

ORCHESTRATEUR

METEOROLOGÍA: COMPRENDER LOS FENÓMENOS, LEER UNA PREVISIÓN Y DECIDIR CON PRUDENCIA

Una guía completa, disponible sin conexión

Leer, comprender y encontrar un capítulo

LAFAYETTE DIGITAL PRODUCTS

Índice

Las entradas del índice son enlaces. Los marcadores del PDF permiten acceder a capítulos y secciones. El enlace al pie de cada página vuelve aquí.

CAPÍTULO 1 - TIEMPO, CLIMA Y MEDICIÓN: ESCALAS ESPACIALES, TEMPORALES E INSTRUMENTOS 6

CAPÍTULO 2 - TEMPERATURA Y ENERGÍA: RADIACIÓN, CONDUCCIÓN, CONVECCIÓN Y BALANCE 16

CAPÍTULO 3 - PRESIÓN, DENSIDAD Y VIENTO: GRADIENTES Y CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA 26

CAPÍTULO 4 - AGUA ATMOSFÉRICA: VAPOR, SATURACIÓN, HUMEDAD RELATIVA Y PUNTO DE ROCÍO 36

CAPÍTULO 5 - NUBES Y PRECIPITACIONES: CONDENSACIÓN, CRISTALES Y MICROFÍSICA SIMPLIFICADA 45

CAPÍTULO 6 - FRENTES Y MASAS DE AIRE: EVOLUCIÓN, RELIEVE Y SITUACIONES LOCALES 55

CAPÍTULO 7 - TORMENTAS, RAYOS Y FENÓMENOS VIOLENTOS: MECANISMOS Y LÍMITES DEL PRONÓSTICO 64

CAPÍTULO 8 - Pronóstico numérico: condiciones iniciales, modelos y conjuntos de escenarios 74

CAPÍTULO 9 - Probabilidades e incertidumbres: leer un boletín sin falsa precisión 84

CAPÍTULO 10 - Vigilancia, alerta y decisión: peligro, exposición y autoridades competentes 94

CAPÍTULO 11 - Seguridad de las actividades: criterios de aplazamiento y datos actualizados necesarios 105

CAPÍTULO 12 - Cuaderno meteorológico y ejercicios de síntesis: observar, comparar y reconocer los límites 116

METEOROLOGÍA: COMPRENDER LOS FENÓMENOS, LEER UNA PREVISIÓN Y DECIDIR CON PRUDENCIA

Guía original de Lafayette Digital Products, con redacción francesa del 11 de octubre de 2026, para el final de la enseñanza secundaria. La redacción se realizó con ayuda de Codex, el asistente de inteligencia artificial de OpenAI, y después fue revisada y corregida. Esta traducción íntegra al español se realizó también con ayuda de Codex. La guía acompaña los cursos y los documentos de los servicios especializados; no constituye una certificación pedagógica oficial. Los ejemplos numéricos, personajes y situaciones descritos como ficticios son creaciones didácticas. Las referencias permiten comprobar conceptos o hitos históricos; no se resume íntegramente ninguna obra ajena.

Cada capítulo combina análisis, ejemplos originales, ejercicios resueltos, errores frecuentes y una ficha de repaso. Resolved los ejercicios antes de leer las soluciones y explicad después con vuestras propias palabras por qué una respuesta está justificada. Las soluciones ofrecen recorridos razonados; no garantizan una nota ni constituyen respuestas oficiales de un examen.

Esta guía sin conexión no proporciona ninguna previsión ni alerta actual. Para cualquier actividad expuesta a las condiciones meteorológicas, consultad los datos fechados de los servicios meteorológicos y las instrucciones de las autoridades competentes. No propone diagnósticos ni procedimientos médicos. Orchestrateur no es un dispositivo médico; cuando lo necesitéis, consultad a un profesional de la salud y, en una urgencia, utilizad el número oficial local.

ÍNDICE DE CAPÍTULOS

• CAPÍTULO 1 - TIEMPO, CLIMA Y MEDICIÓN: ESCALAS ESPACIALES, TEMPORALES E INSTRUMENTOS

• CAPÍTULO 2 - TEMPERATURA Y ENERGÍA: RADIACIÓN, CONDUCCIÓN, CONVECCIÓN Y BALANCE

• CAPÍTULO 3 - PRESIÓN, DENSIDAD Y VIENTO: GRADIENTES Y CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA

• CAPÍTULO 4 - AGUA ATMOSFÉRICA: VAPOR, SATURACIÓN, HUMEDAD RELATIVA Y PUNTO DE ROCÍO

• CAPÍTULO 5 - NUBES Y PRECIPITACIONES: CONDENSACIÓN, CRISTALES Y MICROFÍSICA SIMPLIFICADA

• CAPÍTULO 6 - FRENTES Y MASAS DE AIRE: EVOLUCIÓN, RELIEVE Y SITUACIONES LOCALES

• CAPÍTULO 7 - TORMENTAS, RAYOS Y FENÓMENOS VIOLENTOS: MECANISMOS Y LÍMITES DEL PRONÓSTICO

• CAPÍTULO 8 - Pronóstico numérico: condiciones iniciales, modelos y conjuntos de escenarios

• CAPÍTULO 9 - Probabilidades e incertidumbres: leer un boletín sin falsa precisión

• CAPÍTULO 10 - Vigilancia, alerta y decisión: peligro, exposición y autoridades competentes

• CAPÍTULO 11 - Seguridad de las actividades: criterios de aplazamiento y datos actualizados necesarios

• CAPÍTULO 12 - Cuaderno meteorológico y ejercicios de síntesis: observar, comparar y reconocer los límites

CAPÍTULO 1 - TIEMPO, CLIMA Y MEDICIÓN: ESCALAS ESPACIALES, TEMPORALES E INSTRUMENTOS

1. Qué describe una observación meteorológica

Decir que hace mal tiempo mezcla una observación con una valoración. Una persona desea que llueva para su jardín; otra prefiere un cielo seco para desplazarse. Para comprender un fenómeno, primero hay que describir magnitudes: temperatura del aire, presión, humedad, viento, cantidad de precipitación y visibilidad. La palabra tiempo designa aquí el estado de la atmósfera y su evolución a una escala determinada. El clima caracteriza estadísticamente las condiciones durante períodos largos, mediante medias, distribuciones y variaciones. Por tanto, un episodio frío no establece por sí solo una tendencia climática; una media climática tampoco predice el tiempo de un día concreto.

La atmósfera es un medio material. Contiene principalmente gases, pero también partículas y, en ocasiones, gotas o cristales. El vapor de agua es un gas invisible; una nube visible no es simplemente un depósito de vapor que se pueda ver. Esta distinción se estudiará con más detalle en los capítulos siguientes. Desde ahora muestra por qué las palabras cotidianas pueden ocultar estados físicos diferentes. Un cielo aparentemente transparente no significa que no haya agua, mientras que una nube no garantiza que la lluvia llegue al suelo.

Una medición solo está completa si incluye una magnitud, una unidad, un lugar, un instante o una duración y un método. Escribir «temperatura: 18» no basta. Hay que precisar que son 18 grados Celsius, en qué condiciones se midieron, a qué hora y en qué lugar. Una altura de lluvia de 12 milímetros en una hora no describe la

misma intensidad media que 12 milímetros en un día. Un viento medio durante un período determinado no equivale a una racha máxima. El conocimiento empieza con una descripción que permita comparar.

2. Las escalas cambian la pregunta

Un chubasco puede afectar a un barrio y no alcanzar una estación situada a unos kilómetros. Una borrasca puede organizar el tiempo de una región extensa durante varios días. Una serie climática puede abarcar varias décadas. Estas escalas no son intercambiables. Cuando se pregunta si una previsión es correcta, hay que precisar la zona, el período y el fenómeno evaluado. Un anuncio de posibles chubascos en una provincia no afirma que vaya a llover en cada calle durante todo el día.

La escala espacial se refiere a la extensión del fenómeno y a la resolución de la información. La escala temporal se refiere a su duración, a la frecuencia de las observaciones y al horizonte de una previsión. Una medición puntual es una muestra del medio, no una copia de todo lo que ocurre alrededor. Una imagen de satélite cubre una gran superficie, pero no sustituye automáticamente una medición en tierra. Un registro horario puede pasar por alto una variación muy breve. Por eso los instrumentos se complementan: no observan exactamente los mismos objetos.

Escenario ficticio: dos estudiantes colocan un termómetro en un patio y otro junto a una pared soleada. El primero indica 21 grados y el segundo 29 grados. Concluyen que uno tiene que estar averiado. Esa conclusión va más allá de las observaciones. La radiación recibida, la ventilación, la proximidad de la pared y el tiempo de estabilización pueden explicar la diferencia. Para comparar los aparatos, primero hay que situarlos en condiciones comparables. La discrepancia entre dos cifras plantea aquí una cuestión de método antes de demostrar una avería.

3. Del instrumento al dato

Un sensor transforma una propiedad del medio en una señal que se puede leer o registrar. El termómetro mide su propia temperatura después de intercambiar energía con su entorno; se procura que esa temperatura represente adecuadamente la del aire. Un barómetro responde a la presión. Un pluviómetro recoge agua sobre una superficie conocida. Un anemómetro mide un movimiento local. Ninguno de estos aparatos describe directamente el conjunto de la atmósfera.

La resolución es el cambio más pequeño que un dispositivo muestra o distingue. La precisión de la pantalla no garantiza la exactitud. Un aparato que indique 20,137 grados puede tener un sesgo mayor que sus últimos dígitos visibles. La calibración compara el aparato con una referencia en condiciones determinadas. La incertidumbre expresa un conocimiento limitado del resultado; no significa que todas las mediciones sean inútiles. Hay que aprender a conservar únicamente las cifras y las conclusiones que el método permite realmente.

El sesgo desplaza los resultados de forma persistente en una dirección. Una variabilidad aleatoria puede producir diferencias en varias direcciones. Repetir una medición ayuda a examinar esa variabilidad, pero no elimina necesariamente un sesgo común. Diez registros obtenidos con un aparato mal expuesto pueden estar muy próximos entre sí y ser todos poco representativos del aire que se pretende medir. La repetición es útil cuando se sabe qué comprueba. No sustituye el control de las condiciones de medición.

4. La altura de lluvia como ejemplo de magnitud

La altura de precipitación corresponde a un volumen distribuido sobre una superficie. Un milímetro de agua sobre un metro cuadrado representa un litro. Se puede demostrar: un milímetro equivale a 0,001 metros; multiplicado por un metro cuadrado, da 0,001 metros cúbicos, es decir, un litro. El cálculo establece una equivalencia geométrica. No afirma que cada metro cuadrado de una región reciba exactamente la misma cantidad ni que toda el agua permanezca en el mismo lugar después de la lluvia.

En un escenario ficticio, una superficie horizontal de 4 metros cuadrados recibe uniformemente 7 milímetros. El volumen correspondiente es 4 × 7 = 28 litros. Si se trata de un tejado, todavía hay que distinguir la superficie de recogida pertinente, las pérdidas, los flujos y la capacidad del sistema. La cifra teórica no garantiza ningún volumen disponible. El mismo cuidado se aplica a la escorrentía: el suelo, las pendientes y las condiciones iniciales modifican la respuesta del terreno.

La intensidad media se calcula dividiendo una altura entre una duración. Doce milímetros en dos horas corresponden a una media de 6 milímetros por hora. Es posible que casi toda el agua haya caído en diez minutos. Por tanto, la media no reproduce el máximo instantáneo ni los efectos locales. Un boletín de seguridad debe leerse teniendo en cuenta la duración, la distribución y las posibles consecuencias, no solo el total.

5. Mediciones directas y observaciones indirectas

Una estación proporciona mediciones locales según su emplazamiento y sus sensores. Un globo de radiosondeo explora un perfil vertical mientras se desplaza. Un radar analiza señales reflejadas por partículas y produce estimaciones que requieren interpretación. Un satélite observa radiaciones; después se deducen ciertas propiedades del medio mediante métodos físicos. Observar indirectamente no significa inventar. Significa que hay que conocer la relación entre la señal recibida y la magnitud buscada.

Una imagen coloreada ya es una representación. Sus colores pueden corresponder a clases de valores y no a los colores que vería una persona. Leed siempre la leyenda, la hora de producción, la zona cubierta y la magnitud representada. Una imagen de nubes no basta para afirmar que llueve en el suelo. Un radar puede detectar precipitaciones en altura, parte de las cuales se evapora antes de alcanzar el terreno. La ausencia de una medición en una zona no demuestra la ausencia del fenómeno.

El Met Office recuerda en su presentación de las observaciones: «Meteorological observations are essential for understanding and predicting weather and climate.» Esta breve cita de once palabras sitúa la función de los datos; no afirma que un instrumento aislado lo prediga todo. Los ejemplos y razonamientos de este capítulo son originales. La referencia permite comprobar la distinción entre tipos de observación, sin reproducir las descripciones detalladas de sus redes ni sus valores operativos.

6. Datos ausentes y cambios de método

Una serie de registros a veces presenta lagunas. Sustituir un dato ausente por cero transforma la falta de información en una medición y falsea los resultados. Hay que conservar una indicación explícita de dato ausente. Si se estima un valor, esa estimación debe seguir distinguiéndose de una observación. En un cuaderno didáctico, es preferible una serie incompleta y honesta a otra rellenada con cifras imaginarias.

El traslado de una estación, un instrumento nuevo o una modificación del entorno pueden cambiar una serie. Para comparar el antes y el después, hay que distinguir la evolución atmosférica de la evolución de la medición. Eso no significa que las series largas carezcan de valor. Explica el trabajo de control necesario antes de una interpretación climática. Un patio rodeado progresivamente de edificios ya no representa exactamente el mismo entorno que un patio abierto.

Las estadísticas describen la serie disponible conforme a unas reglas elegidas. Una media puede ocultar los extremos; una mediana puede ocultar su importancia para una actividad expuesta al tiempo. Una frecuencia solo se puede interpretar si los fenómenos están definidos. Contar los días de lluvia exige un umbral y un período. Modificar el umbral a mitad de una comparación cambia el significado del resultado. La honestidad científica exige hacer visibles estas decisiones.

7. Una investigación didáctica original

Imaginad que deseáis comparar dos lugares: un jardín y una plaza pavimentada. La pregunta «¿dónde hace más calor?» debe precisarse. ¿Queréis comparar la temperatura del aire a la sombra, la de una superficie o una sensación percibida? No son tres nombres de una misma magnitud. Una superficie expuesta puede estar caliente mientras un sensor de aire debidamente protegido indica otro valor. La sensación depende además del viento, de la radiación y de factores individuales.

Un método razonable para un ejercicio escolar consiste en elegir una magnitud, utilizar instrumentos comparables, anotar la hora y las condiciones y repetir la comparación, sin pretender realizar un estudio climatológico completo. Los resultados deben presentarse como observaciones locales limitadas. Podéis formular una hipótesis sobre el papel de los materiales y la sombra, pero debéis reconocer los factores no controlados. Una hipótesis bien delimitada enseña más que una conclusión general sobre todas las ciudades.

El cuaderno puede incluir cuatro columnas: qué se observó, cómo se midió, cuál es la interpretación propuesta y qué sigue siendo incierto. Esta separación evita convertir inmediatamente una impresión en una explicación. Si anotáis «nube oscura», no sustituyáis automáticamente la observación por «tormenta inminente». Una interpretación posible debe conservar su condición de interpretación. Una actividad real exige información actualizada de los servicios competentes, incluso cuando el ejercicio se haya realizado correctamente.

8. Ejercicios progresivos y soluciones

Ejercicio 1 - Completar un dato. Un cuaderno indica «viento: 30». Citad la información que falta y proponed una línea ficticia completa.

Una posible solución: faltan, como mínimo, la unidad, el tipo de valor, la dirección si se mide, el lugar, la hora y el método. Una línea didáctica puede indicar «viento medio ficticio de 30 km/h, procedente del oeste, durante el período indicado por el aparato, en el punto A, a las 14 h». Esta línea no es una observación real. Muestra por qué un valor numérico aislado no permite una comparación rigurosa ni una decisión de seguridad.

Ejercicio 2 - Convertir una altura. Una superficie horizontal ficticia de 3 metros cuadrados recibe uniformemente 8 milímetros de lluvia. Calculad el volumen geométrico correspondiente y señalad dos limitaciones prácticas.

Solución: 1 milímetro sobre 1 metro cuadrado corresponde a 1 litro; por tanto, el volumen es 3 × 8 = 24 litros. La lluvia puede no ser uniforme; las pérdidas y los flujos pueden impedir una recogida completa. El cálculo no determina una cantidad de agua potable ni permite ninguna conclusión sanitaria. Las unidades y el significado del resultado deben acompañar la operación.

Ejercicio 3 - Examinar una media. Un chubasco aporta 15 milímetros en treinta minutos. ¿Qué intensidad media se obtiene en milímetros por hora? ¿Se puede deducir el máximo durante un minuto?

Solución: treinta minutos equivalen a media hora; 15 / 0,5 = 30 milímetros por hora. No se conoce el máximo de un minuto. Una distribución regular y una sucesión de variaciones intensas pueden tener la misma media. No transforméis una magnitud media en

una medición instantánea. Esta distinción es esencial para interpretar el efecto de una precipitación sobre un terreno.

Ejercicio 4 - Separar tiempo y clima. Una ciudad registra un día más frío que la media de un mes. Un comentario concluye que el clima no cambia. Analizad la inferencia sin estudiar aquí una serie climática real.

Solución: una observación diaria y una evolución estadística a largo plazo no corresponden a la misma escala. Pueden existir valores inferiores a una media en una distribución cuya media aumenta. Para estudiar la cuestión climática, hay que examinar una serie suficientemente larga y controlada. El ejercicio refuta la inferencia basada en un solo día; no calcula ninguna tendencia real ni sustituye un análisis especializado.

Ejercicio 5 - Diseñar una comparación. Dos termómetros muestran valores distintos. Proponed tres controles antes de declarar averiado uno de ellos y explicad después qué puede y qué no puede establecer una repetición.

