17.44 hs. [30]

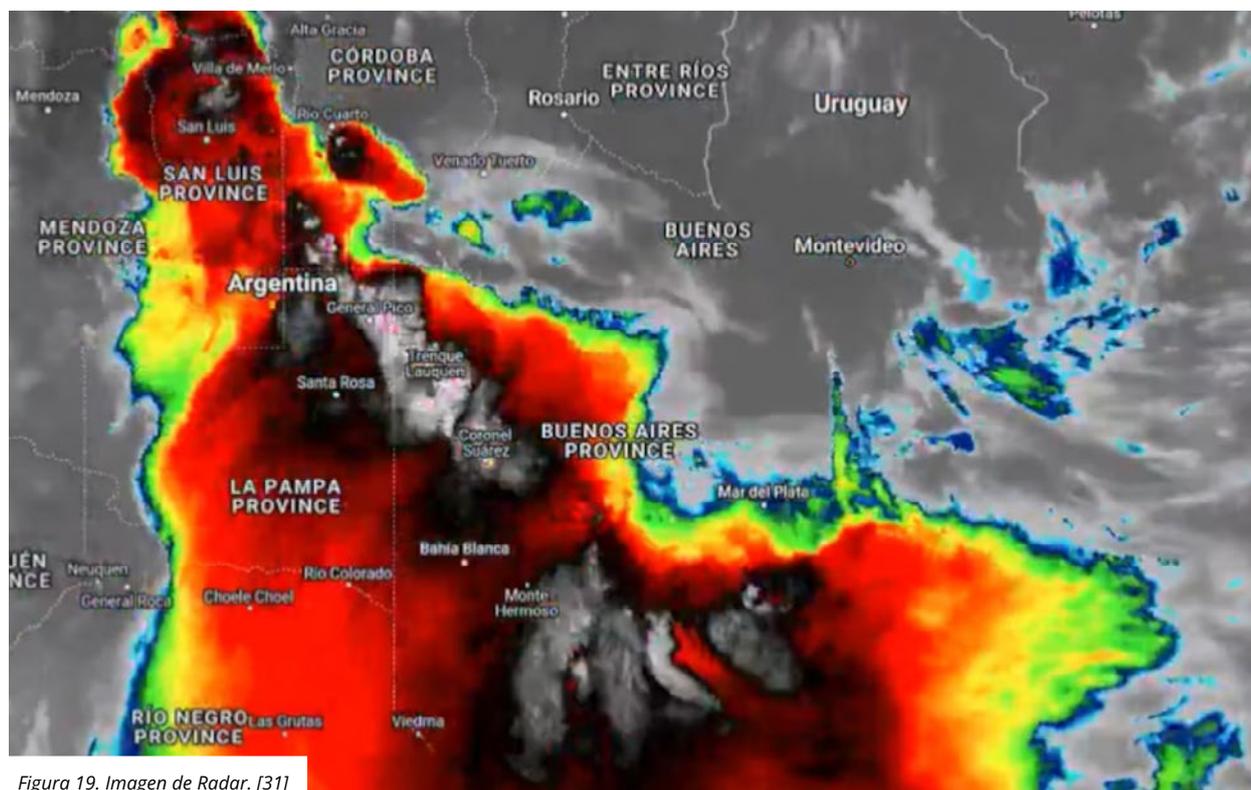


Figura 19. Imagen de Radar. [31]



Figura 20. Calle en Bahía Blanca después de las tormentas. [32]

En la entrevista realizada en “Infocielo” el 19/12/2023 a la investigadora del Conicet en el Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA, CONICET - UBA), la Dra. Paola Salio (imagen derecha), explicó que “lo que sucedió en AMBA y el interior de la Provincia de Buenos a nivel climático es lo que se conoce como un sistema conectivo de “mesoescala” (SCM ó Bow-echo) de gran intensidad, que se caracteriza por vientos extremos que en algunos casos superan los 100 kilómetros por hora”.

Los “Bow-echo” se mueven muy rápidamente formando un frente de ráfagas que siguen la misma dirección que la tormenta y generan vientos muy intensos. Es importante señalar que **muchas veces se asocia todo viento intenso a un tornado y eso es incorrecto, y por eso resulta importante atender a los sistemas de alerta de lo que dispone el SMN.**



Figura 21. Dra. Paola Salio. [33]

7 Considerando lo analizado hasta ahora responder las siguientes preguntas:

- A. ¿Podrían haberse evitado las pérdidas de vidas humanas en Bahía Blanca? ¿De qué manera?
- B. ¿Por qué creen que, como ciudadanos, no siempre tenemos en cuenta las alertas emitidas por el SMN?

En noviembre del 2023, frente al pronóstico por tormentas eléctricas emitido por el SMN, la cantante estadounidense, Taylor Swift, suspendió uno de sus recitales planificados en Capital Federal dadas las condiciones meteorológicas adversas.



Figura 22. Reproducción traducida de posteo en X de Taylor Swift. [34]



Figura 23. Taylor Swift. [35]

- 8** A. ¿Qué opinan sobre la decisión tomada por la cantante?
- B. ¿Qué harían si tienen la entrada comprada para el recital de su artista preferido, o para un partido de fútbol, y el mismo no se suspende a pesar de un alerta meteorológico?
- 9** A. ¿Recuerdan la suspensión de clases, u otras actividades sociales, ante la ocurrencia de FME? Especifiquen cuáles y cuándo sucedió la suspensión.
- B. Averigüen quiénes son las autoridades sobre las que recae la decisión de suspender actividades frente a un alerta meteorológico. ¿Estás de acuerdo con el criterio utilizado para la toma de decisiones? Justificá tu respuesta.
- C. ¿Qué medidas de seguridad adoptan ante la ocurrencia de FME? ¿Modificarías alguna conducta a partir de conocer más en profundidad estos fenómenos?

BLOQUE 2

OBSERVACIÓN Y PREDICCIÓN EN METEOROLOGÍA: UN RECORRIDO HISTÓRICO

En este bloque se realiza un análisis histórico sobre la evolución del proceso de observación y de la predicción en meteorología. También se profundiza sobre la evolución de las metodologías empleadas en la investigación meteorológica; los instrumentos utilizados en la antigüedad y en la actualidad, los problemas presentes a lo largo de la historia, la elaboración de los primeros pronósticos del tiempo, el registro de datos meteorológicos, entre otros aspectos de la historia de la meteorología.



Figura 24. Trabajadora de la Oficina del Clima del Aeropuerto de Washington D.C. calculando la trayectoria de un globo sonda para tomar mediciones de la velocidad del viento en la superficie en 1943. [36]

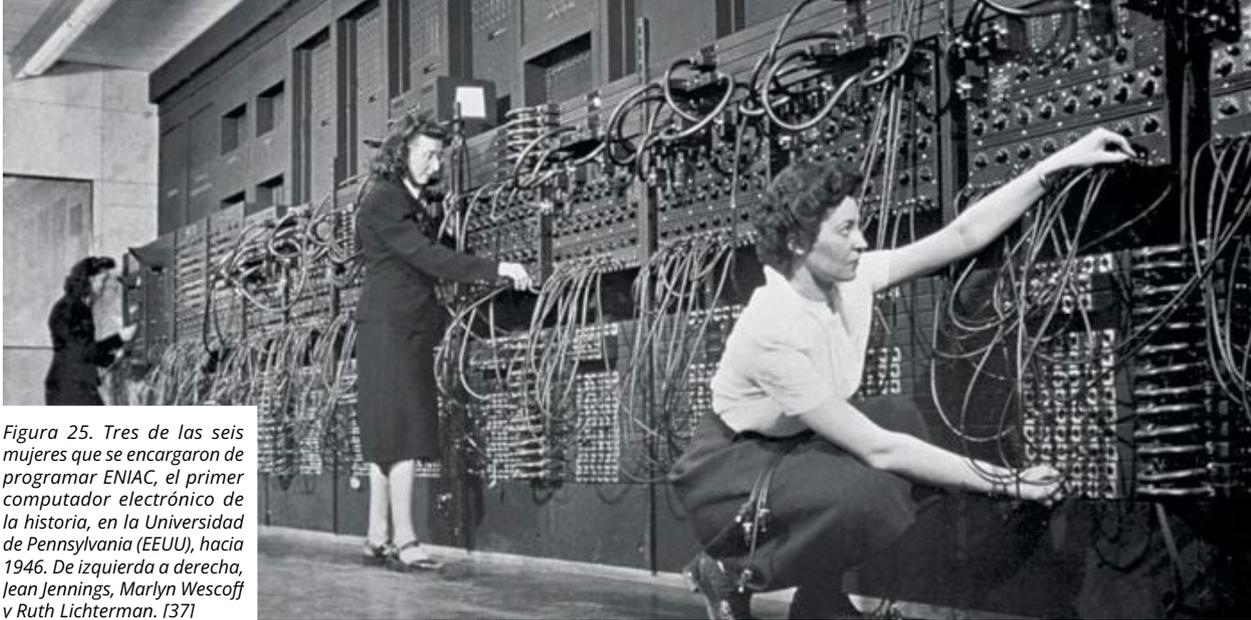


Figura 25. Tres de las seis mujeres que se encargaron de programar ENIAC, el primer computador electrónico de la historia, en la Universidad de Pennsylvania (EEUU), hacia 1946. De izquierda a derecha, Jean Jennings, Marlyn Wescoff y Ruth Lichterman. [37]

PARTE 1: ANÁLISIS HISTÓRICO DEL PROCESO DE OBSERVACIÓN Y PREDICCIÓN EN LA METEOROLOGÍA

Para iniciar el recorrido les proponemos una serie de lecturas y la observación de un video. Al finalizar respondan, las consignas propuestas:

- 1
 - A. ¿Tiempo y Clima significan lo mismo? ¿Por qué?
 - B. ¿Cuáles son los principales hitos en la historia de la ciencia del clima?

- 2
 - A. ¿En qué consisten las observaciones meteorológicas? ¿Por qué son relevantes para el pronóstico del tiempo?
 - B. ¿Por qué las observaciones -aunque necesarias, no son suficientes, para el estudio de fenómenos meteorológicos?
 - C. En ciencia, ¿es lo mismo pronosticar el tiempo que hacer una predicción? Para justificar tu respuesta, proponé un ejemplo de una predicción científica teniendo en cuenta los temas que has analizado en Física, Química, y materias afines.

VIDEO 13
¿DESDE CUÁNDO EXISTEN LOS PRONÓSTICOS DEL TIEMPO? [38]
 SMN

LECTURA 1
BREVE HISTORIA DE LAS CIENCIAS DEL CLIMA [39]
Cultura científica

LECTURA 2
LA HISTORIA DE LA OBSERVACIÓN DEL TIEMPO [40]
Mariners Weather Log

PARTE 2: "BREVE HISTORIA DE LA METEOROLOGÍA"

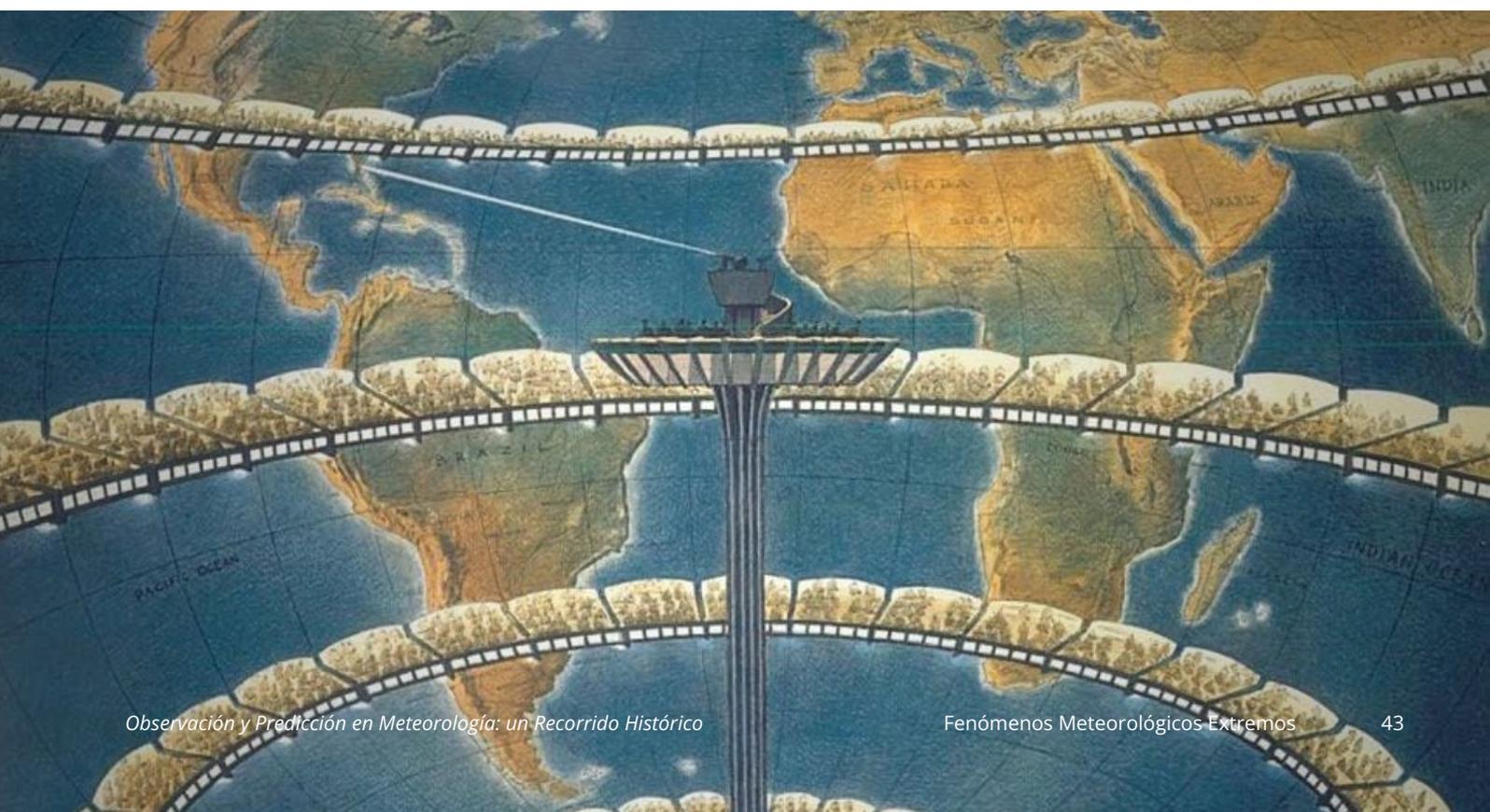
Vamos a retomar algunas cuestiones abordadas hasta el momento...

Al inicio del proyecto ustedes registraron datos de distintas variables atmosféricas a partir de sitios web y aplicaciones para el pronóstico meteorológico. ¿Por qué es importante recopilar datos sobre estas variables? Para reflexionar sobre esta pregunta te sugerimos que leas el texto que se desarrolla a continuación.

La meteorología como ciencia es relativamente joven comparada con otras como la astronomía o la física. No se sabe con exactitud desde cuando el ser humano comenzó a realizar predicciones del tiempo. Sin embargo, se tiene evidencia que desde la prehistoria nuestros antepasados utilizaban métodos sencillos e intuitivos para pronosticar el tiempo, y con eso mejorar su supervivencia.

En la antigüedad, el conocimiento sobre los fenómenos atmosféricos estuvo mediado por creencias sobrenaturales y asociado al movimiento de los astros. El estudio sistemático más amplio y difundido fue el de Aristóteles (384-322 a.C). Este filósofo griego introdujo el término "meteorología", construido a partir de las palabras griegas "meteoros" (alto en el cielo) y "logos" (conocimiento, tratado) en el primer tratado dedicado a la atmósfera, denominado "Los meteorológicos" (340 a.C). En el texto se plantea que la meteorología estudia "todos los efectos que se pueden llamar comunes al aire, al agua, a la forma y las partes de la Tierra y los efectos de sus partes".

Figura 26. La fábrica de predicciones meteorológicas concebida por Richardson en su libro "Predicción meteorológica por métodos numéricos". [41]



Las observaciones meteorológicas, incluidas la temperatura, la humedad, la presión atmosférica, la velocidad y la dirección del viento, son la base de los pronósticos meteorológicos en los que confiamos todos los días. Sin embargo, si las observaciones son tomadas en una única región, carecen de efectividad. Es recién a partir de 1840, con el desarrollo del telégrafo por **Samuel Morse**, que fue posible transmitir y recopilar con rapidez las observaciones. En 1850 aparecen los primeros servicios meteorológicos organizados en instituciones capaces de producir y difundir información y predicción del tiempo. Estos, en un primer momento, contaron con el apoyo de los gobiernos debido al éxito de su uso en la navegación, y más adelante para ámbitos destinados a la actividad diaria de las personas.

Samuel Finley Breese Morse fue un inventor y pintor estadounidense que, junto con su asociado Alfred Vail, inventó e instaló un sistema de telegrafía en Estados Unidos.

Podemos decir que el proceso de pronóstico del tiempo consta de cuatro elementos: observación, análisis, predicción y difusión/comunicación. Si bien a nosotros nos llega solo el final de este proceso, son las observaciones meteorológicas, la que constituyen el bloque fundamental para pronosticar el tiempo.

Los modelos numéricos permiten la recopilación, el control de calidad y el uso de las observaciones meteorológicas para crear pronósticos desde escalas locales hasta globales. Sin observaciones meteorológicas precisas, frecuentes, actuales y completas, los análisis son débiles y las predicciones son poco precisas, lo cual afecta negativamente el valor de la información meteorológica para el público y para el mundo.



Figura 27. Samuel F.B. Morse



Figura 28. Compañía de Telégrafos Eléctricos Telegraph Street en 1859 [43]

A comienzos del siglo XX, el científico noruego Vilhelm Bjerknes (1862-1951) se dedicó a adecuar la meteorología práctica como una aplicación de la física moderna. En 1904 propuso enfocar la predicción del tiempo como un problema de valores iniciales partiendo de la observación tridimensional (en tres dimensiones) de la atmósfera, y constituyó de esta manera el fundamento de la predicción actual.

Bjerknes mostró que las dos principales dificultades para llevar a cabo las predicciones meteorológicas estaban asociadas a la complejidad del problema matemático y la escasez e inadecuación

de las observaciones de la época;

los datos no eran suficientes, ya que

se circunscribían a la superficie de la Tierra. Sin embargo, a principios del siglo XX comenzó a desarrollarse la observación de la atmósfera superior (forma vertical) mediante globos, *sondas* y cometas que transportaban un *meteorógrafo* para registrar las observaciones. El seguimiento de los globos con teodolitos desde la Tierra permitió inferir la dirección y velocidad del viento. Finalmente, con el desarrollo de la aviación, se pudo profundizar en los niveles altos de la atmósfera.

Un globo sonda o globo meteorológico es un globo aerostático, que eleva instrumentos en la atmósfera para suministrar información acerca de la presión atmosférica, la temperatura y la humedad por medio de un pequeño aparato de medida desechable llamado radiosonda.

Un meteorógrafo es un instrumento de meteorología clásico, con el cual podemos medir y representar gráficamente la evolución de los valores de temperatura, humedad y presión atmosférica.



Figura 29. Vilhelm Bjerknes. [44]



Figura 30. Observador meteorológico comprueba los rumbos del teodolito antes de soltar el globo piloto que indica la velocidad y dirección de las corrientes de aire superiores. [45]

En 1920, el matemático y meteorólogo inglés Lewis Fry Richardson se enfrentó a la dificultad planteada por Bjerknes: el problema matemático de resolver las ecuaciones de la evolución atmosférica. Richardson la abordó mediante los llamados *métodos numéricos*.

En esa época no era posible realizar, en un corto tiempo,

Los métodos numéricos son un conjunto de operaciones matemáticas utilizadas para encontrar una solución numérica aproximada a un problema.

los inmensos cálculos que se necesitaban para pronosticar. Es por eso que al advertir esta dificultad escribió: "quizás algún día los avances de la computación lo hagan de manera más rápida y con un costo

menor que los gastos implicados".



Figura 46. Lewis Fry Richardson. [31]

Tal como lo sugirió Richardson, los métodos numéricos fueron empleados a partir del diseño y construcción de las primeras computadoras, con las experiencias de Jule Charney (meteorólogo estadounidense) y John von Neumann (matemático, físico e informático húngaro-estadounidense) en 1950.



4 A partir de la lectura y el intercambio, identifiquen los principales parámetros medibles y los aspectos observacionales que son relevantes para la elaboración de un pronóstico del tiempo.

5 ¿Cuál es, el rol fundamental de las computadoras para realizar los pronósticos del tiempo?

Figura 47. Grupo ENIAC - acrónimo de "Electronic Numerical Integrator and Computer" (Computador e Integrador Numérico Electrónico), fue una de las primeras computadoras para propósitos generales como, por ejemplo, los cálculos - en 1950, incluidos von Neumann (segundo a la izquierda) y Jule Charney (extremo derecho). [37]

ACTIVIDADES DE TAREA

Al finalizar esta sección, les sugerimos que se organicen en tres grupos para resolver las siguientes consignas:

GRUPO 1

1 Elaborar y presentar una línea del tiempo que refleje cómo evolucionó a lo largo de la historia la forma de trabajar en meteorología. En esta línea del tiempo deberán colocar hitos relevantes de la disciplina a nivel mundial y particularmente en Argentina.

2 Para realizar esta actividad deberán considerar las lecturas y video abordados en clase. Les sugerimos algunas preguntas orientadoras, pero Uds. pueden agregar más de acuerdo a cómo elaboren la presentación de la línea del tiempo: ¿Por qué surge la necesidad de realizar pronósticos? ¿Cómo fue la evolución científica y tecnológica en la elaboración de los mismos? ¿Cómo evolucionaron a lo largo de la historia los instrumentos utilizados?