Solución: comparad su exposición a la radiación, su ventilación y su tiempo de estabilización; examinad también su resolución y su referencia de calibración. Situarlos temporalmente en condiciones comparables puede ayudar a identificar una diferencia instrumental, siempre que se respete su modo de uso. La repetición aporta información sobre la variabilidad, pero no elimina automáticamente un sesgo común. La conclusión debe ser proporcional a los controles realizados.

9. Errores frecuentes y ficha de repaso

Entre los errores habituales están confundir el valor mostrado con el exacto, la temperatura de una superficie con la del aire, una racha con el viento medio y una imagen con una observación directamente interpretable. Otro error consiste en asignar cero a los datos ausentes. También aparecen conclusiones climáticas extraídas de un solo día y decisiones prácticas basadas en mapas antiguos. Estas confusiones se corrigen volviendo a la magnitud, la unidad, la escala y el método.

Ficha de repaso: un dato debe estar situado y fechado; una media no describe todos los extremos; una medición puntual no es un mapa completo; una observación indirecta necesita un modelo de interpretación. Un milímetro de agua sobre un metro cuadrado equivale a un litro. El clima describe distribuciones y su evolución; el tiempo describe situaciones atmosféricas a escalas más cortas. Toda previsión útil para una actividad real debe estar actualizada y adaptada a su territorio.

Para repasar, explicad por qué dos cifras diferentes pueden ser compatibles con dos mediciones correctamente realizadas. Construid después una situación en la que la diferencia revele realmente un problema instrumental. El objetivo no es defender todos los aparatos, sino comprender qué comprobaciones permiten llegar a una conclusión.

Fuentes y procedencia: NOAA, presentación física de la atmósfera, https://www.noaa.gov/jetstream/atmosphere ; Met Office, Types of observations, https://weather.metoffice.gov.uk/learn-about/how-forecasts-are-made/observations, breve cita anterior y distinción entre familias de observaciones. Páginas consultadas el 11 de octubre de 2026. Equivalencias de unidades, escenarios, ejercicios y soluciones redactados por LFDP. No se reproduce ningún mapa actual, previsión operativa, imagen ni serie de mediciones ajena.

CAPÍTULO 2 - TEMPERATURA Y ENERGÍA: RADIACIÓN, CONDUCCIÓN, CONVECCIÓN Y BALANCE

1. Temperatura y energía no son lo mismo

Una pequeña cantidad de agua caliente y un gran depósito templado pueden tener temperaturas distintas y almacenar cantidades de energía térmica muy diferentes. La temperatura describe un estado; la energía transferida describe lo que pasa de un sistema a otro o se transforma. Para razonar en meteorología, hay que precisar el sistema: una superficie de suelo, un volumen de aire, una capa de la atmósfera o el conjunto Tierra-atmósfera. Sin esa elección, se corre el riesgo de mezclar un intercambio local con un balance global.

El calor designa aquí una energía transferida debido a una diferencia de temperatura. No es una sustancia que el aire contenga como una botella contiene agua. A escala microscópica, la temperatura está relacionada con la agitación de los constituyentes; en nuestro curso se utilizan sobre todo relaciones entre mediciones macroscópicas. La temperatura en grados Celsius resulta adecuada para la vida cotidiana. Los cálculos físicos que incluyen una temperatura absoluta utilizan kelvin: T en kelvin = temperatura en grados Celsius + 273,15. Una variación de un kelvin corresponde a una variación de un grado Celsius.

Hay una diferencia esencial: pasar de 10 a 20 grados Celsius no significa duplicar la temperatura absoluta. Se pasa de 283,15 a 293,15 kelvin. Utilizar directamente los grados Celsius en una fórmula proporcional a la temperatura absoluta puede producir un error importante. Por tanto, elegir la unidad no es un detalle de presentación: forma parte del significado físico del cálculo.

2. Tres mecanismos de transferencia que conviene distinguir

La conducción transmite energía a través de la materia sin que sea necesario un desplazamiento global del medio. Así intercambian energía las regiones vecinas del suelo. La convección implica el movimiento de un fluido, por ejemplo, el aire que transporta energía de una zona a otra. La radiación transporta energía en forma electromagnética y puede atravesar el vacío. Estos mecanismos pueden actuar simultáneamente. No son tres causas que se excluyan en cuanto se identifica una de ellas.

En una escena ficticia, una losa recibe radiación solar, intercambia energía con el suelo situado debajo y calienta el aire que está en contacto con ella. Después, un movimiento de aire renueva ese contacto. La radiación explica una entrada energética; la conducción interviene en la materia; los desplazamientos del aire contribuyen al transporte. Si se limita a decir que el sol calienta, todavía no se sabe por qué evolucionan de modo distinto dos superficies vecinas ni por qué el viento modifica su temperatura.

La convección natural depende, entre otros factores, de las diferencias de densidad y de la estratificación del medio. Una porción de aire menos densa que su entorno puede ascender por flotabilidad. Eso no significa que todo el aire caliente ascienda indefinidamente ni que solo transporte su calor sin cambiar de estado. Intervienen la presión del entorno, las mezclas y las condiciones verticales. El capítulo sobre las nubes estudiará el enfriamiento asociado al ascenso, sin confundirlo con una simple pérdida de calor por contacto.

3. Absorber, reflejar y emitir

Cuando la radiación llega a una superficie, una parte puede reflejarse, otra absorberse y, en ocasiones, otra transmitirse. El albedo es una fracción reflejada definida para unas condiciones y un intervalo de radiación determinados. Un valor de 0,30 significa que se refleja el 30 % del flujo considerado. No significa que la superficie permanezca necesariamente fría: hay que examinar todo su balance y sus propiedades.

Un ejemplo numérico enteramente ficticio utiliza dos superficies que reciben, cada una, 500 vatios por metro cuadrado. La primera refleja el 20 % y absorbe, en este modelo sin transmisión, 400 vatios por metro cuadrado. La segunda refleja el 60 % y absorbe 200 vatios por metro cuadrado. La diferencia de absorción es de 200 vatios por metro cuadrado. Para concluir que existe una diferencia de temperatura, todavía hay que conocer su capacidad térmica, las pérdidas, el agua disponible y el entorno. La absorción no es por sí sola una temperatura.

Los objetos terrestres también emiten radiación térmica. Esta no desaparece de noche; es precisamente una de las razones por las que una superficie puede perder energía en ausencia del sol. La emisión depende de la temperatura y de las propiedades de la superficie. Un color visible no proporciona todas sus características en el infrarrojo. Por tanto, afirmar que un objeto oscuro emite siempre más en todos los intervalos sería demasiado general. Hay que distinguir la absorción de radiación solar de la emisión térmica.

4. Construir un balance en lugar de una explicación única

Un balance compara entradas, salidas y variación del almacenamiento. De forma simplificada, variación de energía = energía recibida menos energía cedida. Si las entradas superan las salidas, el sistema acumula energía; si son inferiores, la pierde. Este principio de contabilidad no proporciona todos los flujos: indica cómo relacionarlos cuando se dispone de mediciones o hipótesis.

La NASA utiliza la expresión «Energy leaves the surface» en su explicación del balance terrestre. Esta breve cita de cuatro palabras solo recuerda que hay que examinar las salidas además de las entradas. Aquí no se reproducen las cifras de sus ilustraciones. En nuestros modelos didácticos, los números son ficticios y los intercambios omitidos se indican expresamente. Este procedimiento evita presentar un ejercicio como si fuera una medición actual del sistema climático.

Escenario ficticio: una superficie recibe unas entradas totales de 420 vatios por metro cuadrado y cede unas salidas totales de 390 vatios por metro cuadrado durante diez minutos, suponiendo que sean constantes. El flujo neto es de +30 vatios por metro cuadrado. En 600 segundos, la acumulación es de 30 × 600 = 18 000 julios por metro cuadrado. No se puede convertir inmediatamente este resultado en grados sin conocer la masa afectada y su capacidad térmica, ni sin comprobar que no intervienen otras transformaciones.

5. Capacidad térmica e inercia

La capacidad térmica indica la energía necesaria para variar la temperatura de un sistema en las condiciones especificadas. Para una masa m de una sustancia cuyo calor específico c sea aproximadamente constante y sin cambio de estado, Q = m × c × variación de temperatura. Q se expresa en julios si m está en kilogramos, c en julios por kilogramo y kelvin, y la variación en kelvin. La fórmula describe un modelo limitado; no se aplica sin precauciones a una transformación que incluya evaporación o fusión.

En un ejercicio ficticio, se modelizan 2 kilogramos de agua con c = 4 200 julios por kilogramo y kelvin. Calentarlos 3 grados requiere Q = 2 × 4 200 × 3 = 25 200 julios, si se ignoran los demás intercambios. Una potencia neta constante de 100 vatios aportaría esa energía en 252 segundos. Este resultado es consecuencia de las hipótesis; no describe un aparato real, cuya potencia neta y cuyas pérdidas pueden cambiar.

La inercia térmica explica por qué un medio no responde instantáneamente a una variación del aporte. Un depósito importante puede seguir cediendo energía después de disminuir la radiación recibida. Dos materiales y dos espesores diferentes no tienen necesariamente la misma respuesta. Los océanos y los suelos contribuyen así a ritmos distintos, pero una frase general no basta para prever una temperatura local. También hay que estudiar los transportes y los cambios de estado.

6. Evaporación y energía latente

Un cambio de estado puede movilizar energía sin producir la variación de temperatura que predeciría la fórmula anterior. La evaporación necesita un aporte energético; la condensación libera energía al entorno. Esta energía participa en los intercambios atmosféricos. El término latente no significa mágico ni inaccesible: distingue una transferencia relacionada con el cambio de estado de un calentamiento sensible en el modelo utilizado.

Consideremos una superficie ficticia que recibe el mismo flujo neto disponible en dos condiciones. En la primera, el agua puede evaporarse; en la segunda, la superficie está seca y esa vía de transferencia se reduce. Las variaciones de temperatura pueden diferir porque la energía se reparte de manera distinta. No hay que deducir automáticamente una temperatura exacta a partir del mero carácter húmedo o seco. El viento, el suministro de agua y los demás intercambios modifican ese reparto.

Esta explicación permite comprender por qué observar la temperatura no basta para describir toda la energía intercambiada. Un sistema puede recibir energía y utilizar parte de ella en un cambio de estado. A la inversa, la formación de gotas va acompañada de una liberación de energía que influye en el medio. Por tanto, las nubes no son solo dibujos en el cielo: participan en transformaciones físicas que un modelo debe representar.

7. Equilibrio radiativo, clima y variabilidad local

Un equilibrio global a largo plazo significa que las entradas y las salidas medias se compensan aproximadamente. No impone una temperatura uniforme ni la ausencia de variaciones locales. Las regiones reciben y ceden cantidades diferentes; las circulaciones atmosféricas y oceánicas redistribuyen la energía. Que una superficie se caliente por la tarde no demuestra que todo el planeta acumule en ese instante una cantidad proporcional de energía.

Los gases y las nubes interactúan con la radiación según las longitudes de onda. El mecanismo del efecto invernadero atmosférico no debe equipararse por completo al de un invernadero de jardín, donde también se modifican otros intercambios. El término sigue siendo útil si se precisa que se trata de absorción y emisión radiativas en la atmósfera. Este capítulo no calcula ninguna proyección climática ni convierte el mecanismo en una explicación única del tiempo de mañana.

La nubosidad puede modificar los aportes solares y los intercambios infrarrojos. Su efecto neto depende de las condiciones; una regla según la cual las nubes siempre calientan o siempre enfrían sería inadecuada. Un mismo proceso puede tener consecuencias diferentes según el momento, la altitud, el espesor y los demás componentes del balance. Esta limitación invita a formular la pregunta adecuada, no a renunciar a las explicaciones físicas.

8. Ejercicios progresivos resueltos

Ejercicio 1 - Unidades. Convertid 12 grados Celsius a kelvin. ¿Una variación de temperatura de 4 grados Celsius corresponde a una variación de 277,15 kelvin?

Solución: 12 + 273,15 = 285,15 kelvin. Una variación de 4 grados Celsius corresponde a 4 kelvin, porque el desplazamiento entre escalas desaparece al calcular la diferencia. Sumar 273,15 a una variación sería un error. Distinguid el valor de una temperatura de la diferencia entre dos temperaturas antes de elegir la operación.

Ejercicio 2 - Albedo ficticio. Un flujo de 600 vatios por metro cuadrado llega a una superficie opaca cuyo albedo, para ese flujo, es de 0,25. Calculad las partes reflejada y absorbida. ¿Se puede deducir la temperatura?

Solución: la parte reflejada es 600 × 0,25 = 150 vatios por metro cuadrado; la parte absorbida es 450 vatios por metro cuadrado. La temperatura no queda determinada: faltan las salidas, la capacidad térmica y las transformaciones. Por tanto, incluso un cálculo numérico exacto puede proporcionar información parcial. Hay que nombrar esa información en lugar de atribuirle un alcance que no tiene.

Ejercicio 3 - Almacenamiento. Un sistema ficticio presenta un flujo neto de −20 vatios por metro cuadrado durante cinco minutos. Calculad su variación de energía por unidad de superficie e interpretad el signo.

Solución: cinco minutos equivalen a 300 segundos; −20 × 300 = −6 000 julios por metro cuadrado. El signo negativo indica una pérdida neta según el convenio establecido. No proporciona directamente un descenso de temperatura en grados. Un convenio de signos debe mantenerse durante todo el cálculo; el signo no es un adorno que se añade después del resultado.

Ejercicio 4 - Calentamiento simplificado. Un volumen de aire ficticio representa una masa de 3 kilogramos, con c supuestamente igual a 1 000 julios por kilogramo y kelvin. Recibe 9 000 julios sin otros intercambios ni cambios de masa. ¿Qué variación proporciona el

modelo? Citad dos razones por las que la atmósfera real es más compleja.

Solución: variación = Q / (m × c) = 9 000 / 3 000 = 3 kelvin, es decir, 3 grados Celsius. En la atmósfera, los desplazamientos y las mezclas cambian el sistema; también pueden intervenir la presión y las transformaciones del agua. El resultado es válido bajo las hipótesis, no como previsión local. Indicar cuáles faltan forma parte de la respuesta científica.

Ejercicio 5 - Argumentación. Una persona afirma que el viento no puede influir en una superficie soleada porque el sol sigue irradiando. Construid una respuesta utilizando un balance.

Una posible solución: la radiación describe una entrada, mientras que el viento puede modificar los intercambios con el aire y la evaporación. Una entrada que no cambia no impone un balance que tampoco cambie. Para prever la variación, habría que conocer todos los flujos. La respuesta no afirma que cualquier viento produzca siempre la misma consecuencia; identifica por qué el argumento inicial está incompleto.

9. Errores frecuentes y ficha de repaso

Los errores principales consisten en confundir temperatura y energía, flujo en vatios y energía en julios, temperatura absoluta y diferencia, absorción solar y emisión infrarroja. Otro error es explicar cualquier cambio mediante un solo mecanismo sin definir el sistema. Para corregiros, escribid las entradas, las salidas y el almacenamiento antes de calcular. Comprobad después las unidades y las hipótesis.

Ficha de repaso: conducción = transferencia en la materia; convección = transferencia asociada al movimiento de un fluido; radiación = transferencia electromagnética. Energía = potencia × duración cuando la potencia es constante. Un balance positivo

indica acumulación, no necesariamente un calentamiento que se pueda calcular directamente. Q = m × c × variación de temperatura exige un ámbito de aplicación. Una transformación del agua puede movilizar energía latente. El equilibrio medio global no elimina los contrastes ni las variaciones locales.

Fuentes y procedencia: NOAA, The Transfer of Heat Energy, https://www.noaa.gov/jetstream/atmosphere/transfer-of-heat-energy, comprobación de los tres mecanismos; NASA, Climate and Earth's Energy Budget, https://science.nasa.gov/earth/earth-observatory/climate-and-earths-energy-budget/, comprobación de la distinción entre flujo y balance, con la breve cita indicada. Consulta del 11 de octubre de 2026. No se reproduce ninguna cifra del balance terrestre ni ningún gráfico ajeno. Todos los valores de los ejercicios son ficticios y los desarrollos didácticos son originales de LFDP.

CAPÍTULO 3 - PRESIÓN, DENSIDAD Y VIENTO: GRADIENTES Y CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA

1. La presión como fuerza distribuida

La presión es una fuerza por unidad de superficie en la situación considerada. Su unidad SI es el pascal: un pascal corresponde a un newton por metro cuadrado. En meteorología resulta práctico el hectopascal: 1 hPa = 100 Pa. Por tanto, una diferencia de 6 hPa corresponde a 600 Pa. Esta conversión no cambia el fenómeno; cambia la unidad utilizada para describirlo. Un valor aislado sigue necesitando una altitud, una fecha y un método de medición.

A escala microscópica, los constituyentes de un gas se desplazan e interactúan con las superficies. A escala atmosférica, el peso de las capas situadas encima contribuye a la presión observada. Estas descripciones se complementan. La presión no actúa únicamente hacia abajo; el medio ejerce acciones en distintas direcciones. No hay que imaginar el aire como una pila inmóvil de placas sólidas. Es un fluido cuyos movimientos modifican la distribución de la masa.

En un ejercicio ficticio, una diferencia de presión de 500 Pa se aplica sobre una superficie de 0,2 metros cuadrados. El producto proporciona una fuerza de 100 newtons en el modelo. Este cálculo no describe automáticamente la fuerza que experimenta una persona o un edificio: habría que conocer las presiones a cada lado, las direcciones y la geometría. Una cifra calculada correctamente puede resultar engañosa si se cambia sin indicarlo el objeto al que se aplica.

2. Altitud y comparación de estaciones

La presión disminuye generalmente al ascender en la atmósfera, porque queda una cantidad menor de aire por encima. El descenso no sigue una pendiente universal constante a cualquier altitud. Intervienen la temperatura, la densidad y la estructura vertical. Una regla didáctica local no debe extrapolarse sin un ámbito de validez. Para comparar dos estaciones situadas a distintas alturas, hay que saber si los valores son presiones realmente medidas en la estación o valores reducidos convencionalmente a un mismo nivel.