3 La línea del tiempo se debe compartir en clase y el tiempo máximo de presentación NO debe exceder los 15 minutos. Se espera que cada uno de los integrantes del grupo participe de la presentación y pueda responder las preguntas del/a docente y sus compañeros/as.

LECTURA 3

LÍNEA DEL TIEMPO: QUÉ ES, CARACTERÍSTICAS Y CÓMO HACERLA [47]

Tu gimnasia cerebral



GRUPO 2

1 Deberán escuchar el siguiente podcast:



2 Elaborar una presentación (PowerPoint, Prezi o Genially) a partir de las siguientes preguntas:

- A. ¿Qué aspectos desarrolla el podcast?
- B. ¿Qué ocurre con el conocimiento “popular” respecto del tiempo meteorológico?
- C. ¿Por qué crees que se menciona que un pastor puede asemejarse a un meteorólogo y predecir el tiempo?
- D. ¿Qué opinas del saber popular sobre el tiempo? ¿Crees que acierta? Si es así, ¿por qué crees que acierta?
- E. ¿Podrías dar ejemplos del saber popular vinculado con el tiempo?

3 La presentación se debe compartir en clase y el tiempo máximo de presentación NO debe exceder los 15 minutos. Se espera que cada uno de los integrantes del grupo participe de la explicación oral y respondan las preguntas del docente y sus compañeros/as.

GRUPO 3

- 1 Deberán elaborar una infografía que contemple los instrumentos utilizados en meteorología: satélites, radares, boyas (flotantes y ancladas), globos meteorológicos. Deben destacar aspectos esenciales de cada uno.
- 2 Analizar cuáles de los instrumentos del punto anterior se utilizan para identificar potenciales nubes generadoras de tornados. Fundamenten la respuesta.
- 3 La presentación de la infografía se debe compartir en clase y el tiempo máximo será de 15 minutos. Para la búsqueda de información les proponemos los materiales complementarios (lecturas y videos), así como algunos sitios web que analizan estos conceptos en el que encontrarán:



VIDEO 14

¿CÓMO HACER UNA INFOGRAFÍA? ¿QUÉ ES UNA INFOGRAFÍA? [49]

Alfabetizarte

LECTURA 4

RADARES METEOROLÓGICOS [50]

Meteoros (revista del SMN)



LECTURA 5

LAS ANTIGUAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS OCEÁNICAS FIJAS: BARCO K. [51]

Meteored

LECTURA 6

CÓMO FUNCIONAN LOS "GLOBOS SONDA" QUE SE ELEVAN A DIARIO Y AYUDAN A LOS PRONÓSTICOS METEOROLÓGICOS [52]

BBC Mundo



VIDEO 15

GLOBOS METEOROLÓGICOS [53]

SMN

LECTURA 7

BOYA PARA MONITOREO AMBIENTAL MÁS EFECTIVA Y DIEZ VECES MÁS ECONÓMICA QUE LAS IMPORTADAS [54]

RedVitec



VIDEO 16

RADARES Y SATÉLITES [55]

SMN

La infografía es una técnica de representación multimedia que comprende el diseño, composición y desarrollo de información visual, con el fin de resumir o explicar de manera simplificada informaciones, ideas o textos.

BLOQUE 3

LA IMPORTANCIA DE LA MODELIZACIÓN EN LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y EN LA METEOROLOGÍA

En este bloque se analiza cómo se utiliza el concepto de modelo en las ciencias naturales y se examina la naturaleza de los modelos utilizados para el estudio de fenómenos meteorológicos. En particular, se estudia el rol de las computadoras, la modelización computacional y las simulaciones computacionales en el estudio de los fenómenos meteorológicos.

*Figura 33. Cecilia Berdichevsky
trabajando con la computadora
Clementina en 1962. [56]*



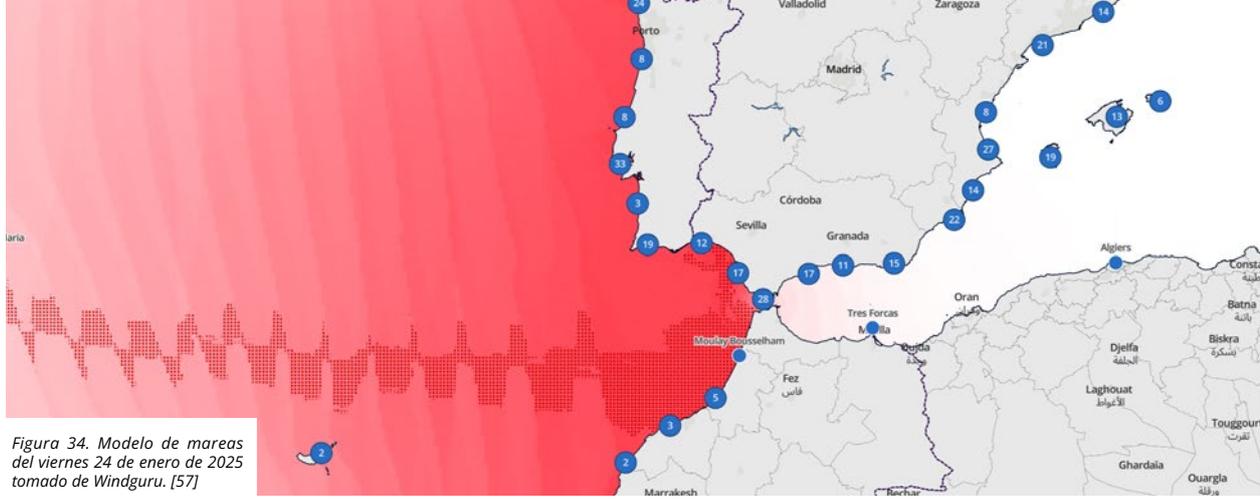


Figura 34. Modelo de mareas del viernes 24 de enero de 2025 tomado de Windguru. [57]

PARTE 1: "INTRODUCCIÓN AL CONCEPTO DE MODELO EN METEOROLOGÍA"

En apartados anteriores se acercaron a diferentes temas vinculados con la formación de tornados; qué conceptos físicos están involucrados en la explicación del mismo, qué disciplinas estudian este tipo de fenómeno meteorológico, qué instrumentos se utilizan para analizarlos y registrarlos, qué características de la atmósfera deben darse para su formación, cuáles son las regiones del país donde se pueden formar, entre otros.

Por otra parte, se analizó la evolución histórica en la forma de trabajar en meteorología, que incluye las observaciones y la toma de datos necesarias para la elaboración del pronóstico del tiempo. En relación con esto les pedimos que respondan las siguientes preguntas. Para algunas tendrán en cuenta las lecturas realizadas.

- 1 A. ¿Han discutido en las clases de Ciencias Naturales el concepto de "modelo"? ¿Cómo definirían con sus palabras el concepto de modelo en ciencias naturales? Identifiquen ejemplos de modelos trabajados en clases de física, química o biología.
- B. De acuerdo con lo analizado, ¿por qué el concepto de modelo sería relevante en el estudio de fenómenos meteorológicos?
- C. ¿Cuál es el rol que cumplen en meteorología las computadoras, a partir de la década del '50 del siglo XX ¿Qué relación hay entre la computación y los modelos meteorológicos?

- 2 A. ¿Cómo creen que se utilizan los datos que se obtienen en las estaciones meteorológicas para realizar un pronóstico?
- B. Imaginen un posible proceso de tratamiento de esos datos. ¿Qué papel atribuyen a los modelos en ese proceso?

PARTE 2: "LOS MODELOS EN CIENCIAS NATURALES Y EN METEOROLOGÍA"



¿SABIAS QUÉ?

A partir de los años 50 del siglo XX se desarrollaron modelos meteorológicos sofisticados que fueron fundamentales para el conocimiento más profundo de la atmósfera y para realizar mejores predicciones del tiempo.

Resulta aquí necesario acordar cómo se define un modelo en ciencias naturales. **Los modelos pueden considerarse como las principales herramientas intelectuales que se usan en la producción del conocimiento científico.**

Los sofisticados modelos (llamados "teóricos") que se utilizan en las ciencias naturales son modelos "para" lograr determinados propósitos perseguidos por los científicos, tales como clasificar, explicar, predecir e intervenir. En los temas anteriores vimos, por ejemplo, un modelo de clasificación de las nubes que se basa en su forma y la altura de la atmósfera en la que se encuentran. También examinamos un modelo de tornado que pretende explicar la "mecánica" de su formación y un modelo ordenatorio de tipo "escala" que organiza

los tornados de acuerdo a los daños que producen. En estos tres modelos, además del lenguaje verbal, son de mucha importancia las imágenes.

Los modelos funcionan como mediadores entre las ideas teóricas que sostienen los científicos y los hechos o fenómenos del mundo que ellos quieren explicar. Los modelos, entonces, "corporizan" las teorías científicas; pueden ser entendidos como aplicaciones concretas de sus leyes a un conjunto bien delimitado de fenómenos.

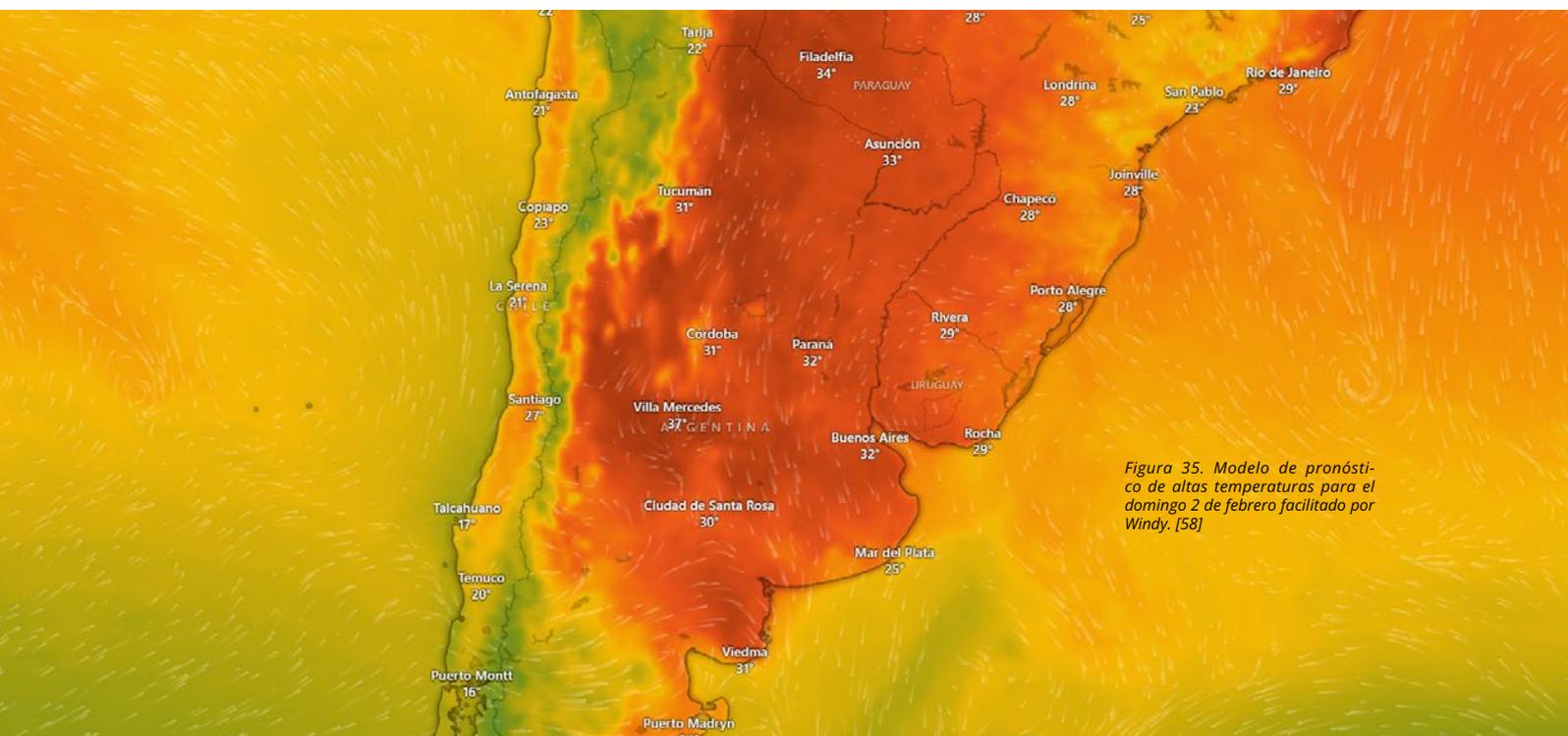


Figura 35. Modelo de pronóstico de altas temperaturas para el domingo 2 de febrero facilitado por Windy. [58]

A continuación se analiza un ejemplo de modelo frecuentemente utilizado en las ciencias naturales: el modelo atómico. Los modelos atómicos han sido desarrollados a lo largo de la historia de la humanidad a partir de las ideas que en cada época se manejaban respecto a la composición y organización de la materia. Un modelo atómico es una representación simbólica (con un fuerte componente gráfico) que describe la estructura y el comportamiento del átomo entendido como porción minúscula de la materia. Los modelos atómicos han sido herramientas importantes para explicar la naturaleza de la materia y están en la base de muchas ramas de la ciencia como la química y la física, entre otras.

Los primeros modelos atómicos datan de la antigüedad (siglo V a.C), cuando los filósofos y naturalistas reflexionaron sobre la composición de las cosas que existen, es decir, de la materia.

Cada modelo atómico de la historia representa una etapa en la evolución del conocimiento

humano sobre la estructura de la materia y está basado en la tecnología y el entendimiento científico de su época. Los modelos más antiguos, aunque incorrectos en términos de la ciencia moderna, fueron importantes en su momento para desarrollar una comprensión profunda de la materia que permitiera la intervención sobre ella. Los modelos más recientes incorporan la mecánica cuántica y proporcionan una descripción más precisa y completa de los átomos y sus interacciones.

CRONOLOGÍA DE LOS MODELOS ATÓMICOS

En la siguiente línea del tiempo se muestra una posible representación de la evolución en la forma de conceptualizar los átomos, elaborada por la Dra. Ingeniera Lourdes Torres, docente investigadora de la Universidad Nacional de Cuyo en el Instituto Balseiro.

Modelos Atómicos en la Historia

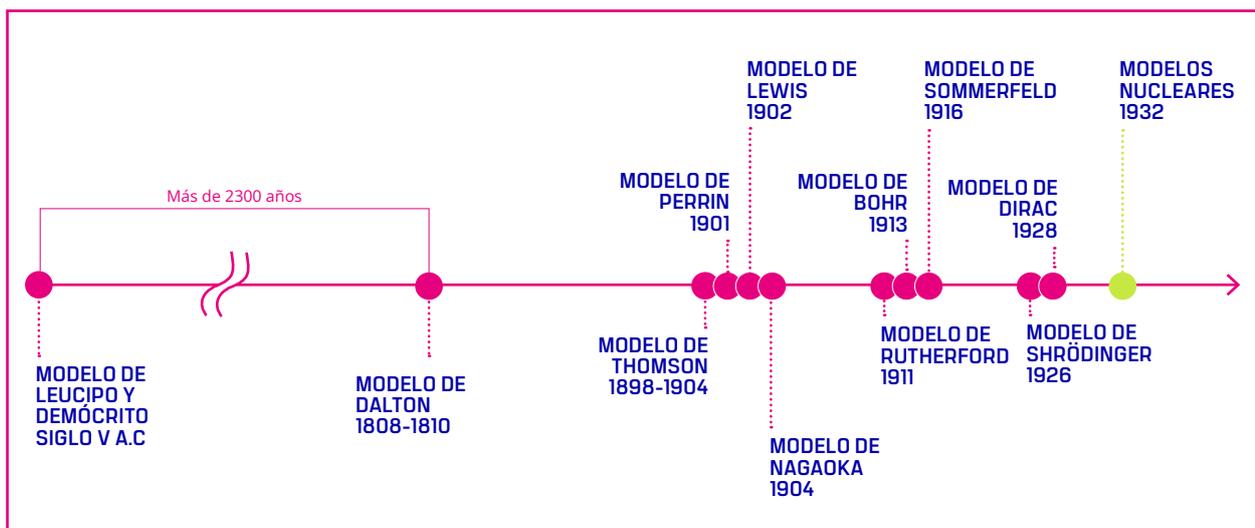
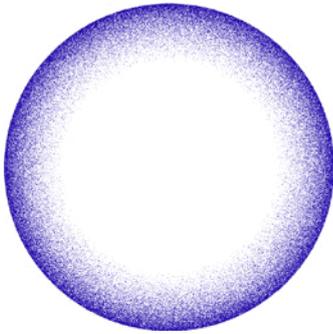


Figura 26. Reproducción de línea de tiempo desarrollada por la Dra. Ingeniera Lourdes Torres. [59]

El siguiente cuadro resume las características de los distintos modelos atómicos: los años en los que se publicaron, la descripción de cada uno de ellos y una posible representación gráfica convencional.

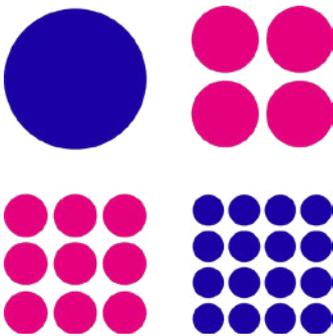


MODELO DE LEUCIPO DE MILETO Y DEMÓCRITO DE ABDERA (S. V A.C.)

El átomo es una partícula indivisible, indestructible, incompresible, eterna, invisible y homogénea, que puede variar en tamaño y forma.



Figura 37 y 38. Leucippus y Demócrito. [60] [61]

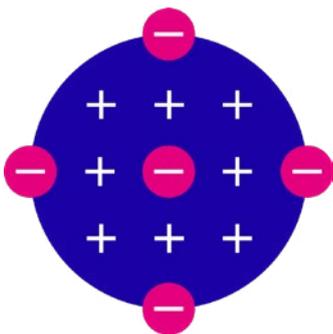


MODELO DE JOHN DALTON (1808-1810)

Los átomos no tienen estructura interna y se diferencian por su tamaño.



Figura 39. John Dalton. [62]

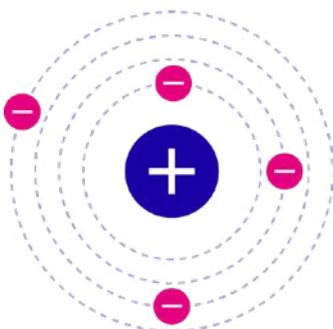


MODELO DE JOSEPH JOHN THOMSON (1898-1904)

El átomo es una esfera tenue indivisible de carga positiva, con electrones incrustados como pasas en un budín.



Figura 40. Joseph John Thomson. [63]

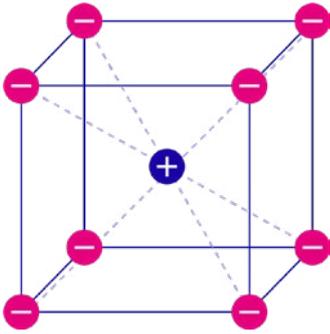


MODELO DE JEAN BAPTISTE PERRIN (1901)

El átomo puede representarse como un sistema planetario con un núcleo atómico rodeado de electrones como si fueran planetas.



Figura 41. Jean Baptiste Perrin. [64]



MODELO DE GILBERT NEWTON LEWIS (DESARRO- LLADO EN 1902, PUBLICADO EN 1916)

El átomo es una estructura cúbica, con el núcleo atómico en el centro y los electrones posicionados en los ocho vértices.



Figura 42. Gilbert Newton Lewis. [65]

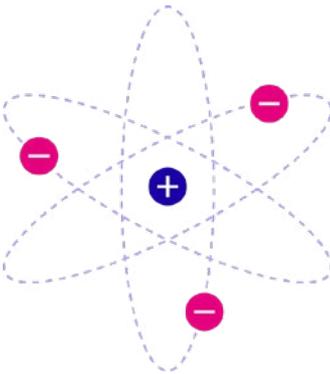


MODELO DE HANTARO NAGAOKA (FUE PUBLICA- DO ENTRE 1904 Y 1908)

El átomo puede representarse con un modelo saturnino, con un núcleo atómico de carga positiva y electrones dispuestos como los anillos de Saturno.



Figura 43. Hantaro Nagaoka. [66]

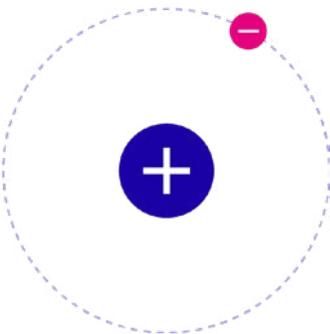


MODELO DE ERNEST RUTHERFORD (1911)

El átomo está formado por un núcleo atómico muy pequeño y denso, compuesto por cargas positivas, con electrones orbitando alrededor de él en trayectorias distintas.



Figura 44. Ernest Rutherford. [67]

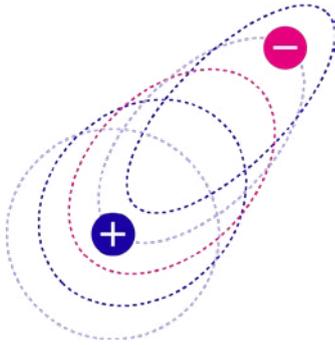


MODELO DE NIELS BOHR (1913)

En el átomo, los electrones orbitan alrededor del núcleo en niveles energéticos bien determinados, según la cantidad de energía que absorben o emiten.



Figura 45. Niels Bohr. [68]

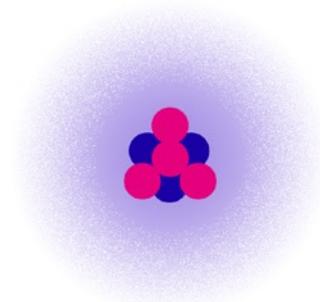


MODELO DE ARNOLD SOMMERFELD (1916)

En el átomo, los electrones orbitan alrededor del núcleo en diferentes niveles energéticos, describiendo trayectorias circulares o elípticas.