Escenario ficticio: una estación en un valle indica 1 010 hPa y otra en una elevación indica 930 hPa. No se puede concluir inmediatamente que haya una borrasca local de 80 hPa sobre la cumbre. La diferencia de altitud puede explicar gran parte de la diferencia. Un mapa sinóptico utiliza convenios que permiten comparar lugares; para interpretarlos, se necesitan la leyenda y el método. Confundir el valor de la estación con el ajustado lleva a inventar gradientes.

El ajuste al nivel del mar no consiste en trasladar realmente el barómetro. Es un cálculo que depende de hipótesis físicas. Que sea calculado no lo hace inútil: proporciona una referencia común. Sin embargo, recuerda que un dato puede ser una medición bruta o una magnitud deducida. Un registro destinado a comprender la altura y otro destinado a comparar sistemas meteorológicos no responden exactamente a la misma pregunta.

3. Densidad, temperatura y composición

La densidad de masa, que suele llamarse simplemente densidad del aire, relaciona una masa con un volumen. Una densidad de 1,2 kilogramos por metro cúbico significa que el volumen estudiado contiene esa masa en las condiciones indicadas. Varía con la presión, la temperatura y la composición. El modelo de gas ideal relaciona estas magnitudes mediante una ecuación; para el aire seco en un ámbito adecuado, se escribe p = rho × R × T, con T en kelvin y una constante R apropiada.

A igual presión y composición, aumentar la temperatura reduce la densidad en este modelo. Hay que indicar cuáles son las condiciones iguales: calentar un gas en un recipiente rígido cerrado no reproduce una expansión a presión constante. Por tanto, una frase como «el aire caliente siempre es menos denso» carece de precisión si cambian las otras magnitudes. La meteorología utiliza comparaciones situadas, no un adjetivo que sustituya todas las condiciones.

Ejemplo original: dos porciones de aire seco se modelizan a la misma presión, una a 283 K y otra a 293 K. La relación entre sus densidades, rho caliente / rho frío, es 283 / 293, aproximadamente 0,966. Por tanto, la porción caliente es alrededor de un 3,4 % menos densa en este modelo. El cálculo no establece por sí solo una trayectoria vertical: faltan el entorno, las mezclas y las restricciones del movimiento. La humedad también introduce una diferencia de composición que el modelo de aire seco ignora.

4. El gradiente de presión

El gradiente describe la variación espacial de una magnitud y, en su forma vectorial, la dirección de su mayor aumento. En una primera aproximación, se puede comparar una diferencia de presión con una distancia. Dos zonas cercanas que presenten la misma diferencia de presión que dos zonas lejanas no producen la misma variación por unidad de longitud. Esa distribución, y no solo la cifra de un centro de bajas presiones, interviene en la aceleración del aire.

La fuerza del gradiente de presión empuja el aire hacia las presiones más bajas. Eso no significa que el viento real siga siempre una línea recta desde el máximo hasta el mínimo. En el sistema de referencia terrestre intervienen la rotación, el rozamiento, las curvaturas y los demás componentes del movimiento. Una primera explicación puede aislar una fuerza; se vuelve falsa cuando se presenta como si describiera toda la trayectoria real.

En un mapa, una isobara une puntos de igual presión según el convenio utilizado. Unas isobaras próximas pueden indicar un gradiente horizontal más intenso, siempre que el intervalo de trazado y la escala sean comparables. Comparar directamente dos mapas con intervalos diferentes puede inducir a error. Un mapa poco detallado no implica necesariamente una atmósfera sin contrastes. Antes de concluir, hay que leer la escala gráfica, la altitud representada y la hora.

5. Dos gradientes ficticios para calcular

En una primera situación, una diferencia de 8 hPa se extiende a lo largo de 400 kilómetros. Corresponde a 800 Pa en 400 000 metros, una media de 0,002 Pa por metro. En una segunda situación, la misma diferencia se extiende a lo largo de 100 kilómetros: 800 / 100 000 = 0,008 Pa por metro. El segundo gradiente medio es cuatro veces mayor. El cálculo compara dos distribuciones idealizadas, no dos previsiones de viento.

Si se reduce el movimiento a la acción del gradiente sobre aire de densidad uniforme rho, una estimación del orden de magnitud de la aceleración sería gradiente / rho. La expresión basta para comprobar la dimensión: Pa por metro dividido entre kilogramos por metro cúbico da metros por segundo al cuadrado. Sin embargo, el viento real no se puede obtener multiplicando esa aceleración constante por una duración arbitraria; las demás fuerzas y la evolución del gradiente impiden esa extrapolación.

Esta limitación ilustra una regla general de modelización. Una fórmula que describe un efecto instantáneo bajo determinadas hipótesis no proporciona automáticamente toda la evolución. Para prever un movimiento, se necesitan un estado inicial, relaciones compatibles y una evolución de las condiciones. Conocer un mecanismo es necesario, pero no sustituye toda la información que requiere una previsión.

6. Rotación terrestre y rozamiento

En el sistema de referencia de la Tierra, que está en rotación, el efecto de Coriolis interviene en la descripción de los movimientos a gran escala. Desvía los movimientos hacia su derecha en el hemisferio norte y hacia su izquierda en el hemisferio sur, según los convenios habituales para el movimiento horizontal. No es una fuerza que cree por sí sola viento a partir de aire inmóvil. Su importancia depende, entre otros factores, de la escala y la latitud; no es la misma para una circulación sinóptica que para un pequeño remolino junto a un obstáculo.

Lejos del suelo y bajo hipótesis adecuadas, puede establecerse un equilibrio aproximado entre el efecto de Coriolis y el gradiente de presión; el viento puede entonces tener una dirección próxima a la paralela a las isobaras. Cerca del suelo, el rozamiento modifica ese equilibrio y el movimiento puede cruzar más las isobaras. Estas descripciones son modelos para comprender, no reglas de navegación. El relieve, los edificios y las circulaciones locales pueden producir diferencias importantes.

El rozamiento y la rugosidad no hacen necesariamente que todo viento sea débil. Modifican las velocidades, las direcciones y las turbulencias. Un paso estrecho puede canalizar un flujo; un obstáculo puede crear variaciones locales. Por tanto, deducir seguridad práctica de un único valor medio sería inadecuado. Hay que buscar las rachas y las condiciones particulares de la actividad en la información actualizada.

7. Circulaciones globales y referencia histórica

La distribución desigual de la energía, la rotación terrestre y las propiedades de las superficies contribuyen a las circulaciones atmosféricas. Los esquemas de células globales ofrecen un modelo medio útil; no representan cada sistema en cada instante. Las estaciones y las diferencias entre continentes y océanos desplazan o modifican las estructuras. Un dibujo regular en un globo es una simplificación que debe interpretarse a su escala.

La NOAA recuerda que George Hadley propuso en 1735 una explicación de la circulación relacionada con las regiones ecuatoriales y los vientos. Esta referencia histórica muestra que un modelo puede organizar una pregunta y después desarrollarse y corregirse. No atribuye a un esquema antiguo el valor de una previsión actual. No se reproducen los detalles de esa historia ni las figuras de la NOAA; nuestro argumento trata de la diferencia entre un modelo de circulación y el estado observado.

Una borrasca no significa simplemente mal tiempo universal, ni un anticiclón garantiza buen tiempo. Los movimientos verticales, la humedad, la estación y las condiciones locales modifican los fenómenos asociados. Una situación de altas presiones puede ir acompañada de niebla o de otras condiciones que dificulten una actividad; un punto cercano a una baja presión puede conocer un período temporalmente tranquilo. Estas posibilidades invitan a leer un boletín completo, sin reducir toda la meteorología a un valor barométrico.

8. Ejercicios progresivos resueltos

Ejercicio 1 - Conversión. Convertid 1 005 hPa a pascales y después una diferencia de 3,5 hPa. ¿Por qué no deben intercambiarse la presión absoluta y una diferencia en un cálculo de fuerza neta?

Solución: 1 005 hPa = 100 500 Pa; 3,5 hPa = 350 Pa. Una acción neta sobre una superficie depende de las acciones a ambos lados y de su dirección. Utilizar una presión absoluta en lugar de la diferencia puede sobreestimar el resultado en un modelo donde ambos lados están sometidos a presiones próximas. Hay que identificar la magnitud pertinente antes de multiplicar.

Ejercicio 2 - Altitud. Dos estaciones situadas a distintas altitudes muestran presiones diferentes. ¿Qué información pedís antes de comparar la situación meteorológica?

Solución: altitud, presión medida en la estación o ajustada, convenio de ajuste, hora y calidad de las mediciones. Una diferencia bruta puede deberse principalmente a la altura. Para estudiar un gradiente horizontal se necesitarían datos comparables. Esta respuesta no calcula el ajuste; muestra por qué sería incorrecto inventarlo sin hipótesis.

Ejercicio 3 - Gradiente. Un mapa ficticio muestra una diferencia de 5 hPa en 250 kilómetros. Otro muestra 5 hPa en 50 kilómetros. Calculad los gradientes medios y su relación.

Solución: 500 Pa / 250 000 m = 0,002 Pa/m; 500 Pa / 50 000 m = 0,010 Pa/m. El segundo es cinco veces el primero. Estos valores no proporcionan directamente una velocidad del viento; faltan las demás fuerzas y las condiciones iniciales. La relación responde a la pregunta sin fabricar una previsión.

Ejercicio 4 - Densidad. A igual presión y composición, un modelo da T frío = 280 K y T caliente = 300 K. ¿Qué relación rho caliente / rho frío se obtiene? ¿Qué no permite concluir?

Solución: 280 / 300 = aproximadamente 0,933. La densidad del caso caliente es alrededor de un 6,7 % menor en este modelo. No se conocen la velocidad vertical, la duración de un ascenso ni las

mezclas. Comparar densidades puede contribuir a una explicación de la flotabilidad; no es un cálculo completo de la circulación.

Ejercicio 5 - Criticar una regla. Una persona afirma que las isobaras indican siempre con exactitud la dirección del viento en el suelo. Proponed una corrección argumentada.

Una posible solución: las isobaras describen la presión en un mapa; puede aparecer un viento aproximadamente paralelo bajo ciertas hipótesis a gran escala y lejos del rozamiento intenso del suelo. En el suelo, el rozamiento, el relieve, las curvaturas y las estructuras locales modifican la dirección. La palabra siempre supera el ámbito del modelo. Hay que conservar la utilidad del mapa sin transformarlo en una medición directa de cada viento local.

9. Errores frecuentes y ficha de repaso

Los errores habituales confunden presión y densidad, altitud y gradiente horizontal, centro de bajas presiones y velocidad del viento, viento medio y racha. Otros aplican un modelo a presión constante a un recipiente de volumen fijo o atribuyen cualquier remolino a Coriolis. Para corregiros, indicad el sistema, las condiciones que se mantienen y la escala. Una fórmula no debe utilizarse sin sus hipótesis.

Ficha de repaso: 1 hPa = 100 Pa; la presión en la estación depende de la altitud; un valor reducido a un nivel común se calcula. El gradiente compara una variación con una distancia. La fuerza del gradiente es solo un término de la dinámica. Coriolis, el rozamiento y el entorno modifican la trayectoria. Los esquemas globales describen estructuras medias y no proporcionan ninguna alerta actual.

Fuentes y procedencia: BIPM, Brochure du SI, https://www.bipm.org/en/publications/si-brochure, comprobación de las unidades; NOAA, Air Pressure,

https://www.noaa.gov/jetstream/atmosphere/air-pressure, referencias sobre presión y comparación de estaciones; NOAA, Global Atmospheric Circulations, https://www.noaa.gov/jetstream/global/global-atmospheric-circulations, referencia Hadley 1735. Páginas consultadas el 11 de octubre de 2026. No se reproduce ningún gráfico, consejo barométrico antiguo ni valor operativo. Cálculos y escenarios ficticios originales de LFDP.

CAPÍTULO 4 - AGUA ATMOSFÉRICA: VAPOR, SATURACIÓN, HUMEDAD RELATIVA Y PUNTO DE ROCÍO

1. Tres estados del agua, varias magnitudes

El agua atmosférica puede ser gaseosa, líquida o sólida. El vapor de agua es invisible; las gotitas y los cristales pueden hacer visible una nube. La cantidad de vapor y la presencia de una nube son, por tanto, dos informaciones diferentes. Un día sin nubes puede contener vapor; una nube puede existir sin producir precipitación en el suelo. Confundir estos objetos lleva a interpretar mal una medición de humedad.

La humedad absoluta expresa una masa de vapor por volumen, por ejemplo en gramos por metro cúbico. La humedad específica expresa una masa de vapor respecto a una masa de aire húmedo. La razón de mezcla relaciona esa masa con la del aire seco. Estas definiciones son próximas en algunos casos, pero sus denominadores son distintos. No hay que sustituir una magnitud por otra solo porque todas hablan de agua en el aire. La elección depende de la comparación que se busque.

La presión parcial de vapor, representada por e en nuestro modelo, describe la contribución de ese vapor a la presión de la mezcla gaseosa. La presión de vapor de saturación, representada por e_s(T), depende de la temperatura y de la elección de una referencia sobre agua líquida o hielo. La humedad relativa compara e con ese valor de referencia: HR = 100 × e / e_s(T). La fórmula muestra de inmediato por qué una humedad relativa no es simplemente una cantidad de vapor independiente de la temperatura.

2. La saturación no es una botella llena

Una imagen habitual dice que el aire caliente puede contener más agua. Esta imagen ayuda a recordar una tendencia, pero puede hacer creer que el aire es un recipiente con un número fijo de espacios. La saturación se refiere a un equilibrio entre fases y a la presión de vapor a una temperatura determinada. El comportamiento del agua no depende de una capacidad mecánica de almacenamiento semejante a la de una esponja. Por eso, en esta guía la imagen del recipiente se sustituye por una relación entre magnitudes físicas.

A una temperatura más alta, la presión de vapor de saturación sobre agua líquida es mayor. Si e permanece igual mientras e_s aumenta, su cociente disminuye. La humedad relativa puede, por tanto, bajar sin que se haya retirado la cantidad de vapor correspondiente. Sin embargo, hay que precisar el proceso supuesto: en una situación real, los intercambios de agua, de volumen y de presión también pueden modificar e. Una relación entre dos magnitudes no permite olvidar las transformaciones del sistema.

La saturación no garantiza por sí sola la lluvia. La NOAA lo recuerda con esta breve formulación: « does NOT necessarily mean that precipitation will occur ». Este pasaje de ocho palabras se refiere al vínculo entre saturación y precipitación; no anuncia ninguna situación actual. Para que una precipitación se forme y alcance el suelo intervienen otros procesos de crecimiento y transporte. Su estudio corresponde al capítulo siguiente.

3. Un cálculo original con temperatura variable

Nuestro primer modelo didáctico fija una presión parcial e = 1,2 kPa. Utiliza dos valores de referencia redondeados elegidos para el ejercicio: e_s = 2,4 kPa en el estado A y e_s = 4,0 kPa en el estado B, correspondiente a un estado más cálido. En A, HR = 100 × 1,2 / 2,4 = 50 %. En B, HR = 100 × 1,2 / 4,0 = 30 %. La presión parcial se ha mantenido idéntica por hipótesis, pero el valor relativo ha cambiado.

Estos números no constituyen una tabla operativa ni un registro real. Sirven para aislar el papel del denominador. Si alguien afirma que necesariamente hay menos vapor en B porque 30 es inferior a 50, ha olvidado que las referencias no son idénticas. Comparar porcentajes exige siempre conocer aquello a lo que se refieren. El mismo error aparece en muchas estadísticas cotidianas.

Un segundo modelo compara dos lugares ficticios. El lugar C presenta e = 0,8 kPa y e_s = 1,0 kPa, es decir, 80 %. El lugar D presenta e = 1,6 kPa y e_s = 4,0 kPa, es decir, 40 %. D tiene una presión parcial de vapor superior a pesar de su humedad relativa inferior. De estos datos por sí solos no se deduce una sensación individual, una temperatura superficial ni una decisión de salud. El cálculo demuestra únicamente la distinción entre la magnitud absoluta elegida y la proporción relativa.

4. El punto de rocío

El punto de rocío es la temperatura a la que el enfriamiento del aire, en las condiciones especificadas, lleva a la saturación sobre agua líquida. Relaciona, por tanto, el vapor presente con la temperatura de saturación correspondiente. Cuando la temperatura del aire está cerca del punto de rocío, la distancia a esa saturación es pequeña. Esto no establece automáticamente una visibilidad determinada ni una hora de formación de niebla.

En un modelo ficticio, una porción de aire se enfría sin perder vapor antes de la saturación y manteniendo la presión. Si el valor de referencia e_s alcanza e, HR llega al 100 %. Un enfriamiento adicional puede provocar condensación en condiciones adecuadas. Esta frase no describe toda la evolución de una masa de aire real: la mezcla, el transporte, las superficies y los intercambios de agua pueden modificar el recorrido. Un punto de rocío medido no es un pronóstico autónomo.

El punto de escarcha corresponde a una referencia de saturación sobre hielo. A determinadas temperaturas, las referencias sobre agua y sobre hielo difieren. Esta precisión evita presentar el 100 % como una frontera universal única sin indicar el medio de referencia. Para un primer aprendizaje, recordad sobre todo que una definición física debe precisar sus condiciones. Los fenómenos más específicos de microfísica requieren después modelos más detallados.

5. Enfriamiento, aporte de vapor y mezcla

Varios procesos pueden acercar el aire a la saturación. El enfriamiento reduce el valor de referencia; el aporte de vapor aumenta e; la mezcla de porciones de aire puede producir una situación cuyo estado final depende de los intercambios y del balance. No hay que atribuir todas las nieblas a un único mecanismo. Las formaciones vinculadas al enfriamiento nocturno y otras vinculadas al desplazamiento del aire no tienen las mismas condiciones.

Escenario ficticio: una superficie se enfría durante una noche y el aire próximo cambia de temperatura. La humedad relativa aumenta en nuestro modelo si el vapor no disminuye lo suficiente para compensarlo. Esto no obliga a toda la región a cubrirse de niebla: la ventilación, el perfil vertical y las superficies cuentan. Una observación local puede ser compatible con varias

evoluciones. Para una actividad real, hay que consultar un pronóstico y las mediciones actualizadas de visibilidad.