Figura 46. Arnold Sommerfeld. [69]

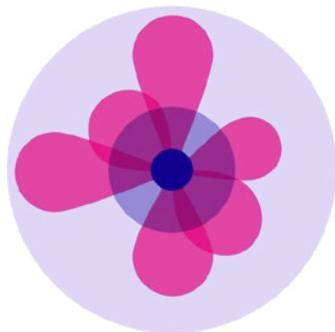


MODELO DE ERWIN SCHRÖDINGER (1916)

En el átomo, los electrones se comportan como ondas; se posicionan alrededor del núcleo en "orbitales".



Figura 47. Erwin Schrodinger. [70]



MODELO DE PAUL DIRAC (1928)

Su modelo de átomo es consistente con los principios de la mecánica cuántica y con la teoría de la relatividad especial.



Figura 48. Paul Dirac. [71]

De los modelos atómicos presentados en el cuadro, abordaremos el modelo de Bohr debido a que es el más conocido y utilizado en la escuela secundaria en clases de química, biología y física. En este modelo se propone lo siguiente: todos los electrones giran en torno a su núcleo a partir de ciertas órbitas llamadas *estados estacionarios*; cada órbita representa un nivel diferente de energía. Con este modelo no podemos saber cómo es el aumento de electronegatividad en la tabla periódica, pero sí cómo se comporta el átomo en su núcleo y su capacidad de captar electrones. El modelo atómico de Bohr postula las relaciones matemáticas que definen su representación. Uno de sus postulados menciona que:

El electrón solo puede ocupar ciertas órbitas circulares alrededor del protón, tales que en estas no emite radiación electromagnética.

Un electrón que gira alrededor de un núcleo en una órbita de radio r y con velocidad v se encuentra sujeto a la fuerza de atracción electrostática del núcleo de carga $+Ze$ (Z es el número atómico) que ejerce sobre él ($-e$ representa la carga del electrón). La misma se describe como:

$$F = \frac{(Z_e)(-e)}{r^2} = -\frac{Ze^2}{r^2}$$

Por otra parte, se han diseñado simulaciones educativas que permiten analizar los componentes del átomo.

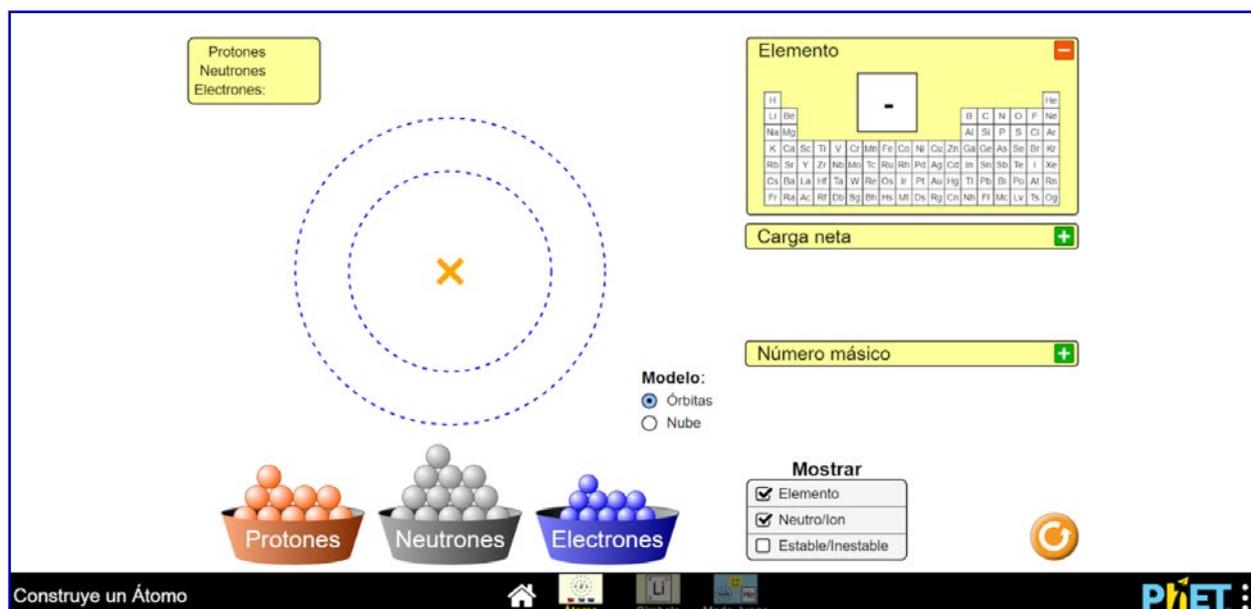


Figura 49. Captura de pantalla obtenida de simulación en Phet. [72]

Dicha simulación educativa permite estudiar la composición del átomo: se dibuja un modelo del átomo a partir del número de protones, neutrones y electrones, se identifica el elemento y se determina la masa y la carga; y se predice cómo la adición o sustracción de un protón, neutrón, o electrón cambiará el elemento, la carga, la masa, entre otras cosas.

La construcción de modelos científicos es, en muchos aspectos, análoga a la construcción de los mapas utilizados para ubicarnos espacialmente en un terreno. Un mapa permite desempeñarse con solvencia (por ejemplo, identificando hitos o trazando caminos) en un terreno específico (a partir de colores, líneas, letras, símbolos), pero no es idéntico respecto a su original (es bidimensional, tiene colores arbitrarios, a diferencia del terreno). Se trata entonces de una versión “estilizada” o “abstracta”. De la misma forma, un modelo es una versión estilizada o abstracta- fuertemente teórica-de un fenómeno natural, y constituye una guía potente para estudiarlo.

Phet: simulaciones interactivas de ciencias y matemáticas de la Universidad de Colorado (<https://phet.colorado.edu/es/>). Las simulaciones de Phet se diseñan a partir de la investigación educativa que involucra a los estudiantes en un ambiente intuitivo similar al de un juego, en donde aprenden explorando y descubriendo.

El modelo de interacción entre cargas eléctricas que vimos puede darnos información muy precisa todo el tiempo, porque el conjunto de ecuaciones a resolver es relativamente sencillo. Pero existen muchos modelos cuyas ecuaciones matemáticas son difíciles, complejas, con una enorme cantidad de datos, etc., y por ello no pueden resolverse con lápiz y papel.

Las **simulaciones computacionales** se utilizan en diversas áreas y temas de investigación y posibilitan el estudio de sistemas complejos que, dadas sus características, no es posible tratar de forma analítica exacta (recordemos los problemas abordados por Richardson en el bloque 2). Se puede definir una simulación computacional como una “representación del comportamiento dinámico de un sistema de acuerdo con un modelo aproximado (matemático) que se usa para implementarla en una computadora”. **Las simulaciones pueden caracterizarse, de forma muy general, como transformaciones de modelos matemáticos (conjuntos de ecuaciones) en algoritmos discretos (conjunto ordenado de operaciones que se pueden enumerar) que pueden implementarse en una computadora y que “imitan” el comportamiento de los sistemas.**

Las **simulaciones educativas** (como las proporcionadas por la plataforma Phet para el ejemplo de modelos atómicos) se pueden definir como ambientes interactivos en los cuales un modelo simula características de un sistema, dependiendo de las acciones realizadas por el usuario (estudiante). La diferencia fundamental entre las simulaciones utilizadas en ciencias y las empleadas en el ámbito educativo es que, mientras que con las primeras se pretende una mejor comprensión de los fenómenos y procesos complejos, en las simulaciones educativas lo que se busca es que los estudiantes comprendan el modelo subyacente a un fenómeno y, a partir de él, los principios teóricos que permiten entenderlo.

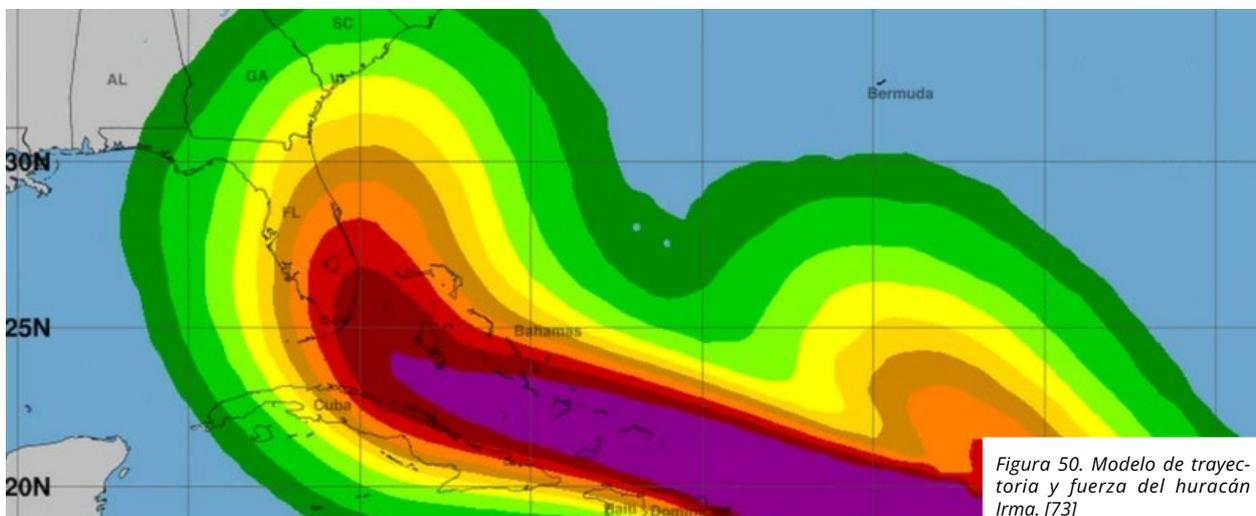


Figura 50. Modelo de trayectoria y fuerza del huracán Irma. [73]

Si volvemos al tema que venimos trabajando, de la misma manera que los modelos atómicos fueron evolucionando, también lo hicieron los modelos meteorológicos. Con el avance en conocimientos matemáticos y en tecnologías se fueron desarrollando modelos meteorológicos más precisos usando conceptos de la matemática y la física.

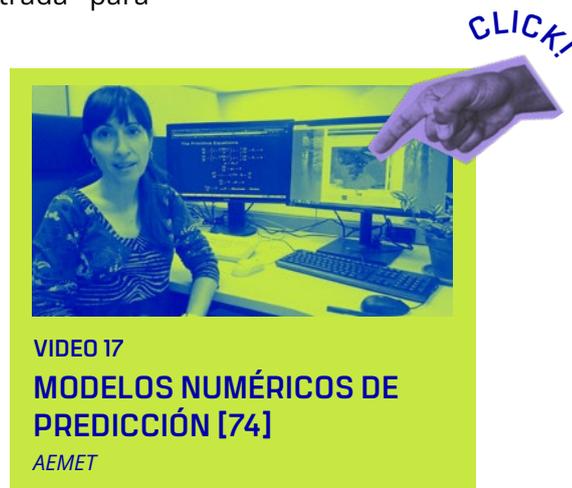
Al estudiar la atmósfera, la complejidad del problema y las múltiples interacciones existentes hacen que la única manera de evaluar estos cambios sea mediante el uso de modelos computacionales que intentan simular la física del fenómeno atmosférico. **Para el estudio de los fenómenos atmosféricos se utilizan modelos meteorológicos** (también

Los modelos meteorológicos, también llamados modelos numéricos de predicción meteorológica o modelos numéricos de predicción del tiempo, son modelos físico-matemáticos de la atmósfera que usan datos y mediciones meteorológicas para predecir la evolución del tiempo.

llamados *modelos numéricos de predicción meteorológica* o modelos numéricos de predicción del tiempo).

Para profundizar estas ideas les proponemos observar el video: modelos numéricos de predicción. En el video se plantea que la predicción del tiempo mediante modelos numéricos consiste en describir el estado de la atmósfera en diversos puntos en un momento dado, a partir de variables como la temperatura, el porcentaje de humedad, la presión atmosférica, la velocidad y la dirección del viento, entre otras. Los modelos físicos utilizados para la descripción de la atmósfera comprenden una matemática compleja asociada a ellos. Utilizan conjuntos de datos (obtenidos por diferentes medios, como sondeos, observaciones, información de los satélites meteorológicos y otros) como “valores de entrada” para predecir la evolución del tiempo. La **computación es indispensable para trabajar con estos modelos**, ya que el procesamiento de grandes conjuntos de datos exige el uso de potentes supercomputadoras.

No todos los modelos numéricos se diseñan de la misma forma, ni usan las mismas estrategias. Por ello, existe un gran número de modelos que han sido desarrollados por diversas agencias y organismos meteorológicos. Cada modelo implementa diversas metodologías para la elaboración de los pronósticos del tiempo.



3 En relación con lo abordado hasta el momento: ¿Por qué consideran que las computadoras son importantes para el estudio y elaboración de pronósticos del tiempo?

Lean los siguientes textos y miren el video:

4 ¿En qué aspectos resulta de una importancia la inversión realizada por Argentina al comprar la supercomputadora?

CLICK!



VIDEO 18
LA SUPERCOMPUTADORA CLEMENTINA XXI LLEGÓ AL SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL [76]
 SMN

CLICK!



LECTURA 8
EL MODELO EUROPEO VS EL ESTADOUNIDENSE: ¿CUÁL ES EL MEJOR PARA PREDECIR LA TRAYECTORIA DE UN HURACÁN COMO IRMA? [73]
 BBC Mundo

LECTURA 9
CÓMO ES LA NUEVA SUPERCOMPUTADORA QUE COMPRÓ LA ARGENTINA Y QUE DESDE MAYO ESTARÁ ENTRE LAS 100 MÁS POTENTES DEL MUNDO [75]
 La Nación

5 (para elaborar el inciso B, ver la tabla 2 como referencia)

- A. ¿Para qué se utilizan los modelos meteorológicos de predicción global?
- B. Elaborar un cuadro comparativo de ventajas y desventajas entre los modelos meteorológicos europeo y estadounidense.
- C. ¿De qué depende la precisión en la elaboración del pronóstico del tiempo? Ejemplifiquen.
- D. ¿En qué se diferencia un pronóstico realizado para el día siguiente de uno para 10 días?

	VENTAJAS	DESVENTAJAS
MODELO METEOROLÓGICO EUROPEO		
MODELO METEOROLÓGICO ESTADOUNIDENSE		

Tabla 2. Ejemplo para la realización de la consigna 5.b.

BLOQUE 4

EL PROCESO DE MODELIZACIÓN EN METEOROLOGÍA Y LOS PRONÓSTICOS DEL TIEMPO

En este bloque se analiza el proceso de modelización en meteorología: estado inicial de la atmósfera (a partir de datos brindados por satélites, radares, etc.), ecuaciones que representan este estado, modelización numérica y modelización computacional. Además, se discute cuál es la vinculación entre la pandemia y la elaboración de pronósticos del tiempo.

Finalmente, se trabaja sobre el registro de datos meteorológicos realizados al inicio del proyecto.



Figura 51. Celeste Saulo al ser nombrada como Secretaria General de la Organización Meteorológica Mundial. [77]

Saulo CG

After the experiment with the glass tube described above, it is fairly obvious that at any point in the peat

$$\frac{\text{velocity}}{\text{porosity}} = \text{total impressed force} = \text{bodily force} + \text{slope of pressure,}$$

that is, in the usual symbols of hydrodynamics,

$$\left. \begin{aligned} \frac{u}{K} &= X - \frac{\partial p}{\partial x} \\ \frac{v}{K} &= Y - \frac{\partial p}{\partial y} \\ \frac{w}{K} &= Z - \frac{\partial p}{\partial z} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Take the x -axis vertically downwards; then $X = O = Y$, and $Z = g\rho$, where ρ is the density of water, namely, 1.00 grams per c.c. The equations may now be written

$$\left. \begin{aligned} u &= \frac{\partial}{\partial x} K(g\rho z - p) \\ v &= \frac{\partial}{\partial y} K(g\rho z - p) \\ w &= \frac{\partial}{\partial z} K(g\rho z - p) \end{aligned} \right\}, \text{ or in vectors } \mathbf{v} = \nabla K(g\rho z - p). \quad (2)$$

Therefore $K(g\rho z - p)$ is the velocity-potential, and the motion is irrotational.

Put $\phi = K(g\rho z - p)$. (3)

We have also $\text{div } \mathbf{v} = 0$, which becomes

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0. \quad (4)$$

On account of the small porosity, the effects of acceleration are negligible; and the above is true for varying motion as well as

Over a water-tight bottom with normal having direction-cosines l_1, m_1, n_1 , we have

$$O = l_1 \frac{\partial \phi}{\partial x} + m_1 \frac{\partial \phi}{\partial y} + n_1 \frac{\partial \phi}{\partial z}. \quad (6)$$

If l_2, m_2, n_2 apply similarly to the upper surface, then the flow per unit area across it is

$$l_2 \frac{\partial \phi}{\partial x} + m_2 \frac{\partial \phi}{\partial y} + n_2 \frac{\partial \phi}{\partial z}.$$

Now a vertical pipe of unit cross-section abuts on $\frac{1}{n_2}$ units of sloping surface at the water-level. Therefore, if the surface is steady, the total flow in the said pipe is $\frac{1}{n_2}$ of the above, that is,

$$\frac{l_2 \partial \phi}{n_2 \partial x} + \frac{m_2 \partial \phi}{n_2 \partial y} + \frac{\partial \phi}{\partial z} = W.$$

Here W is the excess of rainfall over evaporation in volumes per area. If, on the other hand, the water-surface is moving, then we must take account of the capacity of the soil for moisture. Call it μ volumes of free water per unit volume of soil and water. Then, if $z = h$ be the equation for the free surface,

$$W - \mu \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{1}{n_2} \left(l_2 \frac{\partial \phi}{\partial x} + m_2 \frac{\partial \phi}{\partial y} + n_2 \frac{\partial \phi}{\partial z} \right). \quad (7)$$

However, in what follows, I will only treat the case $\frac{\partial h}{\partial t} = 0$.

As usual, before attempting to solve a set of differential equations in detail, it is well to make a linear transformation of the variables.

All over the outside and upper water-surface p is atmospheric; and therefore

$$\phi = K g \rho z - K \times (\text{atmospheric pressure}).$$

Since adding a constant to ϕ has no effect, we may take the atmospheric pressure as zero, and expose to the air

$$\phi = K g \rho z.$$

Figura 52. Ecuaciones diferenciales y situaciones límite de Richardson. [78]

UN ACERCAMIENTO A LA MODELIZACIÓN EN METEOROLOGÍA

La atmósfera es un sistema dinámico muy complejo, modelizado matemáticamente por unas ecuaciones diferenciales no lineales. El hecho de ser un sistema regido por *ecuaciones no lineales* introduce una dificultad en su

resolución: las ecuaciones no tienen soluciones exactas. Además, su complejidad se reduce en que algunos fenómenos atmosféricos no son bien conocidos y difícilmente sean completamente descritos mediante ecuaciones.

Al no poder resolver las ecuaciones que representan la evolución del tiempo, se debe optar por la opción de la modelización numérica. De

esta manera, la atmósfera se representa como un conjunto de puntos dispuestos en una "malla" y distribuidos tridimensionalmente (imagen en la siguiente página).

Una ecuación diferencial es lineal cuando sus soluciones pueden obtenerse a partir de combinaciones lineales de otras soluciones. Mientras que las ecuaciones diferenciales no lineales pueden exhibir un comportamiento muy complicado, característica del caos.

CLICK!

Algunas ecuaciones diferenciales pueden ser lineales o no lineales:

- Una **ecuación diferencial es lineal** cuando sus soluciones pueden obtenerse a partir de métodos de cálculo que combinen sus derivadas.
- Una **ecuación diferencial no lineal** tiene un comportamiento complejo (caótico) y no se puede resolver de forma exacta; por lo tanto, se utilizan aproximaciones.

VIDEO 19
ECUACIONES Y FORMAS DE RESOLUCIONES [79]
 María Eugenia Seoane

CLICK!

Los modelos numéricos de predicción del tiempo permiten modelizar el comportamiento físico de la atmósfera mediante ecuaciones matemáticas a partir de datos y de mediciones meteorológicas para predecir la evolución del tiempo, utilizando potentes computadoras para procesar grandes conjuntos de datos y poder así realizar cálculos en tiempo real. Hasta la llegada de la computación y de la simulación computacional no fue posible implementar modelos que realizaran cálculos en tiempo real, ya que el procesado de grandes conjuntos de datos y la realización de cálculos avanzados requiere del empleo de supercomputadoras.



VIDEO 20
MODELOS NUMÉRICOS DE PREDICCIÓN DEL TIEMPO [80]
Instituto Uruguayo de Meteorología

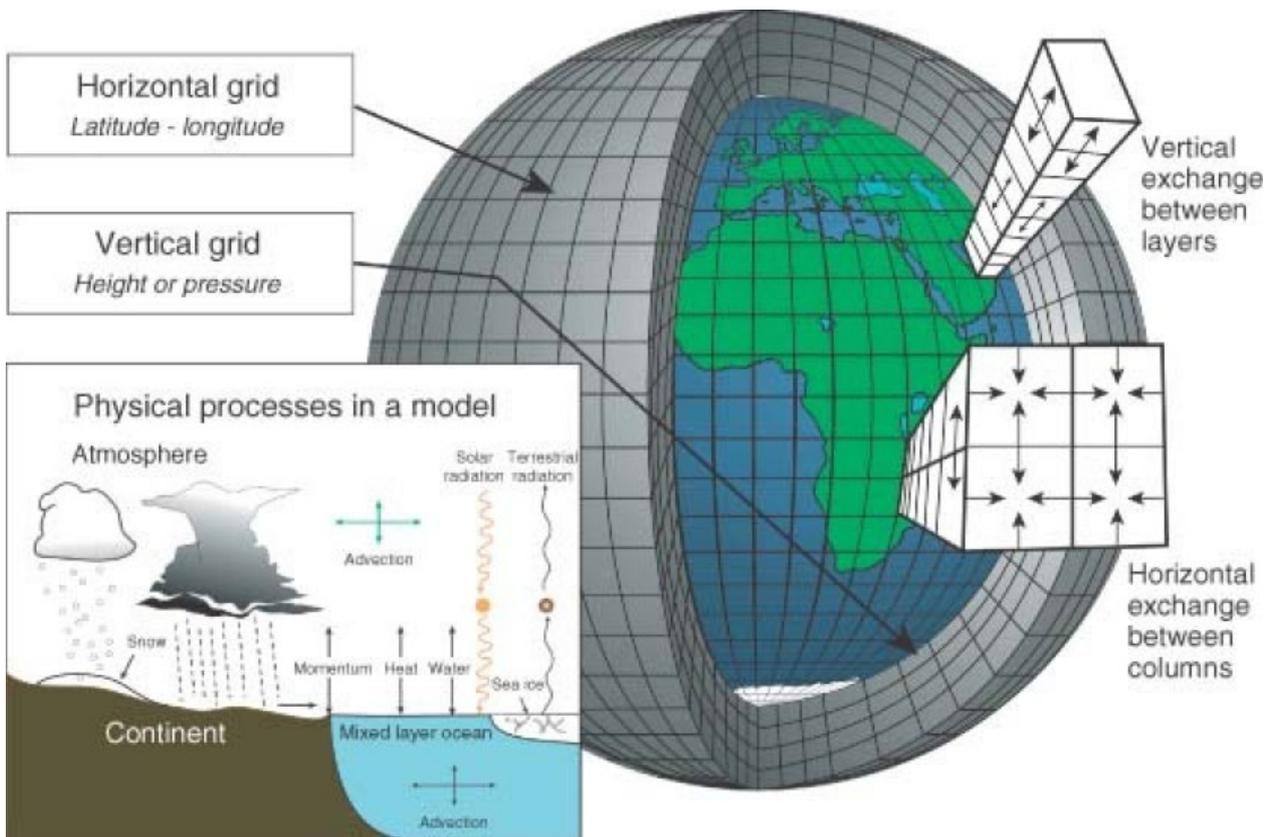


Figura 53. Modelo de circulación global. [81]

Para que un modelo meteorológico “funcione” es necesario conocer, al menos, el estado de la atmósfera en un instante inicial. A pesar de los medios que se disponen hoy en día (satélites, radares, datos de sondeos, etc.), el conocimiento del estado inicial de la atmósfera es limitado en el tiempo y en el espacio. Las observaciones son puntuales y no cubren toda la Tierra, atmósfera y océanos. Muchos datos están provistos de errores que deben ser tratados, eliminados, etc. Por estos motivos, el estado de partida del conocimiento de la atmósfera es incompleto, y, por lo tanto, imperfecto. Es necesario tener datos de calidad de las condiciones iniciales de partida para hacer funcionar al modelo. Es por ello que los y las científicas que investigan en meteorología concluyen que es necesario mejorar la cantidad y calidad de las observaciones de la atmósfera.

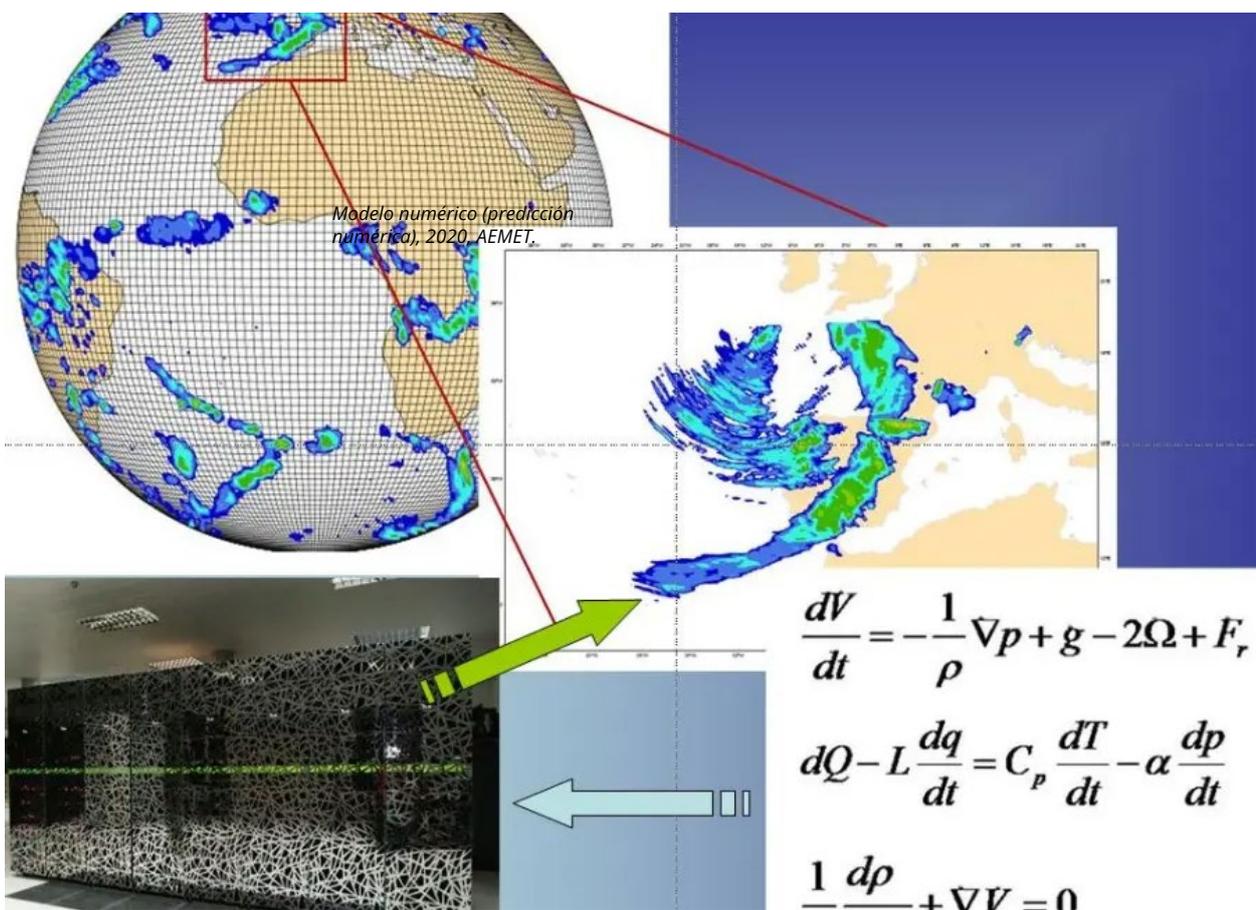


Figura 54. Modelo de predicción numérica del tiempo. [82]

ACTIVIDADES

Después de ver y analizar los videos y de debatir en clase con la docente y sus compañeros, les proponemos responder las siguientes preguntas:

1 ¿Cómo explicarían con sus palabras la función que tiene la modelización en el proceso de elaboración de pronósticos del tiempo? (Para responder a esta pregunta pueden realizar un diagrama y/o dibujo que contemple cómo sería ese proceso).

2 A. ¿Cuál es la función o el rol de las simulaciones computacionales en el proceso de elaboración del pronóstico del tiempo?

B. ¿Qué similitudes y diferencias (tabla 3) encuentran entre simulaciones computacionales utilizadas en meteorología, simulaciones utilizadas en la escuela (ejemplo los modelos atómicos desarrollados anteriormente) y animaciones utilizadas en los pronósticos del tiempo?

	SIMILITUDES	DIFERENCIAS
SIMULACIONES COMPUTACIONALES UTILIZADAS EN METEOROLOGÍA		
SIMULACIONES UTILIZADAS EN LA ESCUELA (MODELOS ATÓMICOS)		
ANIMACIONES (Click Aquí) <i>Lunes (11-3-24), esta animación muestra lluvias y tormentas en el centro y este de Argentina.</i>		

Tabla 3. Ejemplo de cuadro para realizar la consigna 2.b.



¿SABIAS QUÉ?

Tanto la dinámica de los procesos de contagio en la pandemia de COVID-19 como los FME son sistemas naturales reales, complejos y dinámicos, por lo que no resulta sencillo construir teorías que puedan explicar estos sistemas y realizar predicciones que se correspondan exactamente con los hechos. Para el estudio de esta clase de fenómenos, se construyen modelos matemáticos y simulaciones computacionales que permiten hacer estimaciones sobre cuántas personas probablemente se enfermaron y necesitaron cama de un hospital (pandemia) o el modo en que se desarrollará un evento meteorológico extremo (meteorología).

Para analizar este aspecto en mayor profundidad, lean el siguiente texto y luego resuelvan:

LECTURA 10 COVID-19: PANDEMIA DE MODELOS MATEMÁTICOS [83]

The Conversation



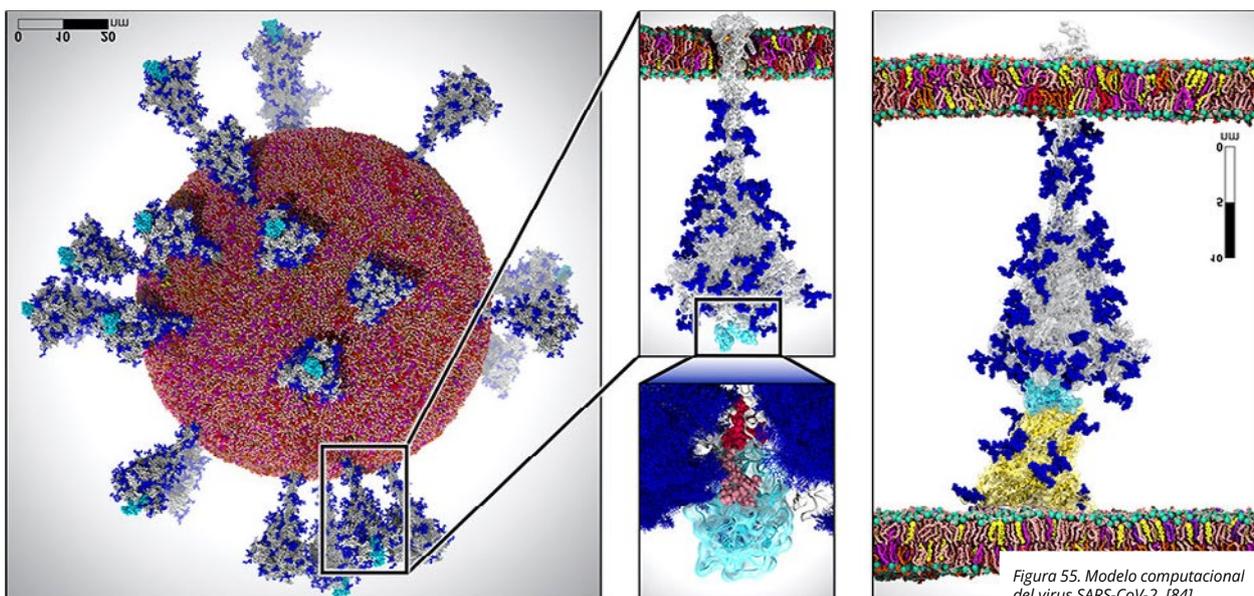
3 A. Describan el modelo matemático utilizado para estudiar la dinámica de los contagios durante la pandemia.

B. ¿Cuál es el rol que cumplen los datos en este modelo matemático?

C. ¿Por qué los autores hablan de incertidumbre sobre los parámetros? ¿Consideran que con mayor cantidad de datos la incertidumbre puede disminuir? ¿Por qué?

D. ¿Es posible que la incertidumbre de los pronósticos elaborados para el tiempo como aquellos realizados para estimar los contagios durante una pandemia se eliminen por completo? Es decir que, ¿se puede tener certeza?

E. ¿Existen aspectos en común entre el proceso de modelización en meteorología y la modelización utilizada para estudiar la dinámica de los contagios durante la pandemia? Justifiquen



Los problemas vinculados con riesgos globales como la pandemia o con algunos FME tienen características comunes:

Los hechos son inciertos “lo que no sabíamos o sabemos sobre el virus”, “en qué lugar específico tocará tierra un tornado”.

Hay valores en disputa: libertad individual versus el compromiso social; cuestiones políticas -a qué empresa comprar vacunas-; cuestiones éticas -pocos países acceden a vacunas o a tratamientos para toda su población. Lo que se pone en juego tiene un valor alto (la vida).

Las decisiones son urgentes: aislamientos, vacunación, evacuación frente a la ocurrencia de un tornado, etc.

En este tipo de contextos, la ciencia de laboratorio "tradicional" no es suficiente, lo que no significa que no funcione. Es fundamental elegir la estrategia científica de resolución de problemas adecuada para cada caso.

4 Al inicio del proyecto, les pedimos que registrarán datos sobre variables atmosféricas (presión atmosférica, temperatura, velocidad del viento, etc.) ¿Este registro tiene alguna relación con lo trabajado hasta el momento?

5 A. ¿De dónde provienen los datos atmosféricos utilizados para la elaboración de los pronósticos?

B. ¿Qué factores pueden influir en la “calidad” de los datos tomados para la elaboración del pronóstico del tiempo?

6 De acuerdo con los datos registrados por ustedes a partir de los sitios web y/o aplicaciones del pronóstico del tiempo:

A. ¿Cuáles son las variables que estuvieron registrando?

B. ¿Identifican algún día en particular en que los datos fueron marcadamente diferentes respecto del total de datos registrados?

C. ¿Se han repetido valores en cada una de las variables registradas? ¿Cuáles fueron esos valores y a qué variable corresponden?

D. ¿Qué ocurrió con el pronóstico del SMN para el día siguiente? ¿Se cumplió? De no ser así, ¿qué tipo de variaciones observaron?

E. ¿Cuál fue el valor promedio registrado de temperatura, humedad y presión atmosférica? (Les sugerimos hacer este análisis considerando los horarios que utilizaron para el registro de datos).

F. Realicen en Excel un diagrama de barras que indique y muestre lo desarrollado en el punto e).

Para la elaboración del pronóstico del tiempo hay que conocer en qué estado se encuentra la atmósfera. Esto implica observar, medir, registrar e informar el estado "real" de la atmósfera, y esto se obtiene a partir de los datos tomados por el observador meteorológico (función desarrollada por diversas personas en el Servicio Meteorológico Nacional). No importa el calor, el frío o el viento: todos los días, a cada hora, el observador se acerca al campo de observación, observa y registra lo que está sucediendo. Luego de tomar las mediciones, agrega la información a la libreta meteorológica, la codifica y transmite a los distintos centros regionales de procesamiento de datos.

Por tal motivo, el **trabajo del observador es la materia prima para la elaboración del pronóstico y de los alertas e informes especiales**, en las operaciones marítimas y de vuelo, en hidrología y meteorología agrícola y es el insumo para toda investigación científica en el estudio de la atmósfera.



Figura 56. Observadora Meteorológica en la Antártida Argentina. [85]

BLOQUE 5

FENÓMENOS METEOROLÓGICOS: SISTEMAS COMPLE- JOS, CAÓTICOS E INCIERTOS

En este bloque se aborda qué son los sistemas complejos y caóticos, se profundiza en los fenómenos meteorológicos como un ejemplo de este tipo de sistemas. Además, se pone en discusión y análisis el concepto de incertidumbre, la imprevisibilidad y el significado de “escenarios posibles”.



Figura 57. Edward Lorenz, padre de la teoría del caos. [86]

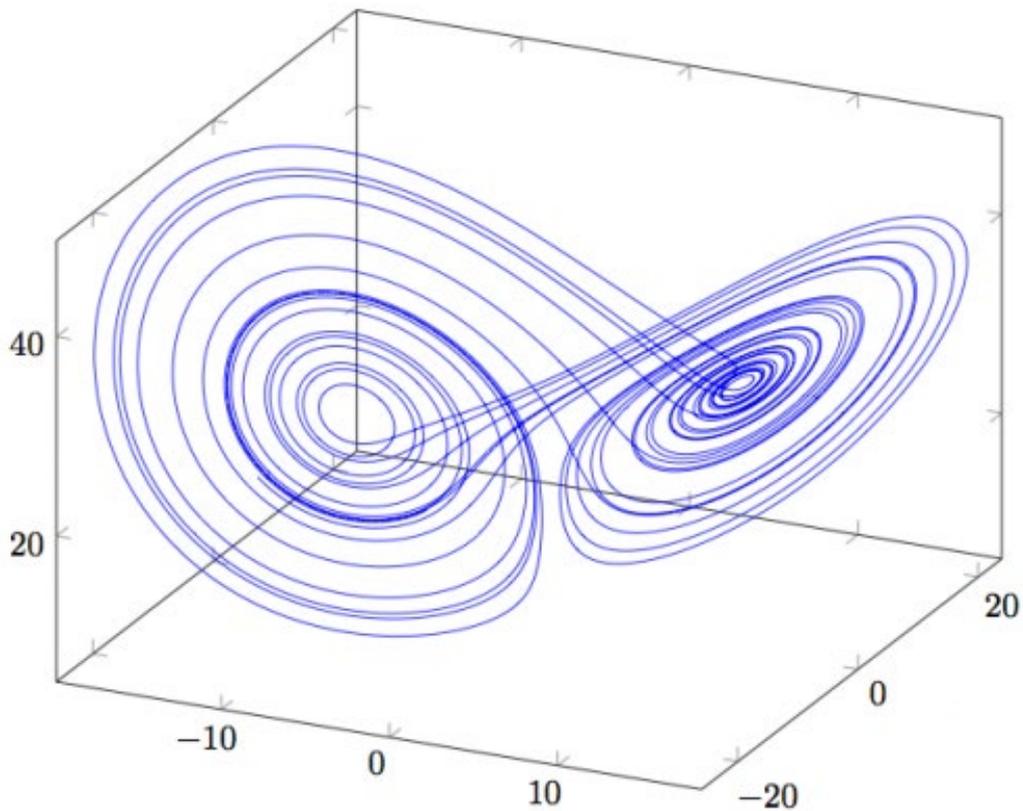


Figura 58. Solución de la ecuación de Lorenz. [87]

PARTE 1: "INTRODUCCIÓN AL CONCEPTO DE INCERTIDUMBRE"

- 1 ¿Qué entienden por "incertidumbre"?
Propongan tres ejemplos de la vida cotidiana y tres vinculados a la ciencia, que den cuenta de esta idea.
- 2 Desde su punto de vista, ¿existe relación entre el concepto de incertidumbre y los pronósticos del tiempo? ¿Por qué creen que es así?
- 3 ¿Identifican en los temas de física que estudiaron durante su escolaridad algún aspecto vinculado con la incertidumbre?
- 4 ¿Qué les parece que hacen los científicos cuando se enfrentan a problemas que involucran incertidumbre?

Para analizar estos aspectos en mayor profundidad, les proponemos leer textos y mirar los videos que aparecen a continuación. Luego revisen las respuestas iniciales en función de la información nueva. ¿Qué podrían reformular o agregar?

LECTURA 11

¿POR QUÉ FALLAN LOS METEORÓLOGOS? [88]

Diario El País

LECTURA 12

TORMENTAS SEVERAS, PRONÓSTICO E INCERTIDUMBRE [89]

Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera



5 ¿Cómo podemos interpretar la típica frase que se escucha en las conversaciones de la vida cotidiana: “¡Otra vez el pronóstico se equivocó !?”

6 Observen el pronóstico del tiempo para un día en particular: ¿Qué significa para vos que “la probabilidad de precipitación corresponda al 70-100%”?

7 ¿Existe certeza de que un pronóstico se cumpla? ¿Por qué?

8 Regresemos al punto de partida, vamos a retomar algunas cuestiones que se discutieron al inicio del proyecto cuando registraron datos meteorológicos:

¿Qué pronósticos fueron más certeros (en los casos que hubo correspondencia con lo que ocurrió en la realidad): los proporcionados por el SMN o por las aplicaciones? ¿Cuál te parece que es la razón?

Figura 59. Manabe respondiendo preguntas sobre su carrera investigadora en Princeton. [90]

VIDEO 21
EL EFECTO MARIPOSA Y LOS PRONÓSTICOS [91]
SMN

VIDEO 22
¿QUÉ SON LOS "SISTEMAS COMPLEJOS" Y POR QUÉ 3 CIENTÍFICOS GANARON EL NOBEL CON ESTE TEMA? [92]
Centro Interactivo de los Conocimientos

PARTE 2: "SISTEMAS COMPLEJOS, CAÓTICOS E INCIERTOS"

Intentaremos acercarnos a los conceptos de **sistemas complejos, caos e incertidumbre** y analizar por qué son importantes para este proyecto de fenómenos meteorológicos extremos.

Muchos términos que utilizamos en nuestra vida diaria tienen un significado particular en el campo científico: energía, trabajo, potencia o modelo son palabras que en ciencia adquieren una significación diferente a la del uso común y generalizado, complejo no significa solo complicado, caos no es solo "desorden", e incertidumbre es algo más que "duda" o "vacilación".

Para ayudarnos en la precisión del léxico, la ciencia recurre a la etimología de las palabras. Veamos algunos ejemplos:

Complejo deriva del latín *complexus* que significa "entretejido". Decimos que algo es entretejido si su composición es **difícil de separar**.

¿Cuándo un fenómeno es difícil de separar? Cuando las **relaciones entre sus componentes** son el aspecto **relevante** para poder comprenderlo; es decir, **cuando esas relaciones determinan**, aunque sea parcialmente, el **futuro de los componentes**.