Otro escenario: un volumen de aire interior y un volumen exterior tienen temperaturas y humedades diferentes. Su simple media aritmética en porcentaje no da necesariamente la humedad relativa de la mezcla. Los porcentajes se refieren a temperaturas distintas; primero hay que conservar las magnitudes físicas y los balances pertinentes. Este punto explica por qué un cálculo atractivo puede ser falso aunque sus operaciones estén correctamente realizadas.

6. Medir la humedad sin confundir la pantalla con el fenómeno

Un higrómetro puede proporcionar una humedad relativa según su tecnología y sus condiciones de uso. Un resultado depende del sensor, de su temperatura, de su exposición y de su tiempo de respuesta. Un valor mostrado justo después de trasladarlo entre dos ambientes no está necesariamente estabilizado. Hay que consultar las instrucciones del instrumento y conservar la incertidumbre pertinente. Esta guía no permite convertir un sensor de aficionado en un dispositivo de control sanitario.

Las unidades deben ser coherentes en una fórmula. Si e se da en pascales y e_s en kilopascales, hay que convertir antes de dividir. El resultado del cociente es adimensional y el factor 100 lo expresa en porcentaje. Una humedad relativa de 0,65 en forma de fracción corresponde al 65 %, no al 0,65 %. Los errores de factor pueden producirse incluso antes de cualquier discusión física.

Un dato de humedad debería ir acompañado de una temperatura, un lugar y un instante. Para comparar dos días, también puede ser útil examinar el punto de rocío o una medida apropiada de cantidad de vapor. Ningún indicador único describe todos los

efectos posibles del ambiente. La medición debe elegirse en función de la pregunta, no porque esté disponible en la pantalla.

7. Ideas contrapuestas que conviene examinar

Primera idea: una humedad relativa elevada significa necesariamente mucho vapor. Nuestro segundo cálculo muestra el límite de esta afirmación. Dos valores relativos solo se pueden comparar como cantidades si se conocen las referencias pertinentes. La reformulación correcta debe precisar la temperatura y la magnitud utilizada para describir el vapor.

Segunda idea: cuando el aire está saturado, la lluvia es segura. La saturación establece un estado local respecto a una referencia, no una precipitación completa. Intervienen la nube, el crecimiento de las partículas, las corrientes y el recorrido hasta el suelo. Hay que distinguir entre una condición que puede contribuir a un fenómeno y una condición suficiente para obtener todo el resultado.

Tercera idea: un indicador de confort describe una seguridad universal. Una información sobre humedad y temperatura puede ayudar a comprender un ambiente, pero la situación de una persona también depende de su actividad y de numerosos factores. Esta guía no realiza ninguna evaluación médica individual. Las instrucciones sanitarias y los consejos profesionales deben mantenerse separados de los ejercicios de física atmosférica. Una frontera clara mejora la utilidad del curso en vez de reducirla.

8. Ejercicios progresivos resueltos

Ejercicio 1 - Cociente y unidades. Un modelo proporciona e = 900 Pa y e_s = 1,8 kPa. Calculad HR y nombrad la conversión necesaria.

Solución: 1,8 kPa = 1 800 Pa; HR = 100 × 900 / 1 800 = 50 %. Dividir directamente 900 entre 1,8 sin armonizar las unidades produciría un resultado absurdo. El control del orden de magnitud completa el cálculo: en el modelo, e es la mitad de la referencia, por lo que el resultado esperado es la mitad del 100 %.

Ejercicio 2 - Calentamiento ficticio. Una porción de aire conserva e = 1,0 kPa. La referencia pasa de 2,0 a 2,5 kPa. Calculad las dos humedades relativas. ¿Qué afirmación sobre el vapor no está justificada?

Solución: 50 % y después 40 %. Aquí la bajada del porcentaje no demuestra una disminución de e, puesto que se ha mantenido constante. También hay que evitar convertir este modelo en una regla para cualquier calentamiento real: si el sistema intercambia agua o cambian otras condiciones, e puede variar. Las hipótesis forman parte del resultado.

Ejercicio 3 - Comparar dos lugares. En un lugar ficticio, e = 0,6 kPa y e_s = 0,8 kPa; en el otro, e = 1,2 kPa y e_s = 3,0 kPa. ¿Qué lugar tiene la HR más alta? ¿Cuál presenta la e más alta?

Solución: el primero presenta un 75 % y el segundo un 40 %. Sin embargo, la presión parcial de vapor es más alta en el segundo. Esta divergencia es precisamente el objeto del ejercicio. No requiere ningún juicio sobre una sensación ni sobre un peligro. Una buena respuesta conserva el nombre de la magnitud en lugar de decir vagamente que uno es más húmedo.

Ejercicio 4 - Punto de rocío. Una medición ficticia indica una temperatura del aire de 14 grados y un punto de rocío de 13 grados. Otra indica 24 grados y un punto de rocío de 13 grados. ¿Qué se puede comparar y qué no se puede anunciar?

Solución: el primer estado presenta una diferencia menor entre la temperatura y el punto de rocío, por lo que está más cerca de la

saturación en las condiciones de la definición. No se puede anunciar una hora de lluvia ni una visibilidad precisa. Harían falta una evolución, un lugar y otras informaciones. Los números sirven para una comparación conceptual, no para un pronóstico real.

Ejercicio 5 - Argumentación. Una persona calcula la humedad de una mezcla haciendo la media del 20 % y del 80 %, sin ningún otro dato. Explicad por qué el 50 % no es necesariamente la respuesta correcta.

Solución: los porcentajes pueden referirse a temperaturas, presiones y masas diferentes. Su media no conserva directamente una cantidad física de vapor ni un balance energético. Hay que precisar las masas, los estados iniciales y el método de mezcla. En algunos casos particulares, una media puede coincidir con el resultado; esa coincidencia no justifica el método general.

Ejercicio 6 - Leer una conclusión. «El sensor indica un 100 %, por lo tanto va a empezar a llover». Reformulad la única información obtenida y proponed dos informaciones adicionales pertinentes.

Solución: el sensor indica una humedad relativa correspondiente a la saturación en sus condiciones de medición, con sus límites y su referencia. Se pueden buscar informaciones sobre el perfil vertical, las nubes y la evolución atmosférica; para una decisión real, sigue siendo necesario un boletín actualizado. El ejercicio no ofrece ningún procedimiento de pronóstico de aficionado con resultados garantizados.

9. Errores frecuentes y ficha de repaso

Los errores habituales son creer que se ve el vapor, confundir HR con la probabilidad de lluvia, comparar porcentajes sin temperatura, promediar referencias diferentes e ignorar el tiempo de respuesta de un sensor. Otro error asocia saturación con precipitación segura. Para corregirlos, escribid la magnitud, su unidad y su denominador antes de interpretar.

Ficha de repaso: vapor invisible; gotitas y cristales distintos; HR = 100 × e / e_s(T); punto de rocío = temperatura de saturación obtenida según las condiciones indicadas. Un porcentaje puede cambiar sin disminución de e. La saturación no es lluvia garantizada. Una medición local no sustituye ni un pronóstico fechado ni una instrucción de seguridad actual. Los ejemplos numéricos siguen siendo modelos, no una tabla para utilizar en una actividad expuesta.

Fuentes y procedencia: NOAA/NWS, Discussion on Humidity, https://www.weather.gov/lmk/humidity, comprobación de la relación entre temperatura, humedad relativa y saturación, breve cita señalada; NOAA/NWS, Dew Point vs Humidity, https://www.weather.gov/arx/why_dewpoint_vs_humidity, comprobación de la definición del punto de rocío. Consulta del 11 de octubre de 2026. No se reproduce ninguna tabla de confort, dato actual ni serie de mediciones de terceros. Análisis de cocientes, ejemplos y soluciones originales de LFDP.

CAPÍTULO 5 - NUBES Y PRECIPITACIONES: CONDENSACIÓN, CRISTALES Y MICROFÍSICA SIMPLIFICADA

1. Una nube visible no es un bloque de vapor

Una nube visible reúne pequeñas gotitas de agua, cristales de hielo o ambos según sus condiciones. El vapor sigue siendo una fase gaseosa invisible. Esta distinción explica por qué la visibilidad de una nube no da directamente la cantidad total de vapor de la atmósfera. Las partículas dispersan la luz; su tamaño, su número, el espesor del medio y la iluminación modifican su apariencia. Una nube oscura no está simplemente llena de una sustancia más negra.

La condensación transforma el vapor en agua líquida; la deposición sobre hielo transforma el vapor en sólido. La congelación transforma el líquido en hielo y la fusión realiza el recorrido inverso. Estas palabras designan procesos distintos, con intercambios energéticos. No las sustituyáis todas por el término enfriamiento. Una bajada de temperatura puede contribuir a un proceso, pero hay que examinar las condiciones de saturación y las fases presentes.

La microfísica estudia las transformaciones e interacciones a escala de las partículas. Nuestra guía propone una comprensión simplificada de ellas. No proporciona una simulación completa de una nube ni un método de pronóstico local. Se pueden conocer mecanismos generales mientras la cantidad exacta de una precipitación sigue siendo incierta. La distinción entre explicar un proceso y prever su resultado continúa siendo esencial.

2. Ascenso y enfriamiento

Cuando una porción de aire asciende hacia una presión ambiental más baja, puede expandirse. En un modelo de ascenso sin intercambio térmico externo, llamado adiabático, esta expansión va acompañada de un enfriamiento. Por tanto, no es necesario suponer que un objeto frío toca el aire para explicar cualquier bajada de temperatura. Sin embargo, el modelo depende de determinadas condiciones: la mezcla, la radiación y las transformaciones del agua pueden modificar la situación real.

Si el aire se enfría suficientemente en relación con el vapor presente, puede alcanzar la saturación y después formar partículas en condiciones adecuadas. La energía liberada por los cambios de estado modifica la variación de temperatura; un ascenso saturado no sigue exactamente el mismo modelo que un ascenso de aire no saturado. La diferencia depende de las condiciones y no se resume en una tasa universal válida para todas las nubes.

Ejemplo ficticio: para un ejercicio imponemos una bajada de 8 grados en un kilómetro en un primer recorrido y de 5 grados en un kilómetro en un segundo. Una temperatura inicial de 20 grados daría respectivamente 12 y 15 grados después de ese desplazamiento en los modelos. Estas tasas son parámetros didácticos, no valores para prever un vuelo ni una excursión. El resultado muestra únicamente por qué hipótesis distintas producen evoluciones diferentes.

3. Núcleos y aparición de las partículas

Las partículas presentes en la atmósfera pueden facilitar la formación de gotitas o de hielo. Sus propiedades y su tamaño cuentan. Por eso, la formación de una nube no debe representarse como una transformación instantánea de todo el vapor en cuanto un porcentaje alcanza exactamente 100 en una pantalla. El proceso se desarrolla en un medio cuyas condiciones varían y cuyas partículas tienen comportamientos diferentes.

Una gotita puede existir a una temperatura inferior a cero grados sin haberse congelado inmediatamente: se habla entonces de agua subfundida. Esto no significa que la definición de cero grados sea falsa; muestra que el estado de un sistema también depende de la formación de la fase sólida y de las condiciones. Las nubes que contienen a la vez agua líquida y hielo pueden presentar procesos de crecimiento particulares. Estos fenómenos exigen algo más que una regla basada solo en la temperatura.

El agua, los aerosoles y la dinámica interactúan. Modificar un número de partículas puede cambiar una distribución de tamaños sin producir una consecuencia idéntica en todas las situaciones. Una afirmación general según la cual más partículas producen siempre más lluvia sería excesiva. Hay que examinar los mecanismos y el ámbito estudiado. El capítulo conserva este límite en lugar de convertir una idea de microfísica en una receta de modificación meteorológica.

4. Crecer hasta convertirse en precipitación

Las pequeñas gotitas no se convierten automáticamente en gotas grandes. La condensación aumenta su tamaño; las colisiones pueden permitir una coalescencia, es decir, una unión de gotitas. Los tamaños distintos y los movimientos relativos influyen en los encuentros. Los procesos en los que interviene el hielo también pueden contribuir al crecimiento. La diversidad de mecanismos explica que un mismo nombre de nube no baste para determinar una cantidad total de precipitación.

Una demostración geométrica original ayuda a comprender las escalas. El volumen de una esfera es proporcional al cubo de su radio. Duplicar el radio multiplica el volumen por ocho. Para construir una partícula de radio diez veces mayor a partir de partículas idénticas, sin pérdidas y conservando el volumen, harían falta mil volúmenes iniciales. El cálculo no explica la velocidad de formación real; muestra por qué unos pocos encuentros no siempre bastan para cambiar considerablemente de escala.

La caída de una partícula depende de las fuerzas, de su forma, del medio y de los movimientos del aire. Una partícula puede descender respecto al aire y al mismo tiempo permanecer momentáneamente sostenida por una corriente ascendente. Por eso sería engañoso decir que toda gota cae en cuanto tiene peso. Las gotitas ya tienen masa; lo que cambia es su movimiento en un medio. La precipitación observada en el suelo resulta de un recorrido, no solo de una aparición en altura.

5. El recorrido cambia lo que llega al suelo

Una partícula sólida puede fundirse en una capa más cálida; una gota puede encontrar una capa fría y permanecer temporalmente líquida o cambiar de estado. Perfiles verticales distintos producen resultados diferentes en el suelo. Una temperatura medida cerca de una puerta no describe todas las capas atravesadas. Hay que evitar predecir el tipo de precipitación a partir de un único número sin un perfil ni una evolución.

La nieve presenta formas y densidades variadas. Una altura de nieve y una altura de agua equivalente no son intercambiables mediante una relación fija universal. Un manto también puede compactarse y cambiar después de su formación. En un ejercicio de volumen hay que indicar una densidad o una equivalencia elegida. Para una decisión real en montaña, este curso no sustituye ningún boletín especializado ni el conocimiento del terreno.

Una precipitación puede evaporarse antes de alcanzar el suelo. Se puede ver una estela bajo una nube sin recibir lluvia en el punto de observación. Un radar puede detectar partículas sobre una zona; interpretar la cantidad en el suelo requiere correcciones y otras informaciones. No confundáis la ausencia de gotas en vuestra mano con la ausencia de precipitación en toda la columna atmosférica.

6. Clasificar las nubes sin pretender prever todo el tiempo meteorológico

El Atlas Internacional de Nubes de la Organización Meteorológica Mundial distingue diez géneros: cirrus, cirrocumulus, cirrostratus, altocumulus, altostratus, nimbostratus, stratocumulus, stratus, cumulus y cumulonimbus. Esta nomenclatura permite una descripción común. No constituye diez pronósticos automáticos. Las especies, variedades y particularidades completan la descripción, pero no es necesario recitar toda la clasificación para comprender el límite entre observación y anticipación.

Las formas filamentosas, en capa o en cúmulos dan referencias visuales; la altitud y el desarrollo vertical aportan otras informaciones. Una base y una cima no se encuentran necesariamente en el mismo nivel. Los intervalos habituales varían según las regiones. Una silueta vista a través de una ventana puede seguir siendo ambigua; es preferible conservar esa incertidumbre a inventar una identificación precisa.

La OMM sitúa el origen del sistema de nombres latinos en los trabajos de Luke Howard en 1803. Esta referencia histórica muestra el interés de una descripción que se pueda compartir en una disciplina basada en la observación. No da a las denominaciones una propiedad mágica de pronóstico. Aquí no se reproducen las fotografías ni las tablas del Atlas; las situaciones de la guía siguen siendo creaciones didácticas.

7. Dos escenas originales de interpretación

Primera escena ficticia: un grupo ve nubes en cúmulos cuyo desarrollo aumenta a lo largo de la mañana. Una persona anuncia inmediatamente una hora de tormenta. Otra anota la forma y busca un boletín actualizado. La segunda actitud distingue observación y pronóstico. El desarrollo puede constituir un indicio pertinente, pero la hora, el lugar y la intensidad no quedan determinados por esa sola observación. Una decisión que implique exposición necesita las informaciones oficiales apropiadas.

Segunda escena: una estación no recoge lluvia mientras un radar muestra una señal sobre la zona. Son posibles varias explicaciones: precipitación en altura que no alcanza el suelo, diferencia de hora o de localización, límites del instrumento o de la representación. Hay que leer los metadatos antes de declarar una contradicción. El procedimiento no afirma que toda imagen de radar sea correcta; organiza las comprobaciones.

Una idea contrapuesta sostiene que conocer el género de una nube basta para prever el tiempo. Reconoce un vínculo entre estructuras y procesos, pero va más allá de la información disponible. Otra idea dice que, como la identificación puede ser difícil, las observaciones de nubes son inútiles. Ignora su contribución a la descripción del ambiente. Una posición razonable reconoce una utilidad limitada y rechaza una promesa excesiva.

8. Ejercicios progresivos resueltos

Ejercicio 1 - Estados y transformaciones. Distinguid vapor, gotita y cristal; después nombrad el paso de vapor a líquido y el de líquido a sólido.

Solución: vapor = estado gaseoso invisible; gotita = agua líquida; cristal = estado sólido. El paso de vapor a líquido es la condensación; el de líquido a sólido es la congelación. Una

descripción precisa no sustituye estas transformaciones por la sola palabra enfriamiento. Intervienen condiciones energéticas y de formación, incluso cuando la temperatura ayuda a comprender el proceso.

Ejercicio 2 - Volumen. Una partícula esférica ficticia tiene un radio triple del de otra de la misma materia. ¿Cuál es la relación entre sus volúmenes? ¿Cuántos volúmenes pequeños corresponden al grande en un modelo sin pérdidas?

Solución: 3 al cubo = 27. Se necesitan veintisiete volúmenes iniciales para igualar el volumen grande. Esta equivalencia geométrica no proporciona un número de colisiones reales ni un tiempo de crecimiento. Solo conserva el volumen en el modelo. Una respuesta científica debe indicar este alcance.

Ejercicio 3 - Ascenso en un modelo. Con una tasa impuesta de bajada de 7 grados por kilómetro, una porción de aire ficticia asciende 500 metros desde 18 grados. ¿Qué resultado se obtiene? ¿Se puede utilizar este único cálculo para prever una nube real?