De esta manera, **no puede predecirse completamente el futuro de un sistema complejo si se consideran sus componentes de forma aislada; hay que tener en cuenta las relaciones entre ellos**. Por esa razón, el sistema es capaz de adaptarse al entorno, lo que implica un comportamiento colectivo difícil (pero no imposible) de predecir.

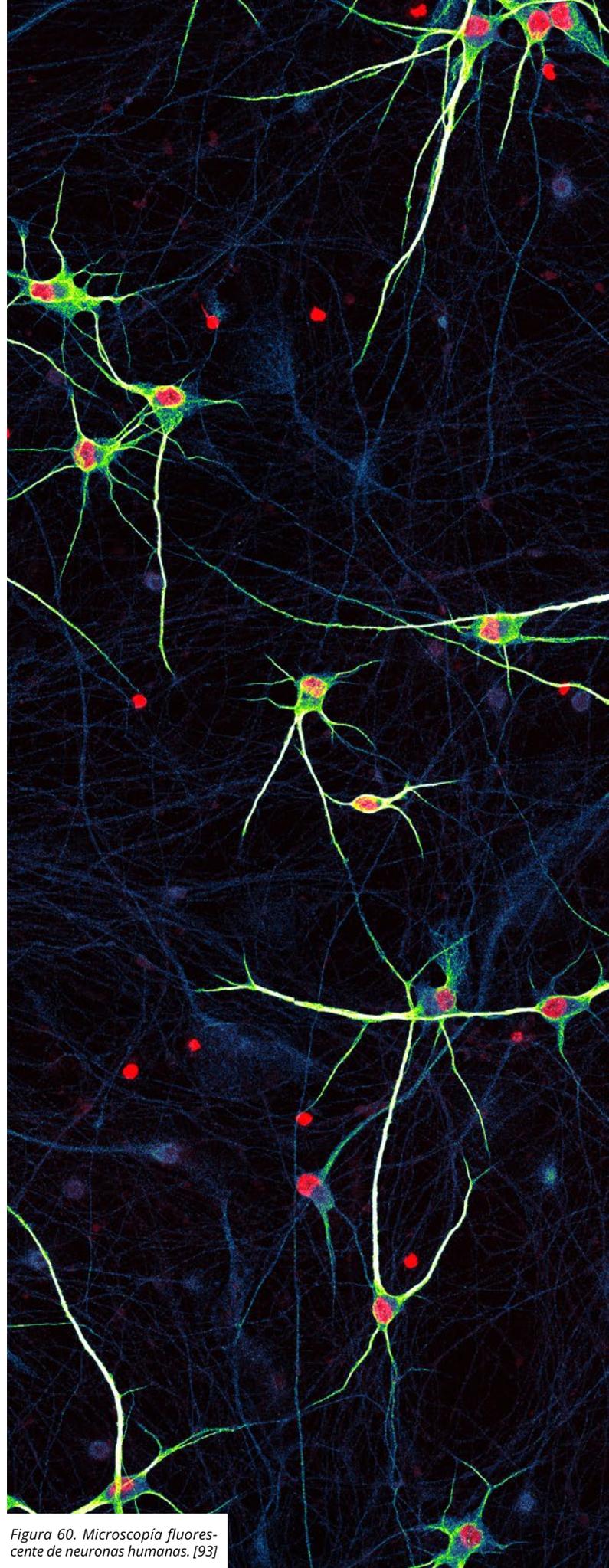


Figura 60. Microscopía fluorescente de neuronas humanas. [93]

Pensemos las ideas de sistema complejo en un juego de ajedrez. El sistema está formado por dos jugadores que realizan una serie de jugadas que dependerán a su vez de las jugadas del otro. Es decir, las jugadas de ambos jugadores, la evolución de la partida, están sujetas a esa relación entre componentes. Por ello, no es posible predecir el estado futuro de una partida si no se va analizando jugada por jugada a lo largo del desarrollo o evolución del juego.

Más aún: **las interacciones en los sistemas complejos generan información nueva que no se encuentra inicialmente presente, lo que dificulta la realización de predicciones.** Por esa razón, cuando uno de los jugadores de la partida de ajedrez realiza un movimiento que no es previsible, está incorporando nueva información al juego. Estos límites a la previsibilidad son inherentes a los sistemas complejos, las interacciones generan información en el mismo momento en que se producen y no antes. Dicho de otra manera, no podemos predecir a priori (del latín "previo a") cuál va a ser el futuro de un sistema complejo.

COMPLEJO NO ES SINÓNIMO DE COMPLICADO. AVIÓN VS. CEREBRO.

Hay que recordar que un **sistema complicado** puede tener un **gran número de componentes cuyas relaciones son de causa-efecto** y que son bien entendidas y pueden ser predichas con precisión. Como señalamos más arriba, en un **sistema complejo** las interacciones entre los elementos dan lugar a **fenómenos emergentes que no se pueden derivar solo del estudio del comportamiento de cada parte por separado.**

Un avión es una máquina muy complicada y una maravilla de la tecnología. Tiene muchísimos componentes diferentes, pero sabemos que la suma de la acción de todos ellos puede dar cuenta del vuelo del avión.

El comportamiento del cerebro es complejo (neuronas con funcionamiento específico, que, al interactuar, dan como resultado un comportamiento que es mucho más que la suma de las contribuciones individuales).

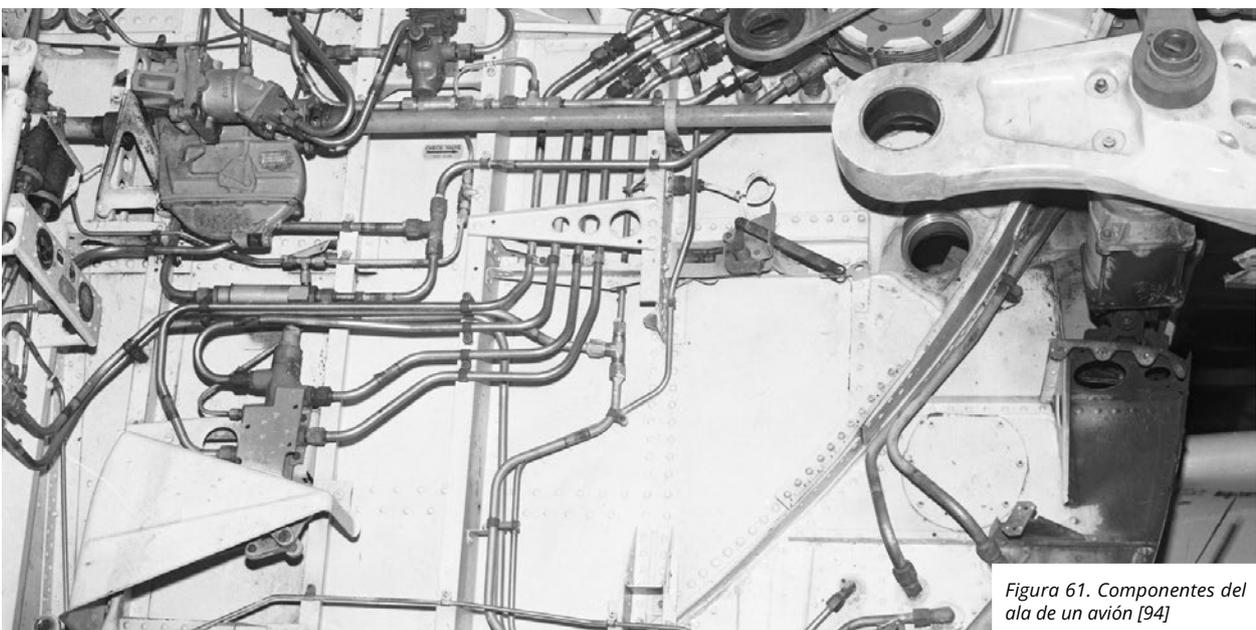


Figura 61. Componentes del ala de un avión [94]

Una buena parte de los fenómenos que nos interesan como sociedad se producen en sistemas complejos, para los cuales se han desarrollado -desde hace relativamente poco tiempo- formas específicas de estudio. Entre ellas, hay una muy potente que es analizar esos fenómenos desde una perspectiva interdisciplinar.

Un ejemplo típico de sistema complejo es la Tierra. La Tierra puede ser entendida como formada por varios sistemas, entre ellos: campo gravitatorio, campo magnético, geodinámica, atmósfera o seres humanos. Cada uno de estos sistemas han sido estudiados en mayor o menor medida, pero desconocemos muchos aspectos de la forma en que interactúan y hacen evolucionar el sistema "Tierra". Existe mucha más información oculta en esas interrelaciones de sistemas.

Otro sistema complejo típico es el tiempo atmosférico. Como ya hemos mencionado, el tiempo atmosférico o meteorológico es el estado de la atmósfera en un momento y lugar determinado, definido por diversas variables meteorológicas como la temperatura, la presión, el viento, la radiación solar, la humedad, la precipitación, etc. La mayoría de los fenómenos del tiempo ocurren en la tropósfera, la capa inferior de la atmósfera que está en contacto con la superficie terrestre.

Pero el **tiempo atmosférico no solo es un sistema complejo. También es un sistema caótico.**

Intentemos ahora acercarnos al concepto de caos. El **caos** y los **sistemas caóticos no implican necesariamente desorden** en el sentido literal y popular de la palabra; son **sistemas altamente impredecibles**, porque son muy sensibles a las condiciones iniciales. Hay sistemas caóticos que se manifiestan en muchos ámbitos de la vida y de la naturaleza, pero no se puede decir que tengan comportamientos sin ley, dado que existen reglas que determinan su comportamiento, aunque estas sean difíciles de conocer en muchas ocasiones.

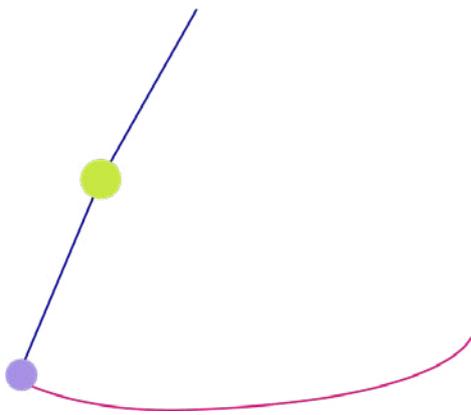
Existe caos en un sistema cuando dos sucesos que empiezan en condiciones iniciales muy próximas evolucionan de manera muy diferente. Esto tiene una consecuencia muy importante: en el régimen caótico es imposible realizar predicciones a largo plazo, ya que nunca se van a poder conocer las condiciones iniciales del sistema con infinita *precisión*. ¿Puede el aleteo de una mariposa en Brasil desencadenar un tornado en Texas?

Una forma de referirse al fenómeno anterior, que se ha hecho muy popular, es el término efecto mariposa, que proviene del título de la conferencia pronunciada por Edward N. Lorenz en 1972 en la 139ª Reunión de la Sociedad Americana para el Avance de la Ciencia: "¿Puede el aleteo de una mariposa en Brasil desencadenar un tornado en Texas?", en el que se quería enfatizar, con una imagen impactante, la dependencia extrema a las condiciones iniciales.

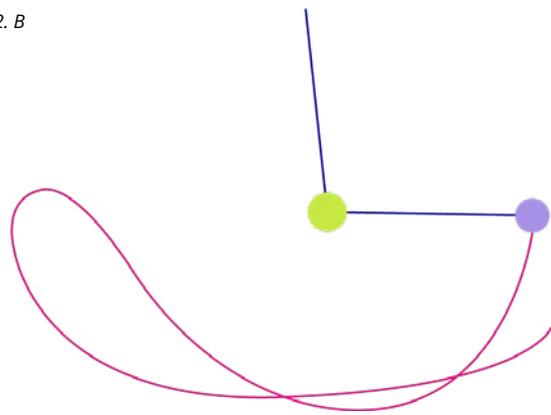
Tomemos uno de los sistemas caóticos más simples que existen: el péndulo doble.

Está compuesto por dos péndulos; el movimiento de cada péndulo se conoce perfectamente; pero cuando se los junta (como aparece en la figura), una vez que se pone en movimiento, el sistema compuesto empieza a tener una trayectoria totalmente irregular y caótica. Además, si al péndulo se le da una posición inicial ligeramente diferente, se obtiene una trayectoria completamente distinta pasado un cierto tiempo.

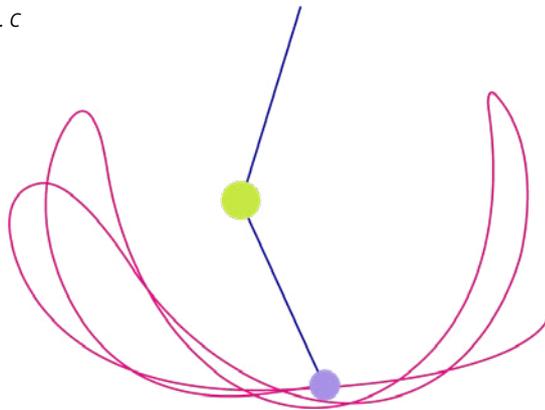
62. A



62. B



62. C



62. D

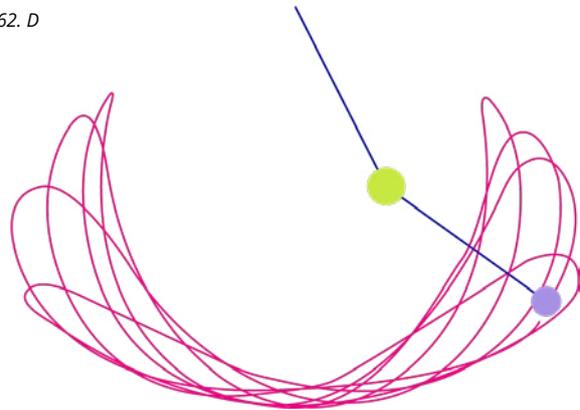


Figura 62. Reproducción de simulación de trayectoria irregular y caótica de un péndulo doble. [95]

Como se dijo anteriormente, el tiempo meteorológico es complejo y caótico, y, por lo tanto, difícil de predecir: no conocemos la enorme cantidad de interacciones entre sus componentes (complejo); y es extremadamente sensible a las condiciones iniciales (caótico). El tiempo meteorológico es difícilmente predecible por partida doble.

LA IMPREDECIBILIDAD EN EL PRONÓSTICO DEL TIEMPO

Vamos a comenzar con una anécdota. A principios de junio de 1944, los meteorólogos nazis predijeron que el clima frente a la costa francesa presentaría vientos huracanados y mares agitados de manera persistente, frustrando una invasión de los aliados a la "Fortaleza Europa" de Hitler. Pero los Aliados, que buscaban penetrar en el Gran Reich Alemán, tenían una predicción mejor. Pronosticaron una ventana estrecha de condiciones tranquilas para el 6 de junio, utilizando mapas dibujados a mano y escasas observaciones del clima tormentoso en la región. Y así fue que sucedió. El general Eisenhower ordenó la invasión del "Día D" el 6 de junio para eliminar la "tiranía nazi sobre los pueblos oprimidos de Europa". Los aliados rompieron el régimen de Hitler, en gran parte gracias a una de las predicciones meteorológicas más trascendentales de la historia.

Esta temprana predicción meteorológica, aunque impresionante, era primitiva. En las últimas décadas, las observaciones enormemente mejoradas del aire y los océanos, que alimentan las simulaciones informáticas modernas sobre el comportamiento de la atmósfera, han revolucionado la predicción meteorológica.

Sin embargo, hay un límite en cuanto a qué tan lejos en el futuro la humanidad puede predecir el tiempo del día a día. Por ejemplo: el miércoles de la próxima semana, dentro de un mes, cuando cumpla años, ¿azotará una tormenta mi ciudad? Cuando Argentina juegue un partido decisivo, ¿será un día soleado como para organizar un asado? El límite absoluto de este tipo de predicción meteorológica es de dos a tres semanas. **Aun con el imparable desarrollo de la tecnología, con computadoras cada vez más rápidas, mejores y más "inteligentes", no puede ir más allá de este límite.**



Figura 63. Tropas británicas, del regimiento 48 de infantería, en la playa Juno, el día del operativo en 1944. [1961]

ATENCIÓN:

Las predicciones de patrones climáticos grandes y amplios (en el tiempo y en el espacio), como olas de calor, no están acotadas por este límite de tiempo. Tampoco lo están las predicciones climáticas a largo plazo, para pronosticar qué tan rápido aumentarán los gases de efecto invernadero y cuánto calentarán el planeta. Estos modelos climáticos han demostrado ser notablemente precisos: han predicho décadas de calentamiento para el futuro.

Sin embargo, ¿por qué debería haber un límite estricto para predecir el clima de un día en particular? En nuestro universo, el caos es una propiedad poderosa de cualquier sistema que evoluciona con el tiempo. Como vimos, un sistema es caótico cuando pequeñas variaciones en las condiciones iniciales generan que un sistema evolucione tomando valores muy distintos. Imaginemos ahora que tenemos una simulación del tiempo, un programa en la computadora más potente. Si se comete un pequeño error (pulsar la tecla equivocada) o poner un valor impreciso de la temperatura, la predicción que obtenga puede ser completamente diferente a lo que en realidad ocurra.

Hay sistemas mucho más caóticos que otros. La atmósfera de la Tierra, con sus corrientes de aire ascendente, descendente, arremolinado, es uno de ellos. El caos prospera allí porque la atmósfera nunca puede conocerse completamente. Es más: incluso el más leve, pequeño e indetectable torbellino o perturbación en el aire puede alterar drásticamente el futuro atmosférico.

Como ejemplifican los científicos que estudian los fenómenos meteorológicos, remolinos en el viento del tamaño de la uña del pulgar pueden

tener un efecto a futuro. Incluso esa pequeña incertidumbre (porque no podemos saber que ese remolino está allí y, por lo tanto, no lo tendremos en nuestra simulación computacional), puede hacer que el resultado del pronóstico y lo que suceda en dos días o en tres semanas sean completamente diferentes.

La capacidad actual de los científicos para predecir de manera más eficiente los eventos meteorológicos diarios (que se extienden, como máximo, a una semana) ciertamente puede mejorar. Es una ciencia fascinante.

Para demostrar este curioso límite, en 2018, Falko Judt, investigador del NCAR (National Center for Atmospheric Research) empleó miles de procesadores en la supercomputadora Cheyenne en Wyoming para crear simulaciones de última generación de la compleja atmósfera en evolución de la Tierra. Realizó dos simulaciones computacionales de 20 días: una de observaciones reales tomadas de un día de octubre y la otra de una creación artificial de ese mismo día modificada con una alteración "pequeña, diminuta" en el clima. En las simulaciones, eventos de pequeña escala, como tormentas eléctricas, se



Figura 64. Falko Judt. [97]



Figura 65. Supercomputadora Cheyenne. [98]

materializaron en diferentes lugares en cuestión de horas. Después de seis días, grandes patrones climáticos de unos 100 a 1,000 kilómetros de ancho (como sistemas de alta y baja presión) aparecieron en diferentes lugares. En poco más de dos semanas, las dos atmósferas no se parecían en nada. En la supercomputadora, el caos asomaba la cabeza y luego se propagaba.

No importa qué tan rápido o qué tanto se perfeccionen las computadoras, nunca podrán dar cuenta de todos los detalles del mundo real. El caos estallará con la más mínima falta de coincidencia o error de redondeo.

CÓMO GANARLE AL CAOS

Para hacer una predicción del clima, en la actualidad, los meteorólogos conectan millones de observaciones de la temperatura de la atmósfera, la presión del aire, el viento y otros parámetros en simulaciones por computadora. En los EE. UU., por ejemplo, más de 210 millones de observaciones meteorológicas de estaciones meteorológicas, radares, satélites, globos meteorológicos, boyas, barcos y otros lugares se canalizan en modelos informáticos cada día. Como ya vimos, si introducimos esos datos en una sola simulación es posible que sea muy diferentes el pronóstico (la predicción) y lo que realmente sucede porque, aunque el número de datos es impresionante, ¡Nunca podrán estar todos!

La forma que han encontrado los científicos para poder sortear este problema es ejecutar muchas simulaciones (quizás docenas) a la vez, alterando en cada caso ligeramente las condiciones climáticas desconocidas o las lagunas en las observaciones durante cada ejecución. **El pronóstico final es un rango de futuros escenarios posibles**, pero surge un patrón donde las simulaciones concuerdan ampliamente. Este rango es la predicción.

Pronosticar en el futuro cercano, quizás otros dos o tres días más de lo que se logra hoy, o incluso más allá, requerirá observaciones muy mejoradas de la atmósfera y una computación con mayor poder de cálculo. Acercarse al límite de dos semanas, si bien podría ser teóricamente posible, en la realidad está fuera de discusión. Esa es una hazaña que requiere un billón de veces más de poder de cómputo y observaciones de cada milímetro de la atmósfera.

LA INCERTIDUMBRE Y NUESTRO DÍA A DÍA

En síntesis, **debemos convivir con la incertidumbre**. Esta es una característica de muchos fenómenos. El pronóstico del tiempo, tal como hoy en día se desarrolla, es el planteamiento de varios escenarios posibles que convergen en una estimación fundamentada en el conocimiento científico que brinda la meteorología auxiliada por diversas disciplinas (física, química, matemática, computación). La meteorología no puede brindar certeza; es decir, ningún pronóstico puede asegurarnos que lloverá, que granizará o que se formará un tornado en determinado lugar. Sin embargo, no es lo mismo que el pronóstico indique que la probabilidad de lluvia sea del 10% o del 70%. Ni 10 % significa que lloverá “poco” ni 70% que lloverá “mucho”. Puede ocurrir que, por ejemplo, en una ciudad que se encuentra dentro

del área para la cual se pronosticó un 70% de probabilidad de lluvia, llueva en un barrio y en otro no; en un barrio precipite gran cantidad de agua y en otros poca. La interpretación que debemos hacer es que el pronóstico fue adecuado, porque nos indicó que era altamente probable que lloviese en alguna parte de esa área. Y eso ocurrió.

La práctica diaria de quienes utilizan simulaciones computacionales en el pronóstico del tiempo está llena de incertidumbres de diverso origen.

Las principales fuentes de incertidumbre, sin entrar en cuestiones demasiado técnicas, son: el **modelo conceptual** (lo que se sabe del comportamiento físico de la atmósfera, incluyendo las interacciones de sus múltiples componentes) el **modelo matemático** (las relaciones matemáticas, las ecuaciones, que los científicos plantean entre las variables que caracterizan lo que se conoce hasta el momento del comportamiento de la atmósfera y permiten realizar cálculos); los **datos de entrada** (las condiciones iniciales en determinado momento y lugar) que se proporcionan al modelo; los **aspectos técnicos de la implementación computacional del modelo** (capacidad de cálculo, rapidez de la computadora, redondeos, etc.); los **datos que arroja la simulación y la interpretación que se realiza de los mismos**.

LA INCERTIDUMBRE NOS ACECHA

Como ya indicamos, todas las áreas científicas y tecnológicas usan simulaciones, desde las ciencias naturales a las ciencias sociales; desde el estudio de la mejor trayectoria para enviar una nave a Marte hasta el estudio de la viabilidad de producir un determinado compuesto químico; desde analizar y mejorar el desempeño o rendimiento de los deportistas hasta el análisis del comportamiento del mercado de valores. La iden-

tificación de la incertidumbre en una simulación es fundamental para tratar de reducirla, de gestionarla, pero nunca para erradicarla. La **“gestión de la incertidumbre”** es un aspecto interesante para analizar.

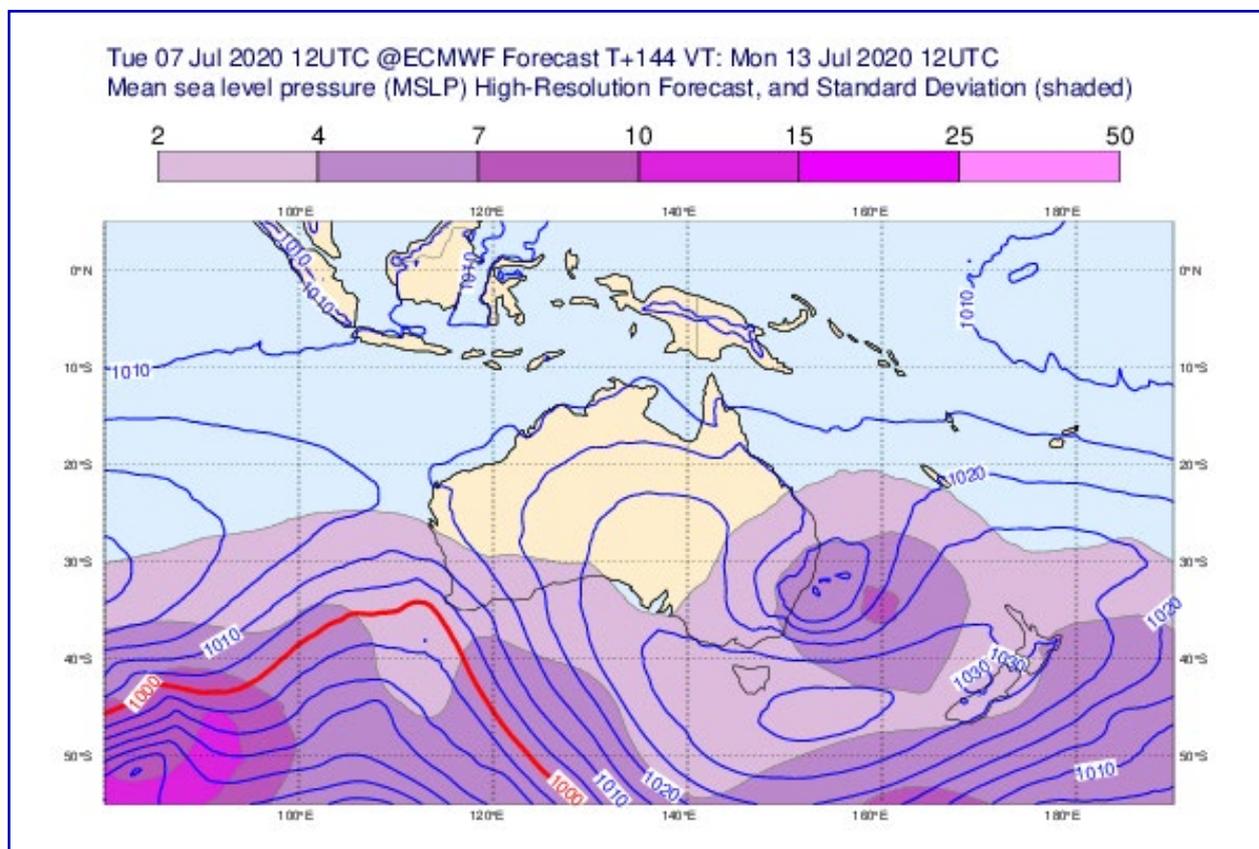
Estamos atravesando una época en la cual existen diversos problemas que amenazan incluso la supervivencia de la humanidad (inequidad entre los pueblos, nuevas epidemias/pandemias, guerras, cambio climático, riesgo ambiental, aumento en la frecuencia y en la intensidad de los fenómenos climáticos extremos, etc.) con impactos de larga duración. En este contexto, los nuevos problemas de la humanidad tienen rasgos comunes que los distinguen de los problemas científicos tradicionales: son altamente complejos; para ellos no tenemos modelos robustos que capturen sus principales aspectos al mismo tiempo, y resulta difícil realizar predicciones con el grado de precisión deseable. Sin embargo, la ciencia recurre

cada vez más a la construcción de simulaciones computacionales para abordarlos.

Los sistemas naturales reales son complejos y dinámicos. Esto hace necesario adoptar un modelo de ciencia cuya base es la impredecibilidad, el control incompleto y una pluralidad de perspectivas legítimas.

Algunos autores han denominado a este tipo de ciencia como **ciencia posnormal** una modalidad de ciencia en la que hay valores en disputa, altos riesgos y decisiones urgentes. Una etapa de la ciencia donde se cuestiona la metodología clásica para producir conocimiento, la naturaleza del propio producto de la actividad científica y el uso social que se da a ese conocimiento.

Figura 66. Niveles de incertidumbre entre meteorólogos acerca de un pronóstico. [99]



TAREA

Al finalizar este bloque se dividirán en 3 grupos, los mismos que formaron para el BLOQUE 2 de este proyecto:

Cada grupo debe observar una parte del video "Sistemas complejos, caos e incertidumbre"

CÓMO VAN A REALIZAR ESTA TAREA

1 El video "Sistemas complejos, caos e incertidumbre" se divide en tres partes:

GRUPO 1: "Sistemas complejos"

GRUPO 2: "Caos"

GRUPO 3: "Incertidumbre"

2 Cada grupo debe elaborar una presentación (PowerPoint, Prezi o Genially) que contemple y dé respuestas a las siguientes consignas:

- A. ¿Qué aspectos son abordados en el video?
- B. ¿Qué relación existe entre lo que plantea el video y lo abordado en el proyecto hasta el momento?
- C. Mencionen un ejemplo diferente al propuesto por el video y explicar por qué lo eligieron.
- D. ¿Por qué el pronóstico del tiempo brinda "escenarios posibles" y no una predicción exacta?
- E. ¿Es posible que, con más investigación científica y cuando la tecnología avance lo suficiente, se lleguen a elaborar pronósticos precisos, sin incertidumbre?

3 La presentación se debe compartir en clase y el tiempo máximo es de 15 minutos. Se espera que cada uno de los integrantes del grupo participe de la explicación oral y responda las preguntas del docente y sus compañeros/as.



BLOQUE 6

NOWCASTING: LA IMPORTANCIA DE LA ACTUALIZACIÓN DE INFORMACIÓN METEOROLÓGICA PARA LA PREVENCIÓN DE LA SOCIEDAD

En este bloque se presenta el concepto probabilístico que es inherente al pronóstico del tiempo. Además, se analiza el significado de nowcasting, la función de los radares, los satélites meteorológicos y los sistemas de alertas emitidos por el Servicio Meteorológico Nacional de Argentina.



Figura 67. Meteoróloga argentina Noemí Troche en la Base Marambio en la Antártida. [101]



Figura 68. Viñedos arrazados por granizo en la Provincia de Mendoza, Argentina. [102]

¿POR QUÉ ES IMPORTANTE LA INFORMACIÓN METEOROLÓGICA PARA LA SOCIEDAD?

A lo largo de este proyecto abordaron distintos aspectos relacionados con los fenómenos meteorológicos extremos que intentaron dar respuesta a las siguientes preguntas: ¿qué son?, ¿cómo se estudian?, ¿qué disciplinas se encargan de estudiarlos?, ¿cuál es la forma de trabajo que realizan los y las científicas para investigar sobre estos fenómenos?, ¿qué son los modelos meteorológicos?, ¿por qué esta clase de fenómenos son complejos? o ¿cuál es la incertidumbre asociada a ellos?, entre otras.

La información meteorológica es relevante para la sociedad, tanto sea para determinar qué ropa utilizar un determinado día, decidir la realización de un viaje, salir o no de casa frente a la ocurrencia de FME, entre otras posibilidades. Pero la ciudadanía, ¿confía en los datos proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional?

Realicen las siguientes lecturas, miren los videos respondan las preguntas que están a continuación:

LECTURA 13

"ARGENTINA ES EL ÚNICO LUGAR DEL MUNDO DONDE LA GENTE SE QUEJA CUANDO NO SE CUMPLE EL PRONÓSTICO" [102]

Página 12

LECTURA 14

¿QUÉ ES EL NOWCASTING? TU ALIADO CONTRA EL TIEMPO SEVERO [103]

Meteored

LECTURA 15

LA PREDICCIÓN DEL TIEMPO EN EL FUTURO: ¿LLOVERÁ DENTRO DE 10 MINUTOS JUSTO ENCIMA DE MI CASA? [104]

Diario El País





VIDEO 24
CON VOS EN EL TIEMPO [106]

SMN



VIDEO [25]
EL SMN Y LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO [107]

SMN

- 1**
 - A. ¿Quién es la Doctora Carolina Vera? ¿Qué investigaciones realiza?
 - B. ¿Por qué la Dra. Vera menciona que el estudio de la atmósfera es complejo? ¿Qué relación tiene esta afirmación con los pronósticos y los temas abordados?
- 2**
 - A. ¿Por qué el autor de la nota periodística titula el artículo como “Argentina es el único lugar del mundo donde la gente se queja cuando no se cumple el pronóstico”?
 - B. ¿Cómo le explicarían a una persona la importancia de entender la probabilidad de un pronóstico? Ejemplifiquen

- 3**
 - A. ¿Cómo definirían de un modo no científico el “nowcasting” ?
 - B. ¿Qué función cumplen los radares y satélites meteorológicos en el nowcasting?
 - C. ¿Qué relación se puede establecer entre “nowcasting” y “big data”?

- 4**
 - A partir de la experiencia del proyecto
 - A. ¿Consideran que la herramienta Sistema de Alerta Temprana (desarrollada en el BLOQUE 1) se utiliza en toda su potencialidad?
 - B. Analicen posibles acciones se podrían plantear como ciudadanos para aprovechar al máximo este tipo de recursos.
 - C. ¿Saben cómo es el circuito de gestión de la información que se utiliza para determinar la suspensión de clases debido a una alerta meteorológica? Si no lo conocen, averigüen cómo es el proceso.
 - D. ¿Podrían involucrarse en este circuito? ¿De qué manera?

- 5**
 - A partir de lo trabajado en este proyecto, ¿cambiarían la/las aplicaciones del celular que habitualmente consultan para el pronóstico del tiempo? ¿Por qué?

NOWCASTING: UNA HERRAMIENTA PODEROSA PARA LA PREVENCIÓN

Para disminuir el riesgo de inexactitudes, los pronosticadores se basan en una forma de pronóstico llamada "nowcasting" (pronóstico inmediato), donde un meteorólogo vigila las condiciones actuales, las predicciones y tendencias futuras a corto plazo. El nowcasting ayuda a identificar con mucha más precisión los detalles específicos de un evento meteorológico extremo, explicando dónde las tormentas eléctricas son más severas y dónde el radar Doppler muestra una posible rotación que indica actividad de tornados. Nowcasting se ha convertido en la primera línea en la batalla contra el tiempo extremo.

La primera función del nowcasting es recopilar datos y producir un pronóstico con una visualización geográfica más precisa, incluida la información proporcionada por: radar, satélite, sondeos meteorológicos y datos de superficie. El nowcasting es una herramienta poderosa para advertir al público sobre condiciones meteorológicas extremas y de alto impacto, incluidos ciclones tropicales, tormentas eléctricas, tornados, inundaciones repentinas, rayos y vientos destructivos. De esta manera se reducen las muertes, los daños y las pérdidas económicas.

Además del uso público, el nowcasting se utiliza para otros fines. Por ejemplo: las aerolíneas y los aeropuertos confían en él para ayudar en la toma de decisiones sobre qué terminal o pista es mejor para realizar el despegue y/o aterrizaje. Es necesario tener conocimiento de estos eventos meteorológicos extremos porque durante la ocurrencia de los mismos, es más probable que haya turbulencia durante el vuelo y existan peligros potenciales que afectan su normal funcionamiento.

El nowcasting no es una técnica nueva en el pronóstico, dado que se ha utilizado a lo largo del siglo XX. Pero los nuevos desarrollos tecnológicos de hoy en día lo convierten en una herramienta y un recurso valioso para los meteorólogos y para el público en general, lo que permite un tipo completamente nuevo de pronóstico del tiempo. Internet, las redes sociales, los celulares y los videos han ayudado a distribuir datos e información con más libertad y rapidez que nunca.

El mayor de estos instrumentos podría ser el celular. Las conexiones inalámbricas, el aumento de la capacidad de datos y la potencia del teléfono han creado una computadora personal que se sostiene en la palma de la mano, con cámaras de gran calidad y la posibilidad de compartir información al

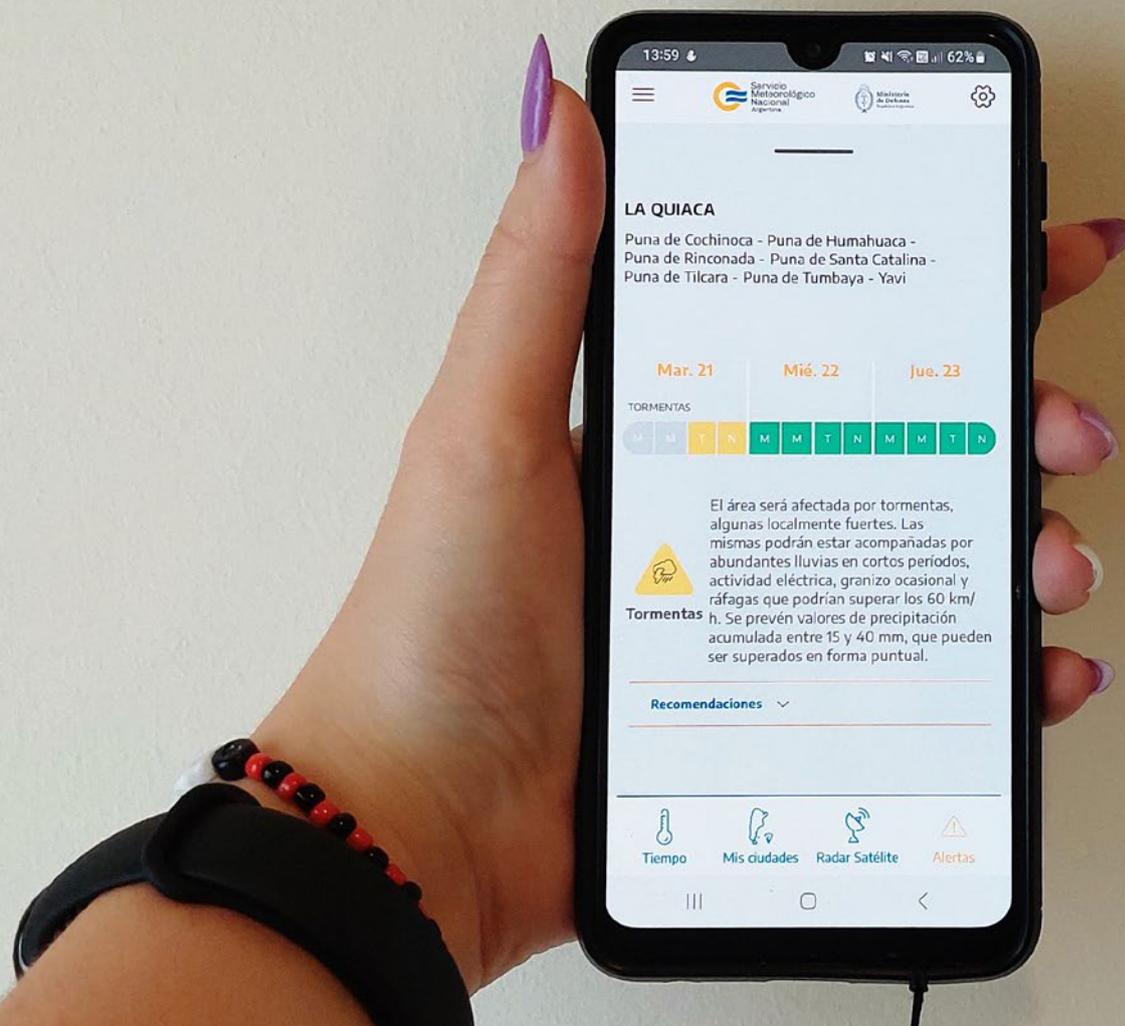
instante. La tecnología GPS también permite que aplicaciones específicas en el teléfono le den al usuario su ubicación exacta. Cuando se combina esto con las aplicaciones meteorológicas o las redes sociales, las personas que ven fotos o publicaciones pueden saber qué está pasando en determinado lugar. Las redes sociales, ya sea Facebook, Twitter, Instagram, TikTok, etc., tienen la capacidad de conectar instantáneamente a millones de personas con una historia o tema. Esto juega un papel importante en los informes de tormentas y la preparación antes de los eventos meteorológicos.

Las aplicaciones meteorológicas para celulares también brindan información a los usuarios. Hay aplicaciones que incluyen datos de modelos, radares, satélites, sondeos meteorológicos, mientras que otras tienen datos cuantificables específicos, como temperaturas y cambios porcentuales de precipitación.

Otro aspecto del nowcasting que tiene una enorme popularidad es la *predicción inmediata* de eventos como tornados. El Centro de Investigación de Tormentas Severas (SSRC, siglas en inglés) en Georgia Tech en los Estados Unidos ha financiado numerosas tecnologías experimentales para ayudar en la detección temprana de tornados basados en ondas acústicas de baja frecuencia y un patrón de rayos de nube a nube, que producen descargas eléctricas. El SSRC también se ha esforzado por lograr una mejor visualización en 3D de las tormentas severas para que las personas puedan seguir, mediante un modelo de alta resolución, las trayectorias y la duración de los tornados. La tecnología radar ha permitido a los meteorólogos localizar tornados en función de la dirección del viento y los cambios de velocidad.

Lo más importante es que las personas tengan conocimiento al instante sobre la ocurrencia de un evento meteorológico extremo. Una vez que dichas personas son conscientes de un posible evento meteorológico, pueden decidir tomar medidas por sí mismas y para su entorno.

Los meteorólogos ponen énfasis en la importancia de los sistemas de alerta temprana para generar conciencia de los riesgos, asegurar acciones preventivas y ayudar a la población a evitar o reducir la pérdida de vidas.



Sistema de alerta temprana del SMN para La Quiaca, Provincia de Jujuy, Argentina, tomada el martes 21 de enero de 2025.

En Argentina, como ya mencionamos al comienzo de este proyecto, desde noviembre del 2021 los Avisos a muy Corto Plazo (ACP) del Sistema de Alerta Temprana (SAT) del SMN sumaron una serie de mejoras, para que la población cuente con información más precisa sobre la evolución de las tormentas. Cada mensaje tiene incorporado las recomendaciones para que los ciudadanos puedan protegerse mejor frente a la ocurrencia de ráfagas, granizo o lluvias intensas que son producidos por tormentas. Cada ACP vendrá acompañado por las recomendaciones brindadas por la Secretaría de Protección Civil de la Nación y medidas de protección para cada fenómeno. Es importante recordar que estos avisos no se emiten por tormentas comunes, sino por aquellas que pueden resultar muy peligrosas y que, generalmente, tienen asociados fenómenos localizados como granizo, lluvias intensas y ráfagas. Cada vez que el SAT emite un alerta, se activan protocolos de contingencia en las localidades afectadas con el propósito de anticiparse y responder a situaciones de emergencia provocadas por tormentas. Cada localidad tiene un protocolo específico en los que intervienen distintos actores como policías, bomberos, Defensa Civil, Consejo Escolar, entre otros.

Sin embargo, no todos los países del mundo tienen el mismo funcionamiento con relación a los servicios meteorológicos. El sector privado difiere de los departamentos meteorológicos gubernamentales. Los países más grandes en los que existe una mayor separación entre el gobierno y los negocios del sector privado son Australia, Canadá, Japón y Estados Unidos. Estos países permiten que sus datos e información meteorológica sean de libre acceso para el público. El libre flujo de información convierte a Estados Unidos en el principal proveedor de información gratuita y confiable para los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales en las regiones más pobres del mundo.