Solución: 500 metros = 0,5 kilómetros; la bajada es de 7 × 0,5 = 3,5 grados; la temperatura del modelo pasa a ser de 14,5 grados. Para una nube real faltan, entre otras cosas, la humedad, la evolución de las tasas, las mezclas y la dinámica. La tasa era una hipótesis del ejercicio. No se convierte en una medición atmosférica porque el cálculo sea exacto.

Ejercicio 4 - Agua equivalente ficticia. Un ejercicio impone que un depósito de nieve cubra 2 metros cuadrados con una altura de 0,10 metros y una densidad de 100 kilogramos por metro cúbico. Calculad su volumen, su masa y la altura de agua líquida correspondiente suponiendo que el agua tiene una densidad de 1 000 kilogramos por metro cúbico.

Solución: volumen = 2 × 0,10 = 0,20 metros cúbicos; masa = 0,20 × 100 = 20 kilogramos. El volumen de agua es de 20 / 1 000 = 0,020 metros cúbicos; repartido sobre 2 metros cuadrados, da 0,010 metros, es decir, 10 milímetros. La relación procede de la densidad impuesta; no se aplica automáticamente a toda nieve. No se proporciona ningún balance real de un manto de nieve.

Ejercicio 5 - Señal y observación. Una señal de radar y un pluviómetro parecen contradecirse. Proponed cuatro comprobaciones antes de elegir una conclusión.

Solución posible: comparar horas, zonas, altitudes observadas y magnitud representada; comprobar también los límites de los instrumentos. El radar puede observar partículas en altura y el pluviómetro una cantidad en el suelo durante un periodo. Dos resultados pueden ser compatibles porque se refieren a objetos diferentes. Si las condiciones son realmente comparables, sigue siendo posible un error y hay que examinarlo.

Ejercicio 6 - Pronóstico abusivo. Corregid la frase «Esta nube es un cumulonimbus, por lo tanto un rayo caerá en nuestro emplazamiento dentro de diez minutos», sin minimizar un posible peligro.

Solución: la identificación puede indicar una situación que hay que tomar en serio, pero no proporciona una trayectoria exacta ni un plazo garantizado. Hay que consultar las informaciones actualizadas y aplicar las instrucciones de protección apropiadas en lugar de intentar demostrar un minuto preciso. El capítulo 7 trata las tormentas; ningún ejercicio sirve de justificación para prolongar una exposición real.

9. Errores frecuentes y ficha de repaso

Los errores habituales son creer que se ve el vapor, confundir condensación y congelación, asociar cero grados con una transformación instantánea universal, deducir la lluvia de un nombre de nube y utilizar una relación fija entre nieve y agua. Otra confusión equipara una señal en altura con una cantidad medida en el suelo. Para corregirlos, seguid la partícula, sus fases, su medio y la magnitud observada.

Ficha de repaso: una nube contiene partículas visibles; el ascenso puede enfriar por expansión; los cambios de estado influyen en la energía; el crecimiento no se reduce a la aparición. El volumen esférico varía como el cubo del radio. El recorrido vertical transforma a veces el tipo o la cantidad que llega al suelo. Una clasificación describe; no garantiza ninguna hora de precipitación ni la seguridad sobre el terreno.

Fuentes y procedencia: OMM, Atlas Internacional de Nubes, Géneros, https://cloudatlas.wmo.int/en/principles-of-cloud-classification-genera.html ; OMM, Classifying clouds, https://public.wmo.int/world-meteorological-day-2017/classifying-clouds, referencia a Howard en 1803; NOAA/NWS, Discussion on Humidity, https://www.weather.gov/lmk/humidity, distinción entre saturación y precipitación y referencia al crecimiento. Consulta del 11 de octubre de 2026. Los cálculos, personajes e interpretaciones de casos son originales de LFDP. No se reproduce ninguna imagen del Atlas ni ningún pronóstico actual.

CAPÍTULO 6 - FRENTES Y MASAS DE AIRE: EVOLUCIÓN, RELIEVE Y SITUACIONES LOCALES

1. Pasar de una medición local a una organización de la atmósfera

Un termómetro indica una temperatura en un lugar; no describe por sí solo el aire que se desplaza sobre una región. Para relacionar las observaciones se utiliza, entre otros conceptos, el de masa de aire: un conjunto extenso cuyas propiedades de temperatura y humedad presentan cierta coherencia. Esta coherencia sigue siendo relativa. Una masa de aire no es un bloque rígido, completamente uniforme y cerrado a los intercambios; se transforma a lo largo de su desplazamiento.

Una región de origen contribuye a sus propiedades y después el recorrido sobre el mar o la tierra las modifica. Las expresiones marítima, continental, polar o tropical sirven para describir características y una historia general. No dan directamente la temperatura de un barrio a una hora precisa. La estación del año, el relieve, la duración del recorrido y los intercambios con la superficie pueden cambiar las condiciones observadas. Hay que evitar tratar el nombre de una masa de aire como un boletín local completo.

El objetivo del capítulo es comprender cómo una zona de transición y un relieve pueden organizar los cambios. Utilizaremos esquemas descritos con palabras y números ficticios. No permiten prever el paso real de un frente hoy. Para una decisión al aire libre siguen siendo necesarios un mapa fechado, un pronóstico local y los mensajes oficiales actuales. Comprender los mecanismos mejora la lectura de estas informaciones; no las sustituye.

2. Un frente es una transición, no un muro

Un frente separa masas de aire con propiedades contrastadas. En un mapa de superficie se representa mediante una línea convencional, mientras que la transición posee una extensión y una estructura verticales. Por tanto, la línea constituye una simplificación. No significa que todos los parámetros cambien exactamente en el mismo instante ni que la lluvia se limite a su trazado.

Las palabras frío y cálido son relativas a las masas de aire comparadas. Un aire calificado de frío puede ser cálido según nuestras costumbres si sustituye a un aire todavía más cálido. El vocabulario indica sobre todo la organización del contraste y del desplazamiento. Esta precisión es importante cuando un mapa de verano parece mostrar un frente frío en una región donde las temperaturas siguen siendo altas.

Una metáfora útil, aunque limitada, consiste en comparar un mapa con una sección de tela que se hubiera aplanado. La línea señala una organización que no se ve enteramente en la superficie. Sin embargo, sería engañoso imaginar una frontera fija e impermeable entre dos objetos. Los movimientos, los intercambios y las mezclas forman parte de la situación. Leer el mapa exige, por tanto, relacionar los símbolos con las observaciones y con la hora de validez indicada.

3. Frente frío, frente cálido, frente estacionario y oclusión

Un frente frío marca el avance de aire relativamente frío que sustituye a aire más cálido cerca del suelo. Un frente cálido marca la sustitución inversa. Los movimientos verticales asociados pueden favorecer la formación de nubes y precipitaciones, pero su intensidad depende de la humedad, de la estabilidad y de otras condiciones. Por tanto, un nombre de frente no impone una cantidad de lluvia idéntica en todas las situaciones.

En los mapas convencionales habituales, los triángulos señalan un frente frío y los semicírculos un frente cálido; el lado en el que aparecen indica el sentido representado del desplazamiento. Un frente estacionario utiliza una alternancia de signos a uno y otro lado. Una oclusión se representa mediante una alternancia de triángulos y semicírculos en el mismo lado. Sin embargo, hay que leer la leyenda del servicio que proporciona el mapa: los colores por sí solos no bastan, especialmente en una reproducción en blanco y negro o para un lector que distingue mal algunos colores.

Una oclusión se refiere a una organización en la que el aire cálido se eleva y ya no ocupa el mismo lugar cerca del suelo entre las masas más frías. No debe presentarse como una desaparición instantánea de todas las nubes ni como el final garantizado de una perturbación. El sistema puede seguir evolucionando. Por su parte, la palabra estacionario significa que la posición del frente cambia poco en la representación considerada, no que la atmósfera deje de moverse.

Aquí nos limitaremos a la lectura de las categorías. La estructura real de un sistema frontal exige observaciones en altura y herramientas que esta guía no proporciona. Buscar una correspondencia demasiado sencilla entre un símbolo y el tiempo percibido haría perder la distinción entre modelo explicativo, análisis de un mapa y pronóstico.

4. Por qué los cambios no siguen todos la línea de superficie

El viento, la temperatura, la presión y las precipitaciones no tienen necesariamente transiciones idénticas. Una nube puede aparecer antes de que el contraste térmico se mida en el suelo; una zona de lluvia puede extenderse más allá del trazado frontal. Una estación también está influida por su emplazamiento. Por tanto, pasar de una zona organizada a una serie de mediciones locales requiere una interpretación, no una lectura mecánica del símbolo.

Un ejemplo original utiliza tres estaciones ficticias, A, B y C, separadas por cuarenta kilómetros. Un mapa didáctico muestra un desplazamiento general del oeste hacia el este. En A se mide una bajada de temperatura al mediodía; en B se mide más tarde; en C empieza un chubasco antes de esa bajada. Estas indicaciones son compatibles con una evolución organizada, pero no bastan para reconstruir toda su estructura. Se desconocen, entre otras cosas, los efectos locales y la precisión de las mediciones.

Para razonar, separad lo que se da de lo que se supone. Los horarios medidos son datos ficticios del ejercicio. La regularidad del desplazamiento es una hipótesis simplificadora. La afirmación de que la misma secuencia llegará a una cuarta estación sería un pronóstico que exigiría información adicional. Esta clasificación impide convertir una ilustración escolar en una regla de desplazamiento aplicable a un acontecimiento real.

También se puede plantear una pregunta de causalidad: ¿el chubasco provoca el cambio de temperatura o varios procesos contribuyen a las dos observaciones? Una simple sucesión cronológica no permite decidir. Las precipitaciones y sus efectos pueden modificar localmente la temperatura; la llegada de una masa de aire diferente también puede intervenir. Una buena explicación conserva varios mecanismos compatibles en lugar de elegir el primer vínculo que viene a la mente.

5. El relieve organiza diferencias locales

Cuando un flujo encuentra un relieve, el aire puede ser conducido hacia una altitud mayor. Su expansión y su enfriamiento pueden favorecer la saturación si su humedad lo permite. Esta situación contribuye a explicar algunas diferencias entre laderas. No significa que llueva en cada montaña en cuanto sopla un viento ni que una ladera protegida permanezca siempre seca.

El relieve también modifica el flujo: un collado, un valle o una pendiente no reciben necesariamente el mismo viento que la estación de llanura más cercana. Algunas diferencias son más pequeñas que las celdas de un modelo de pronóstico. El Met Office subraya en sus trabajos sobre orografía la necesidad de representar los efectos de las montañas en los modelos. Nuestro objetivo no es proporcionar una corrección personal universal, sino comprender por qué un pronóstico regional puede tener límites locales.

Un ejemplo original compara dos lugares ficticios situados a uno y otro lado de un macizo. La estación de barlovento indica nubes persistentes y lluvia; la estación de sotavento informa de claros. La presencia del relieve hace plausible una diferencia, pero no permite atribuir automáticamente toda la discrepancia solo al ascenso. También deben examinarse la altitud, la hora, el instrumento y la situación general. Una explicación satisfactoria relaciona indicios; no convierte un único factor en causa exclusiva.

Resulta tentador crear una regla como añadir un número fijo de kilómetros por hora al viento en cuanto se asciende. Esa regla no se justifica por el solo concepto de relieve. Los efectos dependen de la orientación, de la estabilidad y de la estructura del flujo. Para una excursión, una actividad en altura o una instalación expuesta, consultad una información apropiada para el lugar y la actividad, no solo el valor de una ciudad cercana.

6. Una sección didáctica y un cálculo limitado

Imaginemos una línea de transición ficticia situada a ciento veinte kilómetros de un punto y que se desplaza, únicamente en el ejercicio, a treinta kilómetros por hora hacia él. Si la velocidad y la dirección permanecen constantes, la duración geométrica es la distancia dividida por la velocidad, es decir, cuatro horas. Las unidades se simplifican: kilómetros divididos por kilómetros por hora dan horas. El cálculo es coherente con sus hipótesis.

Este resultado no constituye una hora real de llegada de la lluvia. La posición representada puede ser incierta, la velocidad puede variar y las precipitaciones pueden estar desplazadas respecto a la línea. También cuenta la proyección de la velocidad hacia el punto: un desplazamiento oblicuo no se trata como un desplazamiento directo hacia el lugar. Las cuatro horas expresan únicamente lo que producen los números del escenario simplificado.

Añadamos un intervalo ficticio de velocidades de veinte a cuarenta kilómetros por hora, conservando una distancia y una dirección fijas. Las duraciones pasan a ser de seis horas y tres horas. Se obtiene un intervalo de escenarios geométricos, no un intervalo probabilístico validado mediante observaciones. Nada permite afirmar que la duración real tenga una determinada probabilidad de encontrarse entre esos valores. Un intervalo de cálculos y un pronóstico probabilístico no son lo mismo.

Esta distinción se retomará en los capítulos dedicados a los modelos y a las probabilidades. Ya proporciona una regla de lectura útil: una operación exacta puede basarse en hipótesis demasiado simplificadas para orientar una decisión. La precisión aritmética no elimina la incertidumbre de los datos ni del modelo.

7. Una referencia histórica comprobada

La ficha histórica del Met Office vincula la representación moderna de los frentes con la escuela de Bergen y describe una propuesta de símbolos monocromos de Tor Bergeron en 1924. Retenemos esta referencia limitada: los triángulos y los semicírculos permiten comunicar una distinción sin depender únicamente del color. No se trata de afirmar que todas las herramientas contemporáneas ya existieran en su forma actual.

Esta historia muestra un problema común a las ciencias: representar debe permitir comprender, comparar y transmitir. Un símbolo puede seguir siendo útil aunque simplifique considerablemente el objeto. El aprendizaje consiste en conocer su función y su límite. No hay que tomarlo por la propia atmósfera ni rechazarlo porque no muestre todas sus propiedades.

8. Ejercicios progresivos resueltos

Ejercicio 1. Un mapa presenta un frente frío aunque la temperatura después de su paso ficticio es de veintiocho grados. ¿Es una contradicción?

Solución. No necesariamente. Aquí frío describe un contraste entre masas de aire, no una temperatura universal que un observador juzgue fría. Faltan la temperatura del aire sustituido y el contexto. El error sería convertir un calificativo relativo en un umbral absoluto. Esta respuesta no permite ninguna conclusión sobre el tiempo actual en una región.

Ejercicio 2. Una línea frontal ficticia está a noventa kilómetros y avanza directamente hacia un lugar a quince kilómetros por hora. Calculad la duración simplificada y después dad tres razones para no anunciar la hora exacta de la lluvia.

Solución. La duración es noventa dividido por quince, es decir, seis horas. El desplazamiento puede cambiar, la posición inicial puede ser incierta y la lluvia puede encontrarse delante o detrás de la línea. Se podrían añadir la dirección y los efectos locales. El cálculo responde a una pregunta geométrica condicional; no constituye un boletín operativo.

Ejercicio 3. Dos municipios cercanos tienen observaciones diferentes. Proponed un procedimiento que no concluya inmediatamente que hay un error de medición.

Solución. Comprobad primero las horas, los emplazamientos y los instrumentos. Examinad después la altitud, la exposición y la proximidad de un relieve o de un litoral. Comparad estos datos con una información regional fechada. Una diferencia puede ser real, instrumental o estar relacionada con las condiciones de comparación. El procedimiento organiza las hipótesis antes de elegir una explicación.

Ejercicio 4. Un compañero afirma que una oclusión significa buen tiempo inmediato y que un frente estacionario significa ausencia de viento. Corregid estas dos proposiciones.

Solución. La oclusión describe una organización de masas de aire y un ascenso; no garantiza la desaparición de las nubes ni de las precipitaciones. Estacionario se refiere a la posición del frente, no a la interrupción de todo flujo. Las dos frases atribuyen a una categoría cartográfica una consecuencia que su definición no contiene.

9. Errores frecuentes y ficha de repaso

No confundáis una línea de un mapa con una frontera vertical rígida. No interpretéis frío y cálido como umbrales fijos. No identifiquéis una velocidad de desplazamiento con la hora de la lluvia. No trasladéis un valor de llanura a una ladera sin información adecuada. Por último, un mapa sin fecha o sin leyenda puede convertirse en un documento didáctico, pero no debe servir como prueba de la situación actual.

Para repasar, definid masa de aire, frente frío, frente cálido, estacionario y oclusión. Explicad por qué un desplazamiento sobre una superficie modifica propiedades. Describid el posible papel del relieve sin prometer un resultado. Retomad el cálculo de distancia entre velocidad enunciando cada hipótesis. Terminad distinguiendo medición, interpretación y pronóstico: estas tres operaciones están relacionadas, pero sus resultados no tienen el mismo alcance.

10. Fuentes primarias y ampliaciones

NOAA, How to read Surface Weather Maps, definiciones y convenciones: https://www.noaa.gov/jetstream/wxmaps Met Office, Weather fronts: https://weather.metoffice.gov.uk/learn-about/weather/atmosphere/weather-fronts Met Office, Rain, ascenso frontal y orográfico: https://weather.metoffice.gov.uk/learn-about/weather/types-of-weather/rain Met Office, Orographic processes, dificultades de representación del relieve: https://www.metoffice.gov.uk/research/foundation/parametrizations/orography Met Office, Factsheet 10, Air masses and weather fronts, en particular la sección histórica «A brief history»: https://www.metoffice.gov.uk/binaries/content/assets/metofficegovuk/pdf/research/library-and-archive/library/publications/factsheets/factsheet_10-air-masses-and-weather-fronts_2023.pdf Fuentes comprobadas el 11 de octubre de 2026. No se reproduce ningún esquema ni tabla de los editores; los ejemplos, cálculos y ejercicios son originales y ficticios. Este capítulo no proporciona ninguna información meteorológica actual.