Si bien el sector privado se ha separado del sector público (en cuanto a investigación meteorológica para pronosticar el tiempo) desde la década de 1990 comenzaron a informar pronósticos de radio y televisión específicamente detallados para las comunidades agrícolas. Hoy en día, debido al constante cambio (tecnologías y computadoras sofisticadas), el sector privado a veces supera, incluso, a los departamentos gubernamentales. La tecnología de punta es más fácil de implementar fuera del gobierno, lo que a menudo conduce a mejores supercomputadoras, así como a programas y dispositivos meteorológicos más nuevos. Sin embargo, muchos países europeos no permiten el acceso libre a sus datos, y tienen monopolio de los datos meteorológicos.

Las agencias gubernamentales trabajan mucho para proporcionar información detallada, precisa y fácilmente comprensible a un gran número de usuarios para diferentes propósitos y necesidades. Las organizaciones del sector privado actúan como consultores para entidades con necesidades específicas. En lugar de una gran región o ciudad, un meteorólogo del sector privado puede tomarse su tiempo enfocándose en el microclima de un lugar específico, midiendo y prediciendo las posibilidades de heladas para un campo específico en un momento determinado. Esta solicitud precisa y personalizada es más adecuada para el sector privado que para un departamento gubernamental. Las organizaciones del sector privado le pueden explicar mejor al "cliente" lo que se prevé. Mientras que los servicios gubernamentales deben brindar información meteorológica relevante para todos los usuarios de un país, la "especificidad" no forma parte de sus principales objetivos.

PARA FINALIZAR

¿POR QUÉ ES IMPORTANTE LA DISCUSIÓN DE TODOS ESTOS ASPECTOS EN LA ESCUELA?

La meteorología como área del saber se ha aproximado tanto a la cotidianidad que merece atención y profundización científica en la escuela secundaria, de manera que los y las estudiantes puedan acercarse a los contenidos relacionados con la física de la atmósfera, pudiendo describir los fenómenos que ocurren en ella. La gravedad de las consecuencias debido a fenómenos meteorológicos extremos no depende solo de los propios fenómenos, sino también de la exposición y la vulnerabilidad. Los fenómenos meteorológicos extremos son procesos naturales que se producen durante los ciclos meteorológicos. Si bien siempre hubo cambios bruscos de temperatura, lluvias, tornados, tormentas eléctricas, inundaciones, granizadas, sequías y más, en la actualidad suceden con una intensidad y una frecuencia que provocan el desplazamiento de personas, muertes y pérdidas económicas muy importantes.

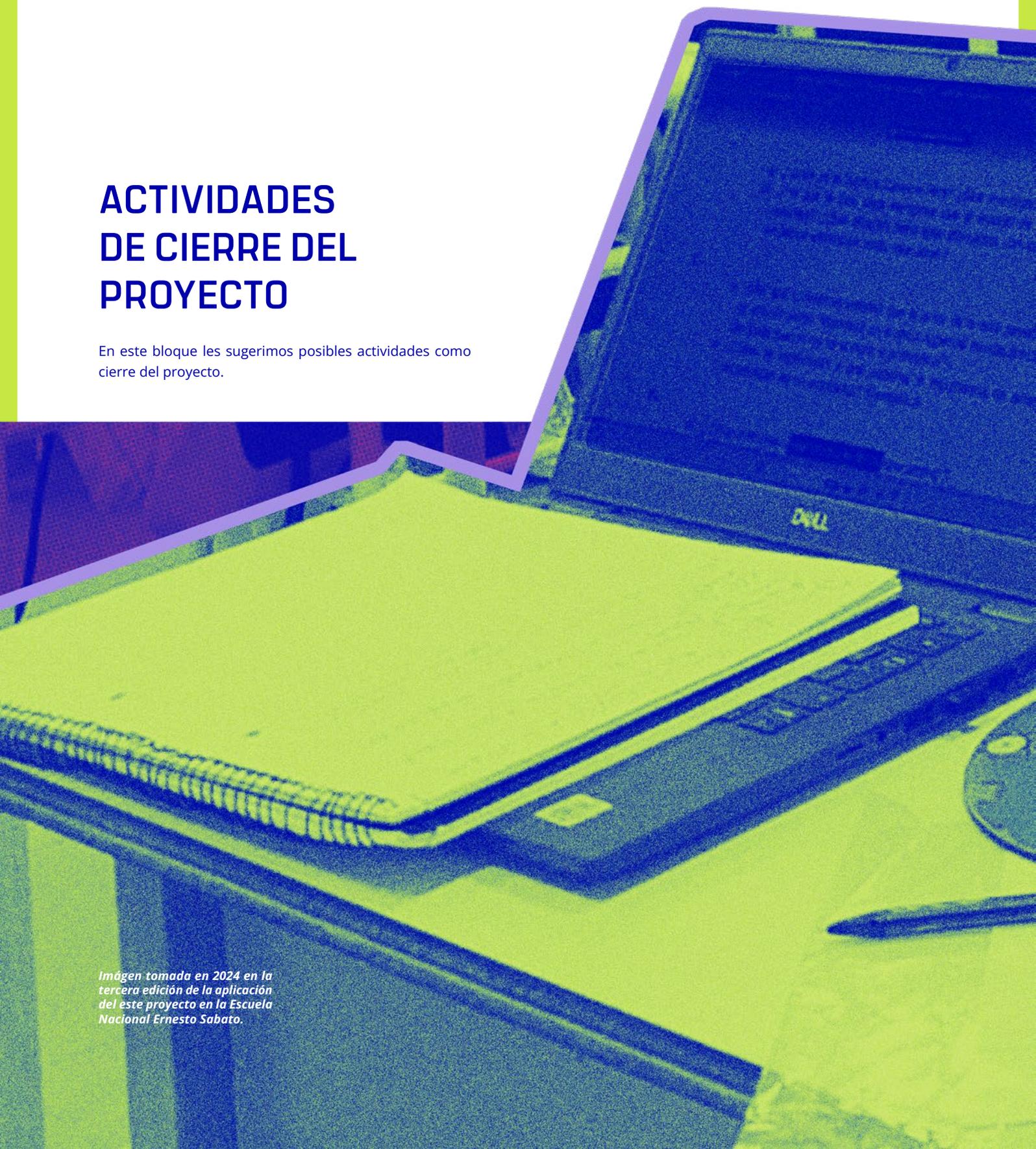
Profundizar en el estudio de los fenómenos meteorológicos, nos permite dar un paso más allá de los conceptos involucrados y comprender cómo trabaja la comunidad científica, analizar cómo se estudian estos fenómenos, cuál es la importancia de conocer la severidad de los mismos y actuar en consecuencia, saber quiénes deben tomar decisiones, qué debemos hacer como ciudadanos con esa información, comparar el conocimiento producido en esa disciplina con otras estudiadas (física, química, matemática).

A lo largo del proyecto se analizaron los aspectos centrales de los fenómenos meteorológicos extremos: su estudio y pronóstico; la identificación de las probabilidades de que ocurran en una zona determinada; las razones sobre la imposibilidad de tener certezas sobre estos sucesos y el aprovechamiento de herramientas teóricas y dispositivos tecnológicos para la toma de decisiones en una zona determinada. Tenemos derecho a estar bien informados. Sobre todo, cuando está en juego nuestra vida y la de quienes nos rodean.

ACTIVIDADES DE CIERRE DEL PROYECTO

En este bloque les sugerimos posibles actividades como cierre del proyecto.

Imagen tomada en 2024 en la tercera edición de la aplicación del este proyecto en la Escuela Nacional Ernesto Sabato.



ACTIVIDAD 1

La actividad 1 consiste en la elaboración de un material audiovisual, específicamente videos de TikTok, que se presentará en clases.

La producción audiovisual la realizarán en grupos. Para este trabajo, deberán investigar, analizar y tomar como referencia las preguntas propuestas para cada tema (el video NO debe consistir en dar respuesta a las preguntas, sino que las mismas sean una guía a tener en cuenta para realizar el guion).

Es necesario acordar con los compañeros y con la docente la elección del tema. No deben realizarse videos con temas repetidos.

PAUTAS QUE DEBERÁN CONSIDERAR PARA LA PRODUCCIÓN DE LOS VIDEOS DE TIKTOK

- 1** El video elaborado debe contemplar el estilo "TikTok" (con un mínimo de 3 minutos y un máximo de 5 minutos). Este tipo de video debe ser llamativo, contener imágenes interesantes, el relato debe ser claro, se puede optar por musicalizar algunas secciones del mismo y, fundamentalmente, comunicar lo que se solicita en cada tema.
- 2** Cada grupo deberá elegir un tema y realizar la producción audiovisual en función de lo discutido durante el proyecto. Previo a la elaboración del video, tendrán que armar un guion escrito con las "ideas relevantes" que discutirán en el mismo.
- 3** Durante el día de la presentación de los videos, los estudiantes deberán analizar críticamente las producciones de sus compañeros, con el objetivo de identificar aspectos positivos y negativos de los mismos y realizar aportes para su optimización.

TEMAS PROPUESTOS PARA LOS VIDEOS:

TEMA 1: SI FUERAS PRONOSTICADOR/A POR UN DÍA,

¿Cómo le explicarías al ciudadano/a la información que brindan los pronósticos? ¿Qué variables forman parte del mismo? El pronóstico, ¿comunica sobre un día específico o se pueden elaborar pronósticos extendidos? De ser así, explicar qué información brinda el pronóstico para un día y para el pronóstico extendido. Para ampliar esta información pueden utilizar ejemplos de pronósticos para la ciudad y/o otras localidades.

TEMA 2: SI FUERAS PRONOSTICADOR/A POR UN DÍA Y SE EMITE UN ALERTA POR OLA DE CALOR:

¿Cómo le explicas al ciudadano/a qué es un alerta? ¿Por qué existen distintos tipos de colores para los alertas? ¿Cuánto dura un alerta? ¿Qué zona se ve afectada por un alerta? ¿Qué precauciones se deben considerar? Para ampliar esta información pueden utilizar ejemplos de eventos ocurridos en la región o en el país.

TEMA 3: SI FUERAS PRONOSTICADOR/A POR UN DÍA Y SE EMITE UN ALERTA POR TORMEN- TAS SEVERAS (TORMENTA ELÉCTRICA, CAÍDA DE GRANIZO, VIENTO):

¿Cómo le explicas al ciudadano/a qué es una alerta? ¿Por qué existen distintos tipos de colores para las alertas? ¿Cuánto dura un alerta? ¿Qué zona se ve afectada por una alerta? ¿Qué precauciones se deben considerar? Para ampliar esta información pueden utilizar ejemplos de eventos ocurridos en la región o en el país.

TEMA 4: SI FUERAS UN/A CIENTÍFICO/A QUE IN- VESTIGA LA ATMÓSFERA:

¿Cómo le explicarías a una persona cuál es el proceso que desarrollan los especialistas para estudiar un fenómeno meteorológico extremo, como por ejemplo un tornado? (Considerar cómo son los procedimientos de modelización en meteorología y cómo llega esa información al ciudadano/a).

TEMA 5: SI FUERAS DIRECTOR/A DE UNA INSTI- TUCIÓN EDUCATIVA Y OBSERVAS QUE EL SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL EMITE UNA ALERTA NARANJA POR FUER- TES TORMENTAS:

¿Cuál es la normativa administrativa/legal que debes seguir para suspender las clases? ¿Es posible hacer más eficiente la toma de decisiones de los directivos de las escuelas? Si es así, ¿cuál sería una forma más eficiente? ¿Se podrían proponer modificaciones desde las autoridades de la escuela? Y desde la perspectiva de los estudiantes, ¿qué propondrían?

Si el ente encargado de aprobar la suspensión comunica que: "se suspenden las clases dada las condiciones meteorológicas", pero los estudiantes están en la institución en el momento más fuerte del temporal, ¿qué decisión tomarías como autoridad?



TEMPORAL DE NIEVE EN EL SUR

Figura 69. Corresponsal del tiempo reportando en vivo durante una tormenta de nieve en el sur de Argentina. [108]

TEMA 6: SI TE DEDICARAS A LA COMUNICACIÓN DEL PRONÓSTICO DEL TIEMPO:

¿Qué aplicaciones y/o sitios web recomiendas consultar? Mostrar ventajas y desventajas de cada una de ellas. (Aclarar cómo son financiadas, qué modelos utilizan, etc.)

¿Cuál es la aplicación desarrollada por el SMN? Mostrar ventajas y desventajas de esta aplicación.
¿De dónde proviene su financiamiento?

TEMA 7: SI TUVIERA QUE CONTARLE A UN AMIGO/A LO QUE SE ABORDÓ EN ESTE PROYECTO:

¿Cómo explicarías a un amigo/a que no participó de este proyecto la importancia de la discusión de los principales temas abordados en el mismo? Fundamentar por qué consideras que son relevantes los temas que seleccionaste para elaborar el video.

ACTIVIDAD 2

1 Elaborar por escrito de manera conjunta (todo el curso) una propuesta que aporte a la optimización en la toma de decisiones para la suspensión de clases frente a la ocurrencia de fenómenos meteorológicos extremos.

2 Para elaborar esta propuesta les solicitamos tener en cuenta las siguientes consideraciones:

A. Planificar una reunión con diversos actores relevantes involucrados en la toma de decisiones de suspensión de actividades educativas por alerta meteorológica.

Comenzar por los directivos de la propia institución, a los cuales les deberán solicitar información respecto del proceso que se sigue desde la emisión de una alerta meteorológica hasta la decisión de la suspensión de clases.

B. Deberán formar grupos y entrevistar a los funcionarios mencionados por los directivos que intervienen en la toma de decisiones para la suspensión de actividades educativas ante alerta meteorológica.

Deben tener en cuenta que es necesario solicitar permiso para grabar los audios de cada entrevista, con el fin de utilizar ese material como parte de la propuesta.

C. Analizar si el proceso que se realiza para suspender las actividades es el más adecuado en la época actual.

D. En caso de considerar que el proceso analizado en el inciso anterior podría mejorarse, argumentar por qué es relevante optimizar la toma de decisiones para la suspensión de clases ante la ocurrencia de fenómenos meteorológicos extremos.

E. A partir de las actividades desarrolladas durante el proyecto y de los datos obtenidos en las entrevistas realizadas, elaborar una propuesta en la que se argumente con solidez científica acerca de la necesidad de optimizar la toma de decisiones vinculada con la suspensión de clases cuando el SMN emite una alerta para nuestro partido. Una posible optimización en el circuito de la toma de decisiones consiste en proponer la autonomía de los directivos de las instituciones educativas para decidir la suspensión de clases, sin tener que esperar el comunicado de otras autoridades.

F. Registrar la propuesta por escrito y presentar la misma a los directivos para que la eleven, si la consideran pertinente, a las autoridades correspondientes.

REFERENCIAS

IMÁGENES

1. Telam. Trabajadores del SMN utilizando computadoras para hacer modelizaciones meteorológicas [Internet]. El Economista. 2022. Disponible en: <https://eleconomista.com.ar/actualidad/150-anos-servicio-meteorologico-nacional-instrumentos-medicion-mecanica-satelites-n56466>
2. Weather Bureau of the United States. Página 97 de Estudios sobre tipos de clima y tormentas realizados por profesores y funcionarios de pronóstico de la Oficina Meteorológica. [Internet]. Flickr. 1895. Disponible en: <https://www.flickr.com/photos/internetarchivebookimages/14801270563/>
3. Impresión de programa meteorológico numérico en 1965 [Internet]. Met Office. 1965. Disponible en: <https://www.metoffice.gov.uk/about-us/who-we-are/our-history>
6. Servicio Meteorológico Nacional. Atlas de nubes [Internet]. X. 2023. Disponible en: https://x.com/SMN_Argentina/status/1645048924409937922
9. Servicio Meteorológico Nacional. Datos registrados el día martes 17 de septiembre del 2024 a las 19.20hs en CABA [Internet]. SMN. 2024. Disponible en: <https://www.smn.gob.ar/>
12. San Justo, Provincia de Santa Fe, Argentina, 1973. Devastación provocada por el tornado más violento en la historia de Sudamérica. [Internet]. Uno Santa Fe. 1973. Disponible en: <https://www.unosantafe.com.ar/santa-fe/a-49-anos-del-tornado-mas-grande-sudamerica-que-destrozo-la-ciudad-san-justo-n2706432.html>
13. Telam. Formas improvisadas de refrescarse por ola de calor [Internet]. La Nación. 2023. Disponible en: <https://www.lanacion.com.ar/clima/pronostico-del-tiempo-como-estara-la-semana-del-16-al-22-de-enero-nid15012023/>
14. Servicio Meteorológico Nacional. Reproducción de posteo en X del SMN sobre mapa de calor en marzo de 2023 [Internet]. X. 2023. Disponible en: https://x.com/SMN_Argentina/status/1635349250224832512
15. Ministerio de Defensa. Sistema de Alerta Temprana por Olas de Calor en Argentina en 2019 [Internet]. Facebook. 2019. Disponible en: <https://www.facebook.com/photo.php?fbid=1506907142782705&id=306610682812363&set=a.307330746073690>
16. Servicio Meteorológico Nacional. Temperaturas Extremas de Calor [Internet]. Facebook. 2021. Disponible en: <https://www.facebook.com/photo.php?fbid=4702256409827122&id=451932488192890&set=a.464469710272501>

17. Peatonal de Mar del Plata, Pcia de Buenos Aires, Argentina, el día después de “la noche de los 100 tornados” [Internet]. Página 12. 1993. Disponible en: <https://www.pagina12.com.ar/540002-a-30-anos-del-dia-de-los-100-tornados>
22. Formación de un tornado [Internet]. Biblioteca de Investigaciones. 2010. Disponible en: <https://bibliotecadeinvestigaciones.wordpress.com/ciencias-de-la-tierra/los-tornados-formacion-y-escalas-de-medicion/>
23. Servicio Meteorológico Nacional. Los tornados se clasifican según la intensidad del viento utilizando la escala Fujita (SMN) [Internet]. X. 2023. Disponible en: https://x.com/SMN_Argentina/status/1612834179984809985
24. Hiroshima Peace Memorial Museum, AFP Photo. Nube luego del bombardeo en Hiroshima en 1945 [Internet]. Euronews. 1945. Disponible en: <https://es.euronews.com/2020/08/06/en-imagenes-hiroshima-y-nagasaki-despues-de-las-bombas-nucleares-75-anos-atras>
25. Destrucción del tornado en la ciudad de Moore en 2013 [Internet]. Air Force Sustainment Center. 2013. Disponible en: <https://www.afsc.af.mil/News/Article-Display/Article/465948/team-tinker-flies-into-action-aids-in-moore-tornado-rescue-relief-effort/>
26. Captura de pantalla de la página de inicio del SMN. Pronóstico para Olavarría en diciembre de 2024 [Internet]. Servicio Meteorológico Nacional. 2024. Disponible en: <https://www.smn.gob.ar/>
27. Captura de pantalla de la página de alertas del SMN para Olavarría en diciembre del 2024. [Internet]. Servicio Meteorológico Nacional. 2024. Disponible en: <https://www.smn.gob.ar/>
30. Captura de pantalla del sistema de alerta temprano emitido por el SMN para el 16/12/2023 a las 17.44hs [Internet]. Servicio Meteorológico Nacional. 2023. Disponible en: <https://www.smn.gob.ar/>
31. Infomedia. Imagen de radar [Internet]. Todo Noticias. 2023. Disponible en: <https://tn.com.ar/sociedad/2023/12/17/temporal-en-bahia-blanca-advierten-que-un-tornado-afectara-la-zona-del-ambadurante-la-madrugada/>
32. Marcelo Aranda. Calle en Bahía Blanca después de las tormentas [Internet]. CONICET Córdoba. 2023. Disponible en: <https://cordoba.conicet.gov.ar/temporal-en-bahia-blanca-expertos-del-conicet-analizan-el-fenomeno-climatico-edificio-y-sus-consecuencias-en-la-comunidad-cientifica/>
33. Dra. Paola Salio [Internet]. Infobae. 2018. Disponible en: <https://www.infobae.com/tendencias/innovacion/2018/11/17/los-cazadores-de-tormentas-ya-desplegaron-sus-equipos-y-comienzan-los-estudios-cientificos/>
34. Swift T. Reproducción traducida de posteo en X de Taylor Swift [Internet]. X. 2023. Disponible en: <https://x.com/taylorswift13/status/1723065613390958638>

35. Swift T. Taylor Swift [Internet]. X. 2023. Disponible en: <https://x.com/taylorswift13/status/1729612598566342864>
36. Driscoll F. Trabajadora de la Oficina del Clima del Aeropuerto de Washington D.C. calculando la trayectoria de un globo sonda para tomar mediciones de la velocidad del viento en la superficie en 1943. [Internet]. Library of Congress. 1943. Disponible en: <https://www.loc.gov/pictures/collection/fsa/item/2017862409/>
37. Tres de las seis mujeres que se encargaron de programar ENIAC, el primer computador electrónico de la historia, en la Universidad de Pennsylvania (EEUU), hacia 1946. De izquierda a derecha, Jean Jennings, Marlyn Wescoff y Ruth Lichterman. [Internet]. Meteored. 1946. Disponible en: <https://www.tiempo.com/noticias/divulgacion/la-maquina-que-venio-al-tiempo.html>
41. Schuiten F. La fábrica de predicciones meteorológicas concebida por Richardson en su libro "Predicción meteorológica por métodos numéricos" [Internet]. Meteored. 1922. Disponible en: <https://www.tiempo.com/noticias/divulgacion/el-sueno-de-richardson.html>
- 42 Brady-Handy photograph collection. Samuel F.B. Morse [Internet]. Library of Congress. 1866. Disponible en: <https://www.loc.gov/pictures/item/2017895923/>
43. Compañía de Telégrafos Eléctricos Telegraph Street en 1859 [Internet]. Distant Writing. 1859. Disponible en: <https://distantwriting.co.uk/electrictelegraphcompany.html>.
44. Familia Bjerknæs. Vilhelm Bjerknæs [Internet]. Wikimedia Commons. 1920. Disponible en: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vilhelm_Bjerknæs_Bust_01.jpg
45. Colección del Gobierno de Canadá. Observador meteorológico comprueba los rumbos del teodolito antes de soltar el globo piloto que indica la velocidad y dirección de las corrientes de aire superiores [Internet]. Gobierno de Canadá. 1940. Disponible en: <https://recherche-collection-search.bac-lac.gc.ca/eng/Home/Record?app=fonandcol&IdNumber=4327475#link-to-this-rec>
46. Stoneman W. Lewis Fry Richardson [Internet]. National Portrait Gallery. 1931. Disponible en: <https://www.npg.org.uk/collections/search/portrait/mw109785>
56. Cecilia Berdichevsky trabajando con la computadora Clementina en 1962 [Internet]. Historia de la ciencia y la tecnología. 1962. Disponible en: <https://historia-ciencia-tecnologia.blogspot.com/2019/03/cecilia-berdichevsky.html>
57. Windguru Tide Map [Internet]. Windguru. 2025. Disponible en: <https://www.windguru.cz/map/tide?lat=37.558305964925864&lon=-7.341057108550558&zoom=5>
58. Professional weather forecast [Internet]. Windy. Windy.com; 2025. Disponible en: <https://www.windy.com/es/-Temperatura-temp?temp>