CAPÍTULO 7 - TORMENTAS, RAYOS Y FENÓMENOS VIOLENTOS: MECANISMOS Y LÍMITES DEL PRONÓSTICO

1. Una formación organizada, peligros distintos

Una tormenta asocia una actividad eléctrica a una nube convectiva desarrollada. Los rayos, las precipitaciones fuertes, el granizo y las rachas pueden constituir peligros distintos dentro de una misma situación. No hay que esperar a que aparezcan todos para reconocer un riesgo. La ausencia de lluvia en el lugar donde nos encontramos no demuestra una ausencia de peligro relacionado con una tormenta cercana.

La convección es un movimiento que transporta, entre otras cosas, energía y materia. En una atmósfera favorable, el aire puede ascender, enfriarse, formar nubes y participar en una organización más profunda. Intervienen la humedad, la estabilidad y un mecanismo de desencadenamiento. Pero disponer de ciertos ingredientes favorables no permite anunciar automáticamente la formación de una tormenta en un lugar y en un minuto precisos.

Este capítulo sirve para comprender las palabras empleadas en un boletín y reconocer los límites de una interpretación personal. No forma para perseguir tormentas, no proporciona ninguna alerta actual y no sustituye ninguna instrucción oficial. Los ejemplos son ficticios. Toda observación didáctica se realiza desde una situación segura; ningún ejercicio pide acercarse a una tormenta ni permanecer fuera para tomar una medida.

2. Corrientes ascendentes y descendentes

Una célula convectiva contiene movimientos de aire. Una corriente ascendente alimenta su desarrollo; las precipitaciones y los procesos de enfriamiento pueden participar en movimientos descendentes. En su explicación de la fase madura, la NOAA indica « updrafts and downdrafts coexist », es decir, la coexistencia de corrientes ascendentes y descendentes. Esta breve referencia subraya que una tormenta desarrollada no es solo una columna de aire que asciende.

El enfriamiento y las precipitaciones pueden favorecer un flujo descendente que se extiende cerca del suelo. Este funcionamiento contribuye a explicar rachas que a veces se producen lejos de la zona de lluvia más visible. Una fotografía no refleja todos los movimientos. Por tanto, la parte espectacular de una nube y la zona más pertinente para una decisión no son necesariamente las mismas.

Hay que conservar la distinción entre un esquema de una célula y un sistema real. Varias células pueden formarse, fusionarse o renovarse; una organización duradera puede continuar mientras una célula particular se debilita. La duración didáctica de una célula no constituye un temporizador de seguridad. No se puede anunciar que un peligro habrá terminado después de un número fijo de minutos porque un curso presente una sucesión de fases.

Un modelo explicativo es útil cuando muestra las relaciones entre alimentación, desarrollo y evolución. Se vuelve engañoso si se extrae de él un calendario exacto sin una observación actualizada. Esta diferencia volverá a aparecer en los capítulos sobre pronóstico numérico y decisión.

3. Relámpago, rayo y trueno

Los movimientos y las interacciones entre partículas dentro de la nube contribuyen a la separación de las cargas eléctricas. Una descarga puede producirse dentro de una nube, entre nubes o entre la atmósfera y el suelo. La luz visible corresponde al relámpago; el trueno es el sonido asociado al calentamiento muy rápido del aire y a su expansión. Ver el relámpago antes de oír el trueno se explica principalmente por la diferencia de velocidad de propagación de la luz y del sonido.

La descripción científica no permite identificar con certeza el siguiente punto de impacto. Una persona puede ver actividad lejana sin disponer de una información completa sobre todas las descargas. Las cifras espectaculares de temperatura o tensión que a veces se citan no proporcionan un método de protección personal. Comprender un fenómeno y poder controlar su aparición son dos capacidades distintas.

Un cálculo de distancia a partir de un intervalo temporal puede ilustrar la propagación del sonido, pero no define una zona exterior sin peligro. El National Weather Service recuerda que oír un trueno señala una situación que puede exponer a rayos. Por eso, esta guía no propone ningún umbral personal de espera al aire libre. Las instrucciones oficiales para ponerse a cubierto tienen prioridad sobre el deseo de terminar una observación.

4. Granizo, lluvia intensa y rachas no se deducen de una sola imagen

El granizo se desarrolla, entre otros procesos, por la acumulación de hielo alrededor de partículas en las corrientes de una tormenta. Las gotitas pueden permanecer líquidas por debajo de cero grados antes de congelarse al entrar en contacto. El crecimiento, la suspensión y la caída dependen de condiciones que no se pueden leer en un simple color del cielo. Una capa de hielo observada en el suelo no basta para reconstruir todo el recorrido de un granizo.

Una lluvia fuerte puede concentrar rápidamente agua sobre una superficie. Sus efectos dependen de la duración, del suelo, de la pendiente, del drenaje y del flujo aguas arriba. Una cantidad media sobre una región no describe necesariamente el acumulado recibido por un barrio. Del mismo modo, una racha es una variación breve del viento; no se confunde con la media indicada durante un periodo.

En un ejemplo original, dos lugares ficticios reciben el mismo acumulado de lluvia en una hora. El primero dispone de un drenaje funcional; el segundo se encuentra al pie de una pendiente y también recibe escorrentía. Las consecuencias pueden diferir aunque la cifra de lluvia local sea idéntica. Este caso muestra por qué un riesgo no depende solo de la medición atmosférica, sino también de la exposición y del entorno.

Sería peligroso deducir de este caso una capacidad para atravesar una zona inundada estimando su profundidad. El ejercicio explica una diferencia de efectos; no proporciona ninguna validación para pasar. Una carretera, un puente o un terreno pueden estar dañados de forma invisible. Los cierres y las instrucciones de las autoridades tienen prioridad sobre un análisis personal a distancia.

5. Tornados y otros fenómenos: no simplificar una causalidad compleja

Un tornado es una columna de aire con una intensa rotación que conecta una nube convectiva con el suelo. No todas las células tormentosas lo producen. Los mecanismos dependen de una organización compleja de los movimientos, en particular de las variaciones del viento con la altitud y de procesos propios de la célula. El National Weather Service subraya que el encuentro de masas de aire, presentado por sí solo, es una explicación demasiado simplificada de su formación.

Esta constatación no significa que todo conocimiento sea inútil. Se pueden identificar condiciones favorables y los sistemas de vigilancia pueden proporcionar alertas. Pero la capacidad para prever un entorno favorable y la capacidad para anunciar un fenómeno muy local con una localización y una intensidad exactas no son idénticas. La incertidumbre a pequeña escala no elimina la necesidad de seguir un mensaje de protección.

Un error frecuente consiste en discutir largamente el nombre preciso de un fenómeno antes de aplicar una instrucción. Para una persona expuesta, el peligro anunciado, la acción solicitada y el lugar afectado son prioritarios. La clasificación científica se podrá estudiar después. Esta guía no ofrece ningún ejercicio de identificación sobre el terreno ni solicita ninguna fotografía de cerca.

6. Un cálculo didáctico sobre la propagación

En un escenario ficticio estudiado a partir de una grabación, un intervalo de seis segundos separa la luz y el sonido. Tomemos una velocidad del sonido simplificada de trescientos cuarenta metros por segundo y despreciemos el tiempo de propagación de la luz a esta escala. El producto es de dos mil cuarenta metros, es decir, unos dos kilómetros. El redondeo es apropiado para las hipótesis: anunciar dos kilómetros y cuarenta metros como una medida exacta sería excesivo.

Añadamos una incertidumbre didáctica de un segundo sobre el intervalo. Con cinco segundos, el cálculo da mil setecientos metros; con siete segundos, dos mil trescientos ochenta metros. La variación muestra que la incertidumbre del cronometraje influye en el resultado. También se puede examinar el efecto de una velocidad supuesta diferente, porque la propagación depende de las condiciones del medio. El objetivo consiste en relacionar medida, hipótesis y resultado, no en evaluar una distancia de protección.

¿Por qué el cálculo no basta para decidir quedarse fuera? Se refiere a un acontecimiento ya ocurrido, no al siguiente. Simplifica el recorrido del sonido y las condiciones atmosféricas. No describe la extensión completa del sistema ni todos los posibles puntos de impacto. Por último, esperar para calcular puede retrasar la puesta a cubierto. El valor escolar de una operación y su pertinencia para la seguridad deben evaluarse por separado.

Un trabajo de clase puede utilizar un archivo sonoro y un vídeo autorizados o un escenario enteramente escrito. Nunca debe pedir que se obtenga personalmente la secuencia durante una situación peligrosa. La curiosidad científica puede ejercerse sin crear la exposición que pretende comprender.

7. Dos escenarios de lectura de un boletín

Primer escenario original: una salida ficticia debe realizarse cerca de un edificio adecuado, mientras un boletín actual, dentro del ejercicio, anuncia un riesgo de tormentas en el sector. El grupo conoce un lugar de refugio, pero no sabe cuánto tiempo haría falta para llevar allí a todos los participantes. La pregunta prioritaria no consiste en predecir visualmente la hora exacta. Hay que comprobar las instrucciones aplicables, el tiempo necesario para actuar y la posibilidad de aplazar la actividad.

Segundo escenario: un organizador ficticio observa un claro y quiere considerar que un sistema ha terminado. Sin embargo, las informaciones fechadas del ejercicio siguen indicando actividad en el sector. El claro local es una observación, no una confirmación suficiente del final del peligro. Una decisión debe integrar la vigilancia actual y las reglas del lugar. La guía no proporciona ningún plazo universal para reanudar la actividad; las recomendaciones oficiales y los responsables competentes deben determinar la actuación.

Estas situaciones muestran una asimetría importante. Para empezar a protegerse no es necesario conocer perfectamente cada mecanismo. Para anunciar que el peligro ha desaparecido, una simple impresión no basta. Reconocer esta asimetría evita convertir la incertidumbre científica en pretexto para la inacción o para una reanudación prematura.

8. Ejercicios progresivos resueltos

Ejercicio 1. Distinguid relámpago, trueno y rayo en un párrafo breve. Explicad por qué percibirlos no permite calcular el siguiente punto de impacto.

Solución. El relámpago es la manifestación luminosa de una descarga; el trueno es su efecto sonoro; la palabra rayo designa

habitualmente una descarga entre la atmósfera y el suelo. Un acontecimiento percibido informa sobre lo que ha ocurrido, con límites de observación. No da las condiciones exactas de todas las descargas futuras. Por tanto, hay que seguir las instrucciones de protección en lugar de convertir esa percepción en una garantía.

Ejercicio 2. En una grabación ficticia, el intervalo es de nueve segundos. Utilizad la velocidad simplificada de trescientos cuarenta metros por segundo y después explicad la precisión apropiada.

Solución. El producto es de tres mil sesenta metros. Se puede decir aproximadamente tres kilómetros teniendo en cuenta las hipótesis y un cronometraje limitado. La multiplicación es exacta para los números elegidos, pero la distancia física no tiene necesariamente esa exactitud. Este resultado no define una distancia exterior sin peligro.

Ejercicio 3. Una célula visible se debilita y un alumno concluye que todo el sistema tormentoso ha terminado. ¿Qué información falta?

Solución. Faltan el estado de las otras células, la posibilidad de renovación y las informaciones actualizadas del sector. Un sistema puede contener varias organizaciones cuyas evoluciones difieren. La observación de una célula no basta para concluir sobre el conjunto. La solución no predice que el sistema se renovará; muestra que la conclusión no está establecida.

Ejercicio 4. Un boletín ficticio anuncia posibles rachas fuertes sin indicar el punto exacto que las recibirá. ¿Es inutilizable? Proponed un razonamiento.

Solución. La ausencia de una localización exacta no elimina toda información. La posibilidad de rachas en un sector puede hacer vulnerable una actividad o una instalación y justificar una medida prevista por instrucciones adecuadas. La decisión depende de la

exposición, de las alternativas y de la autoridad competente. No se puede utilizar la incertidumbre para demostrar que el lugar elegido quedará a salvo.

9. Errores frecuentes y ficha de repaso

No convirtáis un esquema de una célula en una duración garantizada. No confundáis ausencia de lluvia con ausencia de rayos. No presentéis una distancia calculada después de un relámpago como un umbral de protección. No reduzcáis un tornado a un encuentro de masas de aire. Por último, una fotografía espectacular o una impresión de calma no sustituyen ni una información fechada ni las instrucciones actuales.

Para repasar, relacionad corriente ascendente, corriente descendente, precipitaciones y rachas sin suponer una secuencia siempre idéntica. Distinguid los peligros de un mismo sistema. Explicad por qué un cálculo exacto puede ser inadecuado para una decisión de seguridad. Proponed, por último, una observación didáctica sin exposición: trabajar con un registro grabado y autorizado suele ser más útil que intentar producir personalmente una medida peligrosa.

10. Fuentes primarias y ampliaciones

NOAA, Life Cycle of a Thunderstorm, breve referencia a los movimientos: https://www.noaa.gov/jetstream/thunderstorms/life-cycle-of-thunderstorm National Weather Service, Understanding Lightning Science: https://www.weather.gov/safety/lightning-science-overview NOAA, Thunderstorm Hazards - Hail: https://www.noaa.gov/jetstream/hail NOAA, Types of Thunderstorms: https://www.noaa.gov/jetstream/tstrmtypes National Weather Service, Tornadoes FAQ, límites de la explicación y del pronóstico: https://www.weather.gov/lmk/tornadoesfaq National Weather Service, Lightning Safety: https://www.weather.gov/safety/lightning-safety Fuentes comprobadas el 11 de octubre de 2026. La cita inglesa tiene cuatro palabras; no se reproduce ninguna ilustración, estadística de víctimas ni tabla de rendimiento. Los cálculos y los escenarios son originales. No se proporciona ninguna alerta actual ni actuación médica.

CAPÍTULO 8 - Pronóstico numérico: condiciones iniciales, modelos y conjuntos de escenarios

1. Prever significa calcular una evolución a partir de un estado estimado

Un pronóstico meteorológico describe posibles estados futuros de la atmósfera. No consiste ni en prolongar mecánicamente el tiempo observado ayer ni en reconocer únicamente una forma de nube. Combina observaciones, leyes físicas, métodos numéricos y conocimiento experto. El resultado tiene un plazo, una zona, variables y límites. Un pronóstico de temperatura cerca del suelo para mañana no responde directamente a una pregunta sobre una racha en una cresta dentro de tres horas.

Una condición inicial es el estado a partir del cual comienza un cálculo. Para la atmósfera, ese estado comprende, entre otras cosas, temperatura, humedad, presión y movimiento del aire en numerosos puntos y a varios niveles. Lo ideal sería conocer estas magnitudes en todas partes al mismo tiempo. Sin embargo, las observaciones siguen estando dispersas, son inciertas y a veces faltan. Un satélite, una estación y un globo no miden exactamente las mismas cosas, en los mismos lugares y a las mismas horas.

La asimilación de datos construye una estimación coherente de ese estado. Contrasta observaciones controladas con una estimación previa, a menudo procedente de un pronóstico reciente. Por tanto, una medición nueva no sustituye automáticamente todo el campo calculado. Intervienen su precisión, su representatividad y su coherencia. Si un termómetro mide cerca de una pared calentada, el número puede ser correcto para ese punto sin representar toda una celda del modelo.

En la descripción institucional del ECMWF, este análisis sirve como punto de partida para los pronósticos siguientes; tanto las observaciones como los modelos tienen incertidumbres. Retened la lógica general: observar, controlar, comparar, ajustar y después hacer evolucionar. Este resumen didáctico no describe todos los métodos operativos. La asimilación no es ni una media simple de todos los números disponibles ni un medio para conocer perfectamente el presente.

2. Una representación discreta de un medio continuo

Un modelo numérico es una representación calculable de algunos procesos. El modelo atmosférico organiza ecuaciones, datos y aproximaciones. Una celda representa una porción del espacio. Un paso de tiempo es el intervalo entre dos etapas del cálculo. El aire real no se desplaza por casillas y a saltos: esta organización sirve para calcular, no para definir la realidad.

La resolución indica el grado de detalle de esta representación. Una malla más fina puede distinguir mejor un relieve o algunos movimientos, pero no hace que todos los fenómenos sean directamente calculables. Un pequeño remolino, una gota o una calle suelen seguir siendo más pequeños que una celda. Por eso, algunos efectos deben representarse mediante relaciones simplificadas, llamadas parametrizaciones. Una parametrización no es un número arbitrario: expresa un efecto no resuelto a la escala utilizada, con hipótesis que hay que evaluar.

Imaginemos una región cuadrada dividida en diez casillas en cada dirección horizontal: cuenta con cien casillas. Duplicar ese número en cada una de las dos direcciones da cuatrocientas casillas, es decir, cuatro veces más. Si el detalle vertical también se duplica, el número de volúmenes pasa a ser ocho veces mayor. Esta experiencia geométrica no predice la duración exacta de un

cálculo: el paso de tiempo, las comunicaciones entre máquinas y el método numérico añaden otros costes.

Una resolución fina no asegura un buen pronóstico si el estado inicial es incorrecto, si los procesos están mal representados o si el resultado se interpreta de forma equivocada. Un dibujo muy detallado puede dar una impresión engañosa de certeza. Hay que distinguir detalle espacial, exactitud y fiabilidad: estas cualidades están relacionadas, pero ninguna sustituye automáticamente a las otras.

3. Comprender una etapa numérica con un ejemplo controlado

Consideremos un modelo ficticio de enfriamiento. Un objeto tiene una temperatura T, mientras el ambiente permanece a 10 °C. Suponemos que su velocidad de enfriamiento es proporcional a la diferencia T − 10, con un coeficiente k = 0,25 por hora. Este modelo no representa ni una nube ni la temperatura futura de una ciudad. Sirve únicamente para comprender el paso de una relación continua a un cálculo por etapas.

Para un paso h expresado en horas, utilicemos la regla T siguiente = T actual − k × h × (T actual − 10). El producto k × h es adimensional. La diferencia térmica es una diferencia de temperaturas: su valor numérico es el mismo en grados Celsius y en kelvin. A partir de 18 °C y con h = 1 hora, el primer resultado es 18 − 0,25 × 8 = 16 °C. Después de una segunda etapa, es 16 − 0,25 × 6 = 14,5 °C.

Repitamos el cálculo con h = 0,5 horas. Se obtiene sucesivamente 17; 16,125; 15,359375; y después 14,689453125 °C al cabo de dos horas. Los dos métodos aplican la misma relación de partida, pero aproximan su evolución de manera diferente. Su diferencia final es de unos 0,189 °C. Esta diferencia ilustra un efecto de

discretización; no constituye una incertidumbre meteorológica medida.

Con la solución continua de este modelo elemental, T al cabo de dos horas es 10 + 8 × exp(−0,5), es decir, unos 14,852 °C. Si todavía no se ha estudiado la función exponencial, la comparación entre los dos cálculos basta para captar la idea. Reducir el paso mejora aquí la aproximación. No hay que generalizar esta constatación sin examinar cada método, cada fenómeno y cada ajuste.

Un control útil también comprueba el comportamiento cualitativo. En este caso, la temperatura debería acercarse a 10 °C, no alejarse sin causa. Un paso desmesurado podría producir una evolución incoherente. Por tanto, verificar un modelo combina cálculo, unidades y sentido físico. Mostrar muchos decimales no demuestra ninguna de estas cualidades.

4. Incertidumbre inicial, incertidumbre del modelo y sensibilidad

Un error inicial designa una diferencia entre el estado utilizado y el estado real. Puede proceder de una medición, de una zona no observada o de una estimación imperfecta. Un error del modelo resulta de las ecuaciones elegidas, de las aproximaciones, de los parámetros o del cálculo. Un error de interpretación aparece cuando un usuario atribuye al resultado un significado que no tiene. Los tres no deben confundirse.

Algunas evoluciones atmosféricas amplifican pequeñas diferencias iniciales. En un sistema caótico, un conocimiento imperfecto del punto de partida limita progresivamente la precisión posible. Caótico no significa carente de leyes ni totalmente aleatorio. Una trayectoria puede estar determinada por reglas y seguir siendo

difícil de prever a largo plazo porque no se conoce su punto de partida con precisión infinita.

Nuestro objeto que se enfría no ilustra precisamente esa amplificación: aquí, dos temperaturas iniciales próximas tienden a acercarse al enfriarse hacia el mismo ambiente. Este límite forma parte de la demostración. Un ejemplo sencillo permite comprender la discretización, pero no debe pretender representar todos los comportamientos de la atmósfera. Un modelo didáctico es útil cuando se nombra lo que explica y lo que deja de lado.

Supongamos ahora que se prevé una zona de lluvia cerca de una frontera entre dos departamentos. Un ligero desplazamiento de su trayectoria puede cambiar considerablemente la lluvia recibida en un punto, aunque la descripción regional siga siendo bastante semejante. La dificultad no se refiere solo a la cantidad: también afecta a la posición y al horario. Una media espacial puede ocultar esta sensibilidad local.

5. ¿Por qué producir varios escenarios?

Un pronóstico de conjunto explora varias evoluciones, obtenidas en particular variando el estado inicial y algunas representaciones del modelo. Un miembro es un escenario calculado dentro de ese conjunto. El conjunto ayuda a examinar la dispersión y los posibles acontecimientos. No todos los miembros son necesariamente independientes; pueden compartir datos, una estructura y errores. Por tanto, su acuerdo no es una prueba absoluta.

En un ejemplo ficticio, cinco escenarios dan 15, 16, 16, 17 y 20 °C. Su media es de 16,8 °C y su mediana de 16 °C. La media resume la serie, pero ningún escenario da exactamente 16,8 °C. Una media de lluvia también puede ocultar una oposición entre escenarios secos y escenarios lluviosos. Hay que observar la distribución, no solo su centro.

Solo los miembros de 17 y 20 °C alcanzan al menos 17 °C en este ejemplo, es decir, dos de cinco. Esta proporción describe nuestra pequeña serie. No permite afirmar de forma inmediata una probabilidad meteorológica real del 40 %. Para esa interpretación hay que conocer la construcción del conjunto, su calibración y la definición del acontecimiento.

La calibración comprueba si las probabilidades anunciadas corresponden, en series pertinentes, a las frecuencias observadas. Un método puede proporcionar una distribución muy concentrada y ser demasiado confiado. También puede producir una dispersión excesiva. La fiabilidad y la concentración de la distribución deben evaluarse conjuntamente; un pronóstico menos espectacular puede representar mejor lo que efectivamente se sabe.

El capítulo siguiente profundiza en estas probabilidades. Por ahora, retened que un conjunto no es una votación de máquinas omniscientes. Organiza escenarios para caracterizar mejor la incertidumbre. No sustituye ni las observaciones actualizadas ni la interpretación de los servicios competentes.

6. Del cálculo al boletín: fechas, lugares y conocimiento experto

El tiempo de inicialización designa el comienzo del cálculo. El tiempo de validez designa el momento al que se refiere un resultado. El plazo es su diferencia. Un mapa procedente de un cálculo inicializado el lunes a medianoche puede mostrar una situación del martes al mediodía. La fecha en la que se ha descargado la imagen no convierte un cálculo antiguo en un pronóstico nuevo.

Las horas también exigen una atención explícita. UTC y hora local no son intercambiables; el desfase depende del lugar y a veces de la estación del año. Hay que leer la convención del documento en

lugar de adivinarla. Un pronóstico sin fecha completa, zona ni unidad resulta difícil de utilizar, aunque su diseño gráfico parezca familiar.

El resultado de una celda no es necesariamente el valor exacto delante de una casa. El relieve, la exposición, la altitud y el entorno cercano pueden modificar la situación. El paso a un boletín tiene en cuenta estas diferencias y el contexto. El conocimiento experto humano examina observaciones nuevas, varias salidas y los límites conocidos. No consiste simplemente en copiar un color de un mapa.

Para conservar un pronóstico en un cuaderno, anotad proveedor, inicialización si se indica, validez, zona, variable e incertidumbre. Cuando aparezca una actualización, comparad estos elementos antes que los números. Una modificación puede reflejar observaciones adicionales; no demuestra por sí sola que todos los cálculos anteriores fueran inútiles. La ausencia de modificación tampoco constituye una garantía.

7. Referencias históricas y cambio de método

El pronóstico numérico se desarrolló con los métodos físicos, las observaciones y los medios de cálculo. El Met Office sitúa su primer pronóstico informático operativo el 2 de noviembre de 1965, después de trabajos experimentales anteriores. Esta referencia se refiere a ese organismo, no a una supuesta primicia mundial. Muestra el paso progresivo de una experimentación a un servicio regular.

El ECMWF indica que produjo sus primeros pronósticos operativos en 1979 y sus primeros pronósticos de conjunto en 1992. Estas fechas, comprobadas en su presentación institucional, aclaran el lugar creciente de la incertidumbre. Las configuraciones, los números de miembros y los medios técnicos evolucionan: las cifras

de una ficha histórica no deben atribuirse automáticamente al servicio actual.

Sin embargo, sería engañoso contar esta historia como una sustitución completa de las personas por ordenadores. Las observaciones deben diseñarse y controlarse, los modelos estudiarse y los resultados evaluarse. El cálculo aumenta las posibilidades; no elimina la obligación de definir lo que se mide y reconocer lo que se ignora.

8. Ejercicios progresivos y soluciones

Ejercicio A - Una medición de 25 °C procede de un sensor expuesto cerca de una fachada. ¿Puede utilizarse como temperatura representativa de toda una región? Solución: no, sin examinar su emplazamiento y su representatividad. Hay que distinguir la calidad de la medición en el punto correspondiente y su pertinencia para la escala del modelo. Un número real puede utilizarse mal; sin embargo, rechazar automáticamente toda observación local sería otro error.

Ejercicio B - En nuestro modelo ficticio, partid de 22 °C, utilizad k = 0,25 por hora y dos pasos de una hora. Solución: la primera diferencia respecto al ambiente es 12; T1 = 22 − 3 = 19 °C. La segunda diferencia es 9; T2 = 19 − 2,25 = 16,75 °C. El resultado sigue una evolución hacia 10 °C. Este cálculo no dice nada sobre la temperatura de mañana.

Ejercicio C - Diez escenarios dan 0, 0, 0, 0, 0, 0, 4, 4, 8 y 14 mm para un periodo ficticio. Calculad media, mediana y proporción estrictamente positiva. Solución: la suma es de 30 mm y la media de 3 mm; el quinto y el sexto valor son nulos, por lo que la mediana es de 0 mm. Cuatro valores son positivos, es decir, el 40 % de la serie. Sería falso decir que todos los escenarios anuncian una lluvia débil de 3 mm.

Ejercicio D - Un cálculo inicializado a las 00 h UTC proporciona un campo válido a las 18 h UTC del mismo día. ¿Cuál es el plazo? Solución: dieciocho horas. Sin fecha ni convención local no se puede convertir este campo en una hora local exacta. Precisad las informaciones que faltan antes de continuar.

Ejercicio E - Una publicidad afirma: «Nuestro mapa tiene más píxeles, por lo tanto es más fiable». Construid una objeción. Solución: los píxeles mostrados no demuestran ni el detalle del cálculo ni su exactitud. Incluso una celda más fina puede compartir errores iniciales o físicos. Hay que evaluar los resultados frente a las observaciones para una variable, una zona y un plazo definidos.

Ejercicio F - Redactad un párrafo que distinga modelo y realidad. Propuesta: el modelo simplifica algunos procesos para producir un cálculo verificable. Sus resultados deben contrastarse con las observaciones. Una simplificación es aceptable si se estudian su ámbito de utilización y sus efectos; se vuelve engañosa si se le atribuye una certeza o una escala que no posee.

9. Errores frecuentes y ficha de repaso

No confundáis una medición con un análisis global, un análisis con un pronóstico futuro, un miembro con una probabilidad segura ni una media con un escenario único. No utilicéis la dispersión por sí sola como garantía de fiabilidad. Un error de fecha puede ser más grave que una diferencia de decimales. La ausencia de conexión no permite prolongar indefinidamente la validez de un pronóstico guardado.

Ficha de repaso: las observaciones y la estimación previa construyen el análisis; el modelo hace evolucionar ese estado con aproximaciones; la celda y el paso de tiempo organizan el cálculo; varios escenarios exploran las incertidumbres; el conocimiento experto interpreta las salidas a la escala útil. Identificad siempre

inicialización, validez, lugar, unidad y proveedor. Nuestro cálculo de enfriamiento es una demostración didáctica, nunca un boletín operativo.

10. Referencias primarias comprobadas

ECMWF, «Data assimilation»: https://www.ecmwf.int/en/research/data-assimilation ; «Fact sheet: Ensemble weather forecasting», 2017: https://www.ecmwf.int/en/about/media-centre/focus/2017/fact-sheet-ensemble-weather-forecasting . Consultas del 11 de octubre de 2026; métodos generales y referencias históricas, sin reutilizar una configuración numérica como descripción actual.

Met Office, «History of numerical weather prediction»: https://weather.metoffice.gov.uk/learn-about/how-forecasts-are-made/history-of-numerical-weather-prediction ; «How forecasts are made»: https://weather.metoffice.gov.uk/learn-about/how-forecasts-are-made . Consultas del 11 de octubre de 2026. Los ejemplos, cálculos y ejercicios de este capítulo son originales y ficticios; no se utiliza ninguna cita literal de estas páginas.

CAPÍTULO 9 - Probabilidades e incertidumbres: leer un boletín sin falsa precisión

1. Un porcentaje debe referirse a un acontecimiento definido

Una probabilidad cuantifica una posibilidad dentro de un marco determinado. Se sitúa entre cero y uno, o entre 0 y 100 %. Sin una definición del acontecimiento, el porcentaje sigue estando incompleto. «60 %» puede referirse a lluvia medible en un lugar, a la superación de una temperatura o a una categoría climática durante una estación. Estos acontecimientos no tienen ni la misma duración ni el mismo umbral.

Definamos un acontecimiento ficticio: recibir al menos 2 mm de lluvia en un punto llamado A entre las 14 h y las 20 h de una fecha especificada. Esta definición contiene variable, umbral, lugar y periodo. No dice si la lluvia cae en diez minutos o en seis horas ni si un punto B cercano recibe la misma cantidad. Modificar uno de estos elementos cambia la pregunta y puede cambiar la probabilidad.

Una ficha del National Weather Service explica su probabilidad de precipitación a partir de una cantidad medible, de un punto y de un periodo determinados. Precisa que un porcentaje no designa automáticamente la proporción de duración lluviosa ni la fracción de superficie cubierta en un instante. Su umbral particular pertenece a ese producto estadounidense; no debe imponerse a todos los proveedores. Para leer un servicio real, buscad su propia definición.

Por tanto, «Existe un 30 % de probabilidad de este acontecimiento» no significa ni «lloverá durante el 30 % de mi salida» ni «la lluvia será débil». Una probabilidad relativamente

baja puede referirse a un acontecimiento intenso. Una probabilidad alta puede referirse a una cantidad pequeña. Probabilidad, intensidad y duración son tres informaciones distintas, incluso cuando aparecen en la misma línea.

2. Frecuencia observada y probabilidad anunciada

La frecuencia es una proporción calculada en una serie de observaciones. Si un acontecimiento aparece 12 veces de 40, su frecuencia es 12/40 = 0,30. Una probabilidad anunciada antes del acontecimiento es una estimación. Se pueden comparar las dos en series pertinentes; no se convierte automáticamente la frecuencia de una muestra pequeña en una ley general.

Un método que anuncia a menudo un 30 % puede considerarse bien calibrado para esa clase de situaciones si el acontecimiento se produce aproximadamente tres veces de cada diez en una muestra suficientemente grande y debidamente definida. Esto no significa que cada grupo sucesivo de diez contenga exactamente tres acontecimientos. Existen fluctuaciones y los casos pueden estar relacionados entre sí.

En una serie ficticia de 200 anuncios comparables al 30 %, se observan 64 acontecimientos, es decir, un 32 %. Esta diferencia no permite, aisladamente, declarar que el método es perfecto o defectuoso. Hay que examinar el tamaño de la muestra, las dependencias, la definición de los acontecimientos y la estabilidad del método. En cambio, 150 acontecimientos en los mismos 200 casos exigirían claramente una investigación: la diferencia respecto al 30 % sería importante.

El Met Office presenta esta evaluación por grupos de probabilidades y recuerda la utilidad de la calibración. Precisa: « ensembles cannot provide a perfect representation of probability ». Estas ocho palabras invitan a evaluar los métodos en lugar de

considerar perfectos sus números. Un pronóstico particular se cumple o no; la calidad de una probabilidad se juzga mediante numerosos casos, no por un único acierto espectacular. Un anuncio al 80 % seguido de una ausencia del acontecimiento no es lógicamente imposible. Sigue siendo necesario comprobar si esa ausencia se produce con la frecuencia esperable o con demasiada frecuencia.

3. Unos resultados precisos no son necesariamente fiables

La precisión puede designar el detalle de un número, por ejemplo 17,284 °C. La exactitud designa su proximidad a un valor de referencia pertinente. La fiabilidad probabilística se refiere al acuerdo estadístico entre las probabilidades anunciadas y los acontecimientos observados. Un resultado puede parecer muy preciso sin ser exacto ni fiable. Hay que separar las palabras antes de comparar productos.

Consideremos dos servicios ficticios para una temperatura futura. El primero muestra un valor único de 18,00 °C sin explicar su margen. El segundo indica un intervalo probable de 16 a 20 °C, con su definición y sus límites. La segunda presentación parece menos segura, pero puede representar mejor la incertidumbre. Sin embargo, un intervalo amplio no es automáticamente útil: debe ser informativo y estar evaluado.

Un intervalo previsto al 80 % significa, en un marco correctamente calibrado, que aproximadamente el 80 % de los casos comparables deberían quedar dentro de él. Hay que conocer ese marco y el método. Esto no convierte los límites del intervalo en barreras físicas. Un valor exterior sigue siendo posible. La confianza depositada en un pronóstico no debe confundirse con una garantía contractual ni con un compromiso de seguridad.

Cuando comparéis dos mapas, examinad su variable, su escala, su plazo y su definición antes de observar cuál presenta más decimales. Los valores procedentes de puntos, altitudes o duraciones diferentes no se vuelven comparables mediante un simple cambio de color. La precisión visual puede ocultar una diferencia de pregunta.

4. Varias horas: ¿por qué no sumar los porcentajes?

Supongamos que dos periodos sucesivos tienen cada uno una probabilidad de lluvia del 40 %. Sumar 40 y 40 para concluir un 80 % en el conjunto es generalmente falso. Los acontecimientos pueden solaparse: la misma perturbación puede afectar a los dos periodos. Su relación importa tanto como sus probabilidades por separado.

Si A designa la lluvia en el primer periodo y B en el segundo, la probabilidad de A o B es P(A) + P(B) − P(A y B). Hay que restar el solapamiento contado dos veces. Con P(A) = P(B) = 0,40 y P(A y B) = 0,25, la probabilidad de al menos un periodo lluvioso es de 0,55, es decir, un 55 %. Este cálculo es un ejemplo ficticio, no la interpretación oculta de una aplicación.

Si los acontecimientos fueran independientes, el solapamiento sería 0,40 × 0,40 = 0,16, lo que daría un 64 %. Pero la independencia es una hipótesis, no un reflejo. Los periodos meteorológicos próximos suelen estar relacionados. Sin información sobre esa relación, los dos porcentajes no permiten dar un resultado único para el conjunto.

La misma prudencia se aplica a varios lugares. La lluvia en dos municipios cercanos puede pertenecer al mismo sistema. Multiplicar o sumar sus probabilidades sin un modelo común inventa una información. En el plano puramente matemático, para dos acontecimientos al 40 %, la probabilidad de al menos uno se

sitúa entre el 40 y el 80 %. Estos límites no dicen dónde se encuentra la estimación meteorológica correcta.

5. Probabilidad condicional: el contexto cuenta

Una probabilidad condicional se refiere a un acontecimiento cuando se sabe que otro ha ocurrido. P(A dado B) no significa P(B dado A). Por ejemplo, la proporción de días lluviosos entre los días nublados no es necesariamente la proporción de días nublados entre los días lluviosos. El grupo de partida cambia.