59. Torres L. Las Radiaciones en la Vida Cotidiana [PDF]. [Instituto Balseiro]; 2019. p. 7.
60. Giordano L. Leucippus [Internet]. Wikimedia Commons. 1652. Disponible en: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pinacoteca_Querini_Stampalia_-_Leucippus_-_Luca_Giordano.jpg?uselang=es#Licencia](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pinacoteca_Querini Stampalia_-_Leucippus_-_Luca_Giordano.jpg?uselang=es#Licencia)
61. Coypel CA. Demócrito [Internet]. Wikimedia Commons. 1746. Disponible en: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Charles-Antoine_Coytel_-_The_Cheerful_Democritus.jpg?uselang=es
62. Lonsdale Esqre J, Turner C. John Dalton [Internet]. Library of Congress. 1774. Disponible en: <https://www.loc.gov/pictures/item/2004671522/>
63. Bain News Service. Joseph John Thomson [Internet]. Library of Congress. 1920. Disponible en: <https://www.loc.gov/pictures/item/2014715407/>
64. Bibliothèque nationale de France. Jean Baptise Perrin [Internet]. Wikimedia Commons. 1926. Disponible en: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Jean_Perrin_1926.jpg
65. Gilbert Newton Lewis [Internet]. Science History Institute. 1799. Disponible en: <https://www.sciencehistory.org/education/scientific-biographies/gilbert-newton-lewis/>
66. Hantaro Nagaoka [Internet]. Wikimedia Commons. 1930. Disponible en: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hantaro_Nagaoka_\(2\).jpg?uselang=es](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hantaro_Nagaoka_(2).jpg?uselang=es)
67. Bain News Service. Ernest Rutherford [Internet]. Library of Congress. Disponible en: <https://www.loc.gov/pictures/item/2014716719/>
68. Bain News Service. Niels Bohr [Internet]. Library of Congress. 1925. Disponible en: <https://www.loc.gov/pictures/item/2014715454/>
69. Bain News Service. Arnold Sommerfeld [Internet]. Library of Congress. 1920. Disponible en: <https://www.loc.gov/pictures/item/2014716719/>
70. Erwin Schrodinger [Internet]. Narodowe Archiwum Cyfrowe. 1933. Disponible en: <https://audiovis.nac.gov.pl//obraz/231021/>
71. Nobel Foundation Archive. Paul Dirac [Internet]. Nobel Foundation. 1933. Disponible en: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1933/dirac/facts/>
72. Universidad Colorado Boulder. Build an Atom [Internet]. PhET Interactive Simulations. Disponible en: https://phet.colorado.edu/sims/html/build-an-atom/latest/build-an-atom_all.html?locale=es

73. Centro Nacional de Huracanes de E.E.U.U. Modelo de trayectoria y fuerza del huracán Irma [Internet]. BBC. 2017. Disponible en: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-41182300>
77. Celeste Saulo al ser nombrada como Secretaria General de la Organización Meteorológica Mundial. [Internet]. Página 12. 2024. Disponible en: <https://www.infobae.com/america/mundo/2024/10/16/temperaturas-record-y-decisiones-urgentes-celeste-saulo-y-un-desafio-global/>
78. Royal Dublin Society. Ecuaciones diferenciales y situaciones límite de Richardson [Internet]. The Contributions of Lewis Fry Richardson to Drainage Theory, Soil Physics, and the Soil-Plant-Atmosphere Continuum. 2018 Disponible en: <https://www.frontiersin.org/journals/environmental-science/articles/10.3389/fenvs.2018.00013/full>
81. Modelo de circulación global [Internet]. CLIMAconCIENCIA. Disponible en: https://climaconciencia.github.io/_posts/2019-04-05-modelos
82. Modelo de predicción numérica del tiempo [Internet]. AEMET. Disponible en: <https://aemetblog.es/2020/10/04/ya-conoces-nuestro-meteoglosario-visual/>
84. Casalino L, et al. Modelo computacional del virus SARS-CoV-2. [Internet]. Brookhaven National Laboratory. 2021. Disponible en: <https://www.bnl.gov/newsroom/news.php?a=219440>
85. Observadora Meteorológica en la Antártida Argentina. [Internet]. Noticias en Vuelo. 2024. Disponible en: <https://noticiasenvuelo.faa.mil.ar/articulos.php?idn=202>
86. Edward Lorenz, padre de la teoría del caos [Internet]. Muy Interesante. 1972. Disponible en: <https://www.muyinteresante.com/ciencia/60363.html>
87. Lorenz E. Solución de la ecuación de Lorenz [Internet]. Instituto de Matemáticas de la Universidad de Sevilla. Disponible en: <https://institucional.us.es/blogimus/2017/12/edward-lorenz-1917-2008-con-el-empezo-el-caos/>
90. Applewhite D. Manabe respondiendo preguntas sobre su carrera investigadora en Princeton. [Internet]. Princeton University. 2021. Disponible en: <https://www.princeton.edu/news/2021/10/05/great-fun-manabe-wins-nobel-prize-physics-modeling-climate-change>
94. NEH, San Diego Air and Space Museum. Componentes de ala de un avión [Internet]. Flickr. Disponible en: <https://www.flickr.com/photos/sdasmarchives/54268196321>
95. Reproducción de simulación de trayectoria irregular y caótica de un péndulo doble. [Internet]. SimuFísica. 2024. Disponible en: <https://simufisica.com/es/pendulo-doble/>

96. Hulton Archive. Tropas británicas, del regimiento 48 de infantería, en la playa Juno, el día del operativo en 1944. [Internet]. BBC. 1944. Disponible en: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-48542203>
97. Falko Judt [Internet]. Falko Judt. 2023. Disponible en: <https://falkojudt.github.io/>
98. Calvin C, NRAC. Supercomputadora Cheyenne [Internet]. Data Center Dynamics. 2017. Disponible en: <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/ncars-534-petaflop-supercomputer-cheyenne-comes-online/>
99. ECMWF's Ensemble Prediction System. Niveles de incertidumbre entre meteorólogos acerca de un pronóstico. [Internet]. LinkedIn. 2020. Disponible en: <https://www.linkedin.com/pulse/understanding-uncertainty-impact-based-weather-ben-domensino/>
101. El Eco de Tandil. Meteoróloga argentina Noemí Troche en la Base Marambio en la Antártida. [Internet]. El Eco de Tandil. 2019. Disponible en: <https://www.eleco.com.ar/interes-general/desde-la-antartida-la-tandilense-noemi-troche-celebro-los-50-anos-de-la-base-marambio>
102. Viñedos arrasados por granizo en la Provincia de Mendoza, Argentina. [Internet]. Todo Noticias. 2025. Disponible en: <https://tn.com.ar/campo/2025/01/08/el-granizo-arraso-cultivos-en-el-sur-de-mendoza-vinedos-y-frutales-devastados/>
108. Todo Noticias. ALERTA AMARILLA EN LA PATAGONIA | Temporal de nieve y temperaturas bajo cero [Internet]. YouTube. 2022. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=WFPEXoLSITg>

VIDEOS

4. Mundo Aeronáutico. Humedad, Saturación y Punto de Rocío [Internet]. YouTube. 2021. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=wQ58eAsgAe8>
5. Servicio Meteorológico Nacional Argentina. Atlas de Nubes [Internet]. YouTube. 2016. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=doc97l-44lc>
7. Servicio Meteorológico Nacional. Capas de la atmósfera [Internet]. Facebook. 2023. Disponible en: <https://www.facebook.com/watch/?v=942414073340521>
8. María Eugenia Seoane. Cómo usar la información proporcionada por el SMN [Internet]. YouTube. 2025. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=nBoFqPbgmpc>
10. Televisión Pública Noticias. Presentaron la App para conocer el estado del clima [Internet]. YouTube. 2023. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=80tS34qwwCo>

11. Televisión Pública Noticias. "APP del tiempo": el SMN lanzó una aplicación con información precisa sobre el clima [Internet]. YouTube. 2023. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=b55wbh1f82g>
18. National Geographic España. ¿Cómo se forman los TORNADOS? ¿Qué los hace crecer? | National Geographic en Español [Internet]. YouTube. 2017. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=-D5k8Qukn7MM>
19. Servicio Meteorológico Nacional Argentina. Huracán vs Tornado: ¿son lo mismo? [Internet]. YouTube. 2019. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=zWr4NDLANS8>
20. Telefe Noticias. TORNADOS EN ARGENTINA: ¿CÓMO SE FORMAN? #FuerzaNatural [Internet]. YouTube. 2020. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=3oMZojLJGc>
21. El Eco de Tandil. De la calma a la tormenta: La noche de LOS 100 TORNADOS en TANDIL [Internet]. YouTube. 2023. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=0kKocpsUj0>
28. Servicio Meteorológico Nacional Argentina. SAT | Alertas Meteorológicas de SMN [Internet]. YouTube. 2020. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=9MwyA5d8WGI>
29. Servicio Meteorológico Nacional Argentina. SAT | Avisos a muy Corto Plazo [Internet]. YouTube. 2021. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=plxnoV9Rnhk>
38. Servicio Meteorológico Nacional Argentina. ¿Desde cuándo existen los pronósticos del tiempo? [Internet]. YouTube. 2019. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=6glPoN8_W-g
49. AlfabetizArte. ¿Cómo hacer una infografía? ¿Qué es una infografía? Pasos para hacer una infografía [Internet]. YouTube. 2022. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=bBEOswFcqaY>
53. Servicio Meteorológico Nacional. ¡Arriba, más arriba y muy lejos con los globos meteorológicos! [Internet]. YouTube. 2024. Disponible en: <https://www.youtube.com/shorts/9kd8F9Mbj-4>
55. Servicio Meteorológico Nacional. Radares y satélites [Internet]. Facebook. 2022. Disponible en: <https://www.facebook.com/SMN.ar/videos/radares-y-sat%C3%A9lites/1560580347824619/>
74. AEMET. Modelos numéricos de predicción [Internet]. YouTube. 2017. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=z3NCUtrHJY0>
76. Servicio Meteorológico Nacional. La supercomputadora Clementina XXI llegó al Servicio Meteorológico Nacional [Internet]. YouTube. 2023. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=SQbkaZ-KBL4>
79. María Eugenia Seoane. Ecuaciones y formas de resoluciones [Internet]. YouTube. 2025. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=NWN3E8EDOPA>

80. Instituto Uruguayo de Meteorología. Modelos numéricos de predicción del tiempo [Internet]. YouTube. 2019. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=3X-kQp-znjw>
91. Servicio Meteorológico Nacional Argentina. El efecto mariposa y los pronósticos [Internet]. YouTube. 2019. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=CydNMSH4CmM>
92. Centro Interactivo de los Conocimientos. ¿Qué son los “sistemas complejos” y por qué 3 científicos ganaron el Nobel con este tema? [Internet]. YouTube. 2021. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=XWq8yOpVIGE>
100. Ileana María Greca Dufranc. Sistemas complejos, caos e incertidumbre 2022 [Internet]. YouTube. 2025. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=SKVDUE1RBVQ>
106. Servicio Meteorológico Nacional Argentina. Con vos en el tiempo [Internet]. YouTube. 2023. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=8WKmGJGIMZw>
107. Servicio Meteorológico Nacional Argentina. El SMN y la adaptación al cambio climático [Internet]. YouTube. 2021. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=Qs0yUJWMhgs>

LECTURAS

39. César Tomé. Breve historia de las ciencias del clima [Internet]. Cuaderno de Cultura Científica. 2019. Disponible en: <https://culturacientifica.com/2019/11/10/breve-historia-de-las-ciencias-del-clima/>
40. Crum E, Nyberg J. Mariners Weather Log Vol. 51, No. 3, December 2007 [Internet]. Noaa.gov. 2023. Disponible en: https://www.vos.noaa.gov/MWL/dec_07/history.shtml
47. Rodríguez AML. Línea de Tiempo: Qué es, Características y Cómo Hacerla [Internet]. Tu Gimnasia Cerebral. 2024. Disponible en: <https://tugimnasiacerebral.com/herramientas-de-estudio/linea-de-tiempo-que-es-caracteristicas-y-como-hacerla>
50. Corazza S, Bontempi ME, Cerrudo CG, Vidal L, de Diego M. Radares Meteorológicos. Meteoros [Internet]. 2017. Disponible en: <https://repositorio.smn.gob.ar/handle/20.500.12160/1188>
51. León FM. Impacto de la aviación en el medio ambiente. Tiempocom | Meteored [Internet]. 2022; Disponible en: <https://www.tiempo.com/ram/impacto-de-la-aviacion-en-el-medio-ambiente.html>
52. Llorente A. Cómo funcionan los “globos sonda” que se elevan a diario y ayudan a los pronósticos meteorológicos - BBC News Mundo [Internet]. BBC News Mundo. 2021. Disponible en: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-56825880>

54. Tedesco MC. RedVITEC - Boya para monitoreo ambiental más efectiva y diez veces más económica que las importadas [Internet]. RedVITEC. 2023. Disponible en: <https://redvitec.cin.edu.ar/inicio/noticias/848-boya-para-monitoreo-ambiental-mas-efectiva-y-diez-veces-mas-economica-que-las-importadas.html>
73. Centro Nacional de Huracanes de E.E.U.U. Modelo de trayectoria y fuerza del huracán Irma [Internet]. BBC. 2017. Disponible en: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-41182300>
75. Zagalsky A. Cómo es la nueva supercomputadora que compró la Argentina y que desde mayo estará entre las 100 más potentes del mundo [Internet]. LA NACION. 2023. Disponible en: <https://www.lanacion.com.ar/tecnologia/como-es-la-nueva-supercomputadora-que-compro-la-argentina-y-que-desde-mayo-estara-entre-las-100-mas-nid10042023/>
83. López-Valcárcel BG, Tomaino L, Majem LS, Barber P, Rodríguez-Mireles S. COVID-19: pandemia de modelos matemáticos [Internet]. The Conversation. 2021. Disponible en: <https://theconversation.com/covid-19-pandemia-de-modelos-matematicos-136212>
88. Muñoz DS. ¿Por qué fallan los meteorólogos? [Internet]. El País. 2017. Disponible en: https://elpais.com/politica/2017/09/29/tiempo_al_tiempo/1506683788_607716.html
103. Esteban P. "Argentina es el único lugar del mundo donde la gente se queja cuando no se cumple el pronóstico" [Internet]. Página 12. 2015. Disponible en: <https://www.pagina12.com.ar/diario/ciencia/19-285345-2015-11-04.html>
104. Ruiz D. ¿Qué es el nowcasting? Tu aliado contra el tiempo severo. Meteored [Internet]. 2019. Disponible en: <https://www.tiempo.com/ram/impacto-de-la-aviacion-en-el-medio-ambiente.html>
105. Pérez Colomé J. La predicción del tiempo en el futuro: ¿lloverá dentro de 10 minutos justo encima de mi casa? [Internet]. El País. 2020. Disponible en: https://elpais.com/tecnologia/2020/01/17/actualidad/1579301038_538939.html

PODCAST

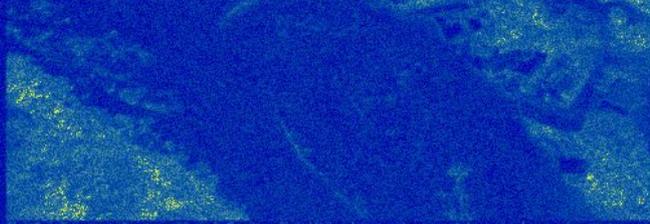
48. Molleda M. La Historia de la Meteorología: los mensajeros del tiempo [Internet]. Documentos RNE, editor. rne Audio; 2020. Disponible en: <https://www.rtve.es/play/audios/documentos-rne/documentos-rne-historia-meteorologia-mensajeros-del-tiempo-100120/5480890/>

Apocalipsis sobre Valencia

La DANA más devastadora de la historia se cierne ya sobre una de las Comarcas Valencianas y podría afectar a zonas de Andalucía y Castilla-La Mancha

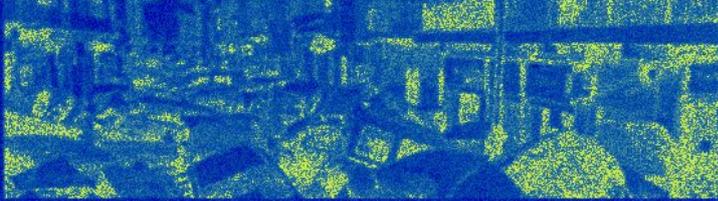
Las precipitaciones originaron las inundaciones de la Aemet. «Apocalípticas», aseguraron y prevé el fondo meteorológico nacional a la capital en una semana

Pese a que la alerta sobre las crecidas de las caudales se dio ayer a las 17 y los meteorólogos no fueron definitivos de Euzkadi tras la lluvia y Torcaes de Aragón



El río Turia desbordó sus aguas en el barrio La Florida, en Ciudad Real, y provocó el sustrato de la tormenta. En la imagen, un río de la zona de la Embalse de Alarcón

«Rompió la cristalería para subir al helicóptero... el mundo se acababa»



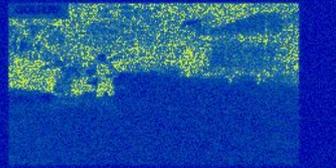
Un tornado arrasa parte de una barriada de Cartagena

El viento voló vehículos, rompió cristales, dobló señales de tráfico y arrancó tejados de varias casas de La Manga ardió por un rayo de la tormenta

Un tornado arrasó gran parte del barrio residencial de Santa Fe. Al menos 46 personas resultaron heridas y 46 murieron. Una pinada próxima al campo de golf de La Manga ardió por un rayo de la tormenta

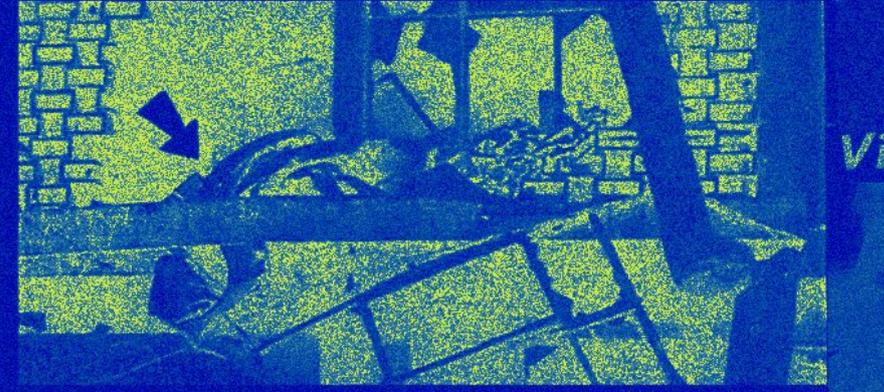
Lluvias de huracán Eta arrasan tramos en 20 carreteras

Guantacasto y Pintarreas. Principales destrucciones se dan en costa del Pacífico donde OMC declaró alerta roja



Alud mata a matrimonio. Deslizamiento en zona de montaña en su casa; a menos 1500 personas en albergues

FURIOSO TORNADO EN SANTA FE: 46 MUERTOS



La tormenta de nieve más grande de la historia

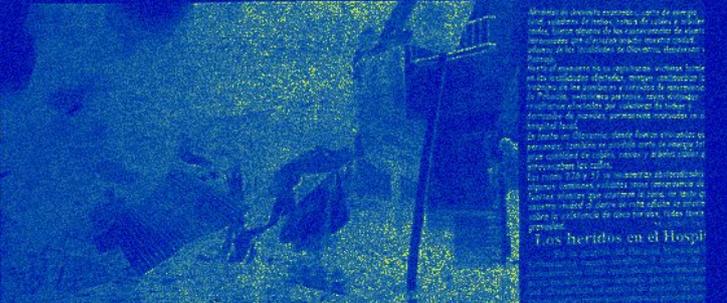
Ejércitos de trabajadores con máquinas quitanieves desajustaban ayer

EN CIEN AÑOS NO SE HABÍA ANOTADO LA MARCA DE AYER: 43º3'

La Tórrida Jornada Originó Numerosos Inconvenientes en Distintos Puntos de Esta Ciudad y del Interior del País

CASOS FATALES DE INSOLACION

Violento tornado en Tandil



Al menos 46 muertos y heridos, entre ellos un niño, fueron víctimas de la devastadora tormenta que se cernió sobre la zona de Santa Fe, en el interior del país. La tormenta de nieve más grande de la historia originó numerosos inconvenientes en distintos puntos de esta ciudad y del interior del país. Casos fatales de insolación. Violento tornado en Tandil.



UNIVERSIDAD DE BURGOS