En un cuaderno ficticio de cien jornadas, sesenta se clasifican como nubladas y veinte como lluviosas. Quince pertenecen a las dos categorías. La frecuencia de lluvia entre las jornadas nubladas es 15/60 = 25 %. La frecuencia de jornadas nubladas entre las jornadas lluviosas es 15/20 = 75 %. Los dos resultados son correctos, pero responden a preguntas diferentes. Las categorías y la muestra de este cuaderno no constituyen ningún modelo real.

Una observación nueva puede modificar una estimación. Sin embargo, observar localmente un cielo oscuro no basta para recalcular por cuenta propia la probabilidad de un fenómeno violento. Harían falta datos pertinentes y un método validado. La idea de condicionamiento enseña a plantear las preguntas correctas; no proporciona una herramienta de alerta improvisada.

Las referencias climáticas también tienen un contexto. Una anomalía es una diferencia respecto a una referencia definida, a menudo una media durante un periodo. «Más cálido de lo normal» exige conocer esa normal. Una probabilidad estacional de anomalía no prevé precisamente la temperatura de una jornada particular. La escala temporal y la definición estadística deben seguir siendo visibles.

6. Del riesgo a la decisión: consecuencias y alternativas

La probabilidad de un fenómeno no es su consecuencia. El peligro corresponde al fenómeno potencialmente dañino; la exposición indica qué se encuentra en su zona; la vulnerabilidad se refiere a la sensibilidad y a los medios para hacerle frente. Estas distinciones se profundizarán en el capítulo siguiente. Una misma lluvia puede tener consecuencias diferentes sobre un suelo, un edificio o una actividad.

Un razonamiento de decisión puede utilizar una comparación de costes en una situación sin implicaciones de seguridad. Imaginemos una exposición de dibujos que puede trasladarse al interior por 12 unidades ficticias de coste. Si se produce un chubasco en el exterior, el daño material es de 80 unidades. Con una probabilidad supuesta del 20 %, la pérdida media teórica de permanecer fuera es 0,20 × 80 = 16 unidades, superior al coste del traslado.

Este cálculo supone que los costes sean comparables, que la estimación sea pertinente y que el traslado evite realmente el daño considerado. No garantiza que vaya a haber un chubasco; compara elecciones antes de conocer el resultado. Si no llueve, el traslado puede seguir siendo una decisión razonable en el momento en que se tomó.

El mismo modelo no debe aplicarse como autorización para arriesgar una vida. Las obligaciones, los umbrales reglamentarios, la imposibilidad de reparar y la gravedad de las consecuencias cambian el razonamiento. Las instrucciones oficiales y las de los responsables de la actividad tienen prioridad. El cálculo escolar ayuda a comprender la incertidumbre; no sustituye un análisis profesional de seguridad.

Una buena decisión también dispone de alternativas: aplazar, reducir la exposición, elegir otro lugar o cancelar. Esperar una

certeza absoluta puede ser imposible; actuar como si toda posibilidad fuera segura también puede hacer impracticable cualquier actividad. Se trata de utilizar la información apropiada y actualizada en función de las consecuencias y de las reglas aplicables.

7. Evaluar sin seleccionar únicamente los aciertos

Un cuaderno de verificación debe registrar el pronóstico antes del resultado y después la misma variable observada en el lugar y durante el periodo definidos. Modificar a posteriori el umbral o la zona crea una ventaja artificial. Elegir únicamente los episodios memorables también deforma la evaluación. Hay que conservar igualmente las situaciones ordinarias y los errores.

Un método que anuncia siempre «no habrá lluvia fuerte» puede parecer acertar a menudo en un clima donde ese acontecimiento es raro, sin aportar ninguna información útil cuando se produce. Por tanto, la tasa global de acierto no basta. Hay que examinar qué detecta el método, qué se le escapa y cómo se compara con una referencia simple.

Para un ejercicio se puede crear una puntuación elemental: para cada acontecimiento binario, anotar $y = 1$ si ocurre e $y = 0$ si no; calcular $(p - y)^2$ y después hacer la media. Una probabilidad $p = 0{,}8$ seguida de un acontecimiento da 0,04; el mismo anuncio seguido de una ausencia da 0,64. El cálculo penaliza una gran seguridad contradicha. Este pequeño ejemplo matemático no basta para validar un servicio real ni para diagnosticar todos sus errores.

Una evaluación debe seguir vinculada al ámbito estudiado. Los resultados sobre la temperatura regional a corto plazo no demuestran las mismas cualidades para una tormenta local o una estación futura. Una comparación pertinente utiliza los mismos

casos, definiciones y observaciones. Cuando faltan estos elementos, la conclusión honesta se refiere a la insuficiencia de las pruebas, no a una superioridad inventada.

8. Ejercicios progresivos resueltos

Ejercicio A - Un boletín indica un 70 % de posibilidad de precipitación durante un periodo. ¿Se puede deducir una intensidad? Solución: no. Hace falta la definición del umbral y las informaciones sobre cantidad, duración o intensidad. El porcentaje se refiere al acontecimiento definido por el proveedor, no automáticamente al carácter fuerte o débil de la lluvia.

Ejercicio B - En 120 casos anunciados con una probabilidad del 25 %, el acontecimiento aparece 36 veces. ¿Cuál es la frecuencia y qué se puede concluir? Solución: 36/120 = 30 %. La diferencia respecto al anuncio es de cinco puntos porcentuales. Hacen falta más elementos para juzgar la calibración: incertidumbre de muestreo, comparabilidad y dependencia de los casos. No digáis «cinco por ciento de error» sin precisar el sentido.

Ejercicio C - Dos periodos tienen cada uno un 50 % de probabilidad de un acontecimiento y su solapamiento es del 35 %. Calculad la probabilidad de al menos una aparición. Solución: 50 + 50 − 35 = 65 %. Bajo una hipótesis de independencia se habría obtenido un 75 %, pero esa hipótesis sería incompatible con el solapamiento dado.

Ejercicio D - En una serie ficticia, 40 días son ventosos, 10 presentan daños materiales y 8 tienen ambas características. Comparad las dos frecuencias condicionales. Solución: daño entre los días ventosos, 8/40 = 20 %; viento entre los días con daño, 8/10 = 80 %. El resultado no demuestra que el viento sea la causa única de todos los daños.

Ejercicio E - Retomad la exposición de dibujos con una probabilidad del 10 %. Solución: la pérdida media ficticia de permanecer fuera pasa a ser de 8 unidades, frente a 12 por trasladar. Esta comparación favorece quedarse fuera en este modelo muy limitado. No tiene en cuenta otros costes ni obligaciones; no proporciona ningún umbral universal para una actividad expuesta.

Ejercicio F - Tres anuncios p = 0,2; 0,7; 0,9 van seguidos de y = 0; 1; 1. Calculad la puntuación elemental media. Solución: cuadrados 0,04; 0,09; 0,01, suma 0,14, media aproximada 0,0467. Estos tres casos no bastan para clasificar de forma duradera un servicio. La puntuación calculada constituye una medida sobre la muestra, no una certeza sobre todos los casos futuros.

9. Errores frecuentes y ficha de repaso

Evitad cuatro deslizamientos: de porcentaje a intensidad, de probabilidad a duración, de frecuencia pasada a garantía futura, de precisión mostrada a exactitud. No suméis probabilidades que se solapan. No supongáis la independencia de periodos próximos. Una probabilidad baja no elimina una consecuencia grave; una decisión razonable no se vuelve mala simplemente porque el fenómeno finalmente no se haya producido.

Ficha de repaso: definir variable, umbral, lugar y periodo; distinguir probabilidad y observación; examinar la calibración en series; comprobar las relaciones entre acontecimientos; considerar consecuencias, alternativas e instrucciones. Leer un intervalo y una probabilidad con su definición. Ningún cálculo de este capítulo produce un pronóstico actual ni una autorización de seguridad.

10. Referencias primarias comprobadas

National Weather Service, «Precipitation probability», ficha didáctica: https://www.weather.gov/media/pah/WeatherEducation/pop.pdf . Definición y límites de lectura del producto estadounidense, sin generalizar su umbral a todos los servicios.

Met Office, «Using ensemble forecasts in decision-making»: https://www.metoffice.gov.uk/research/weather/ensemble-forecasting/decision-making ; «How to use our long-range predictions»: https://www.metoffice.gov.uk/research/climate/seasonal-to-decadal/seasonal-forecast/user-guide . Consultas del 11 de octubre de 2026. Las series, costes, ejercicios y cálculos son creaciones ficticias; solo se utiliza una cita literal de ocho palabras de la primera página.

CAPÍTULO 10 - Vigilancia, alerta y decisión: peligro, exposición y autoridades competentes

1. El fenómeno y sus consecuencias no son lo mismo

Una lluvia fuerte constituye un fenómeno meteorológico; los daños que puede provocar también dependen del lugar, de lo que se encuentra allí y de los medios de protección. No se pasa directamente de una cantidad de lluvia a una consecuencia humana única. El relieve, el estado del suelo, la red de evacuación, las construcciones y las actividades modifican la situación. Una descripción del riesgo debe relacionar varios elementos en lugar de reducirlo todo a una cifra.

Aquí, el peligro es un fenómeno susceptible de provocar daños. La exposición designa la presencia de personas, bienes o actividades en una zona afectada. La vulnerabilidad corresponde a las condiciones que los hacen más sensibles a los efectos de ese peligro. Las capacidades comprenden los recursos que permiten prevenir o limitar algunas consecuencias. Estas distinciones se apoyan en la terminología institucional de la UNDRR; sirven para organizar un análisis, no para calcular automáticamente una puntuación universal.

En un ejemplo ficticio, dos depósitos de libros reciben la misma lluvia exterior. El primero se encuentra en un local bajo donde puede entrar agua; el segundo, en un edificio adecuado y mantenido. La intensidad del fenómeno es comparable, pero las posibles consecuencias difieren. Esto no permite certificar la seguridad del segundo edificio sin un estudio. El ejemplo muestra únicamente por qué cuentan las características del lugar.

También hay que evitar hacer a las personas las únicas responsables de su vulnerabilidad. El acceso a la vivienda, al transporte, a la información o a los medios materiales influye en las posibilidades de protección. Una instrucción idéntica puede ser más difícil de aplicar para una persona aislada o dependiente. Comprender esta diferencia permite una preparación más realista; no da a una guía el poder de sustituir a los servicios competentes.

2. Pronóstico, vigilancia y alerta: tres funciones

Un pronóstico describe una evolución meteorológica esperada, con sus incertidumbres. Una información de vigilancia llama la atención sobre un peligro potencial y sus posibles consecuencias en una zona. Una alerta transmitida por una autoridad competente se refiere a una situación que requiere medidas o comportamientos de protección. Estas funciones se complementan, pero no deben confundirse.

Météo-France explica que su vigilancia complementa los pronósticos y puede llevar a las autoridades a activar un procedimiento de alerta. En la Francia metropolitana, su presentación utiliza cuatro colores e información territorial para el día en curso y el siguiente. El color debe leerse junto con el fenómeno, el periodo y los boletines asociados. No constituye ni una temperatura, ni una probabilidad bruta, ni una instrucción idéntica para todas las situaciones.

La presentación ministerial también distingue entre anticipar el peligro y alertar a la población. Las autoridades pueden transmitir instrucciones apropiadas: su contenido depende del fenómeno y del contexto. Por eso, no hay que deducir por cuenta propia una orden de evacuación de un simple color ni ignorar una instrucción local porque un mapa general parezca tranquilizador. Una información más específica puede responder a otra escala.

La estructura de un sistema varía según los países y los territorios. Algunas zonas poseen dispositivos particulares, especialmente para fenómenos ciclónicos o crecidas. Un vocabulario francés no basta para interpretar todas las alertas internacionales. Antes de un desplazamiento, identificad el servicio meteorológico y las autoridades competentes para el lugar correspondiente. Este capítulo describe principios y referencias, no su estado actual.

3. Leer una información completa, no solo su color

Una lectura rigurosa comienza por el proveedor y la hora de actualización. Después identifica la zona, el fenómeno, el inicio y el final de validez, y luego las consecuencias y los consejos asociados. Una captura antigua puede conservar un diseño convincente aunque haya perdido su pertinencia. Si la fecha está recortada, falta un elemento esencial.

También hay que examinar los límites geográficos. Una información departamental no describe necesariamente cada calle, valle o itinerario de la misma manera. A la inversa, una observación puntual no basta para invalidar una información que se refiere a un territorio más amplio. Ver un cielo tranquilo delante de nosotros no demuestra la ausencia de peligro en una carretera ni durante el periodo siguiente.

Un nivel de vigilancia puede depender de la sensibilidad del territorio, no solo de un umbral meteorológico idéntico en todas partes. Una infraestructura o una actividad pueden verse perturbadas por una situación relativamente ordinaria en otro lugar. Por eso, el lector no debe comparar dos colores como si comparase dos medidas universales de potencia. Hay que observar las razones y las consecuencias descritas.

Los pronósticos de lluvia y las informaciones de crecida también responden a preguntas distintas. La lluvia cae sobre una zona y

durante un tiempo; después, el agua puede desplazarse y acumularse en una cuenca. Una crecida no se reduce a la lluvia observada en el punto donde nos encontramos. Los servicios especializados aportan informaciones que no se pueden reconstruir con un simple termómetro ni con un vistazo al cielo.

Para un estudio escolar, elaborad una ficha de lectura vacía: organismo, publicación, validez, territorio, fenómeno, nivel, consecuencias, instrucciones y próxima actualización conocida. Completadla con un documento antiguo claramente identificado como ejercicio. No permitáis nunca que esta ficha didáctica se confunda con una alerta activa.

4. Distinguir observación local y autoridad de una instrucción

Una observación local puede ser útil para comprender lo que ocurre. No confiere la competencia para decidir por toda una población. Las autoridades y los servicios utilizan otros datos, conocen las infraestructuras y pueden coordinar los medios. Su instrucción no debe sustituirse por una conclusión improvisada a partir de un único signo.

En una situación ficticia, una persona ve que el viento disminuye y desea reabrir una actividad exterior suspendida. Esta observación puede ser exacta en ese instante. Sin embargo, faltan la evolución prevista, el estado del lugar y las instrucciones del responsable. Una disminución momentánea no establece el final del peligro. El razonamiento correcto identifica las informaciones que faltan en lugar de convertir un alivio en una autorización.

El Ministerio del Interior francés presenta FR-Alert como un medio para difundir a las personas de una zona mensajes que contienen instrucciones de protección. Su página recuerda: « Respectez ces consignes ». Esta cita de tres palabras subraya la autoridad de las instrucciones de protección. El ministerio también describe las

sirenas y los medios institucionales como medios complementarios. La guía no asegura ni la recepción de un mensaje en todos los teléfonos ni el funcionamiento de cada canal en una situación determinada. Preparar varios medios de información es más prudente que depender de una única aplicación.

Si se recibe una alerta, leed su autoridad, su zona y sus instrucciones; seguid las instrucciones oficiales adecuadas. No convirtáis un mensaje reenviado ni un vídeo sin fecha en una nueva alerta. Verificar una información significa volver, cuando sea posible sin ponerse en peligro, a su fuente oficial y a su contexto. Esto no justifica retrasar la aplicación de una instrucción clara durante una situación urgente.

5. Construir una decisión antes de la situación difícil

Una preparación útil define criterios antes de que el coste de un cambio resulte demasiado importante. Imaginemos una asociación que prevé una exposición exterior de documentos frágiles. Puede determinar de antemano un lugar interior, una persona responsable, un horario de decisión y un medio para informar al grupo. Esta organización no impide la lluvia, pero limita la confusión.

Un criterio de aplazamiento debe basarse en informaciones apropiadas para la actividad y en las exigencias del responsable competente. Esta guía no proporciona un umbral de viento o lluvia que autorice universalmente un evento. El peso de una instalación, el terreno, los participantes y las reglas aplicables cambian la situación. Un umbral escolar ficticio no se puede copiar como protocolo real.

La decisión tiene varias dimensiones: lo que se sabe, lo que falta, lo que se puede modificar y el momento en el que hay que elegir.

Se pueden preparar un escenario de mantenimiento, uno de adaptación y uno de aplazamiento. Los escenarios no deben ocultar la misma exposición detrás de tres nombres diferentes. Si la alternativa no reduce realmente el riesgo, no aporta la protección esperada.

Después hay que comunicar una decisión comprensible. «El evento se traslada al interior según la instrucción del responsable» es más preciso que un mensaje ambiguo que deja a cada cual adivinar. El documento debe dar lugar, horario y persona de contacto apropiada. En una situación de alerta real, las instrucciones oficiales tienen prioridad sobre el programa previsto; la preparación no convierte al organizador en una autoridad de emergencias.

6. Por qué una vigilancia puede no ir seguida del fenómeno esperado

La información se refiere a una evolución todavía incierta. Un fenómeno puede desplazarse, ser menos intenso o tener consecuencias diferentes. La ausencia de un acontecimiento en el punto donde se encuentra un individuo no demuestra necesariamente un error para toda la zona. Pero tampoco vuelve inútil la evaluación: los servicios deben examinar lo que se previó y observó a las escalas pertinentes.

Las falsas alertas y los acontecimientos no detectados corresponden a situaciones diferentes. Una información demasiado frecuente y poco pertinente puede llevar a prestar menos atención. Una información demasiado rara puede dejar peligros sin preparación. Este compromiso debe estudiarse con observaciones, consecuencias y objetivos claramente definidos. No se resuelve mediante el deseo de tener siempre razón en un caso aislado.

Evaluar a posteriori no debe confundir el resultado con la calidad de la decisión inicial. Si una asociación había trasladado su exposición ante un peligro anunciado y finalmente no llueve, esa decisión puede haber estado justificada por la información disponible. Para examinarla, reconstruid lo que se conocía en el momento de elegir, no solo lo que se sabe después.

Otro error consiste en tomar un balance histórico de rendimiento como una garantía personal. Un servicio puede presentar buenas estadísticas sin asegurar que no se le escapará ningún acontecimiento futuro. El lector debe mantener la atención a los signos locales, a las actualizaciones y a las instrucciones. Ni confianza absoluta ni rechazo sistemático: la calidad de una fuente justifica utilizarla, con sus límites.

7. Información, rumor y responsabilidad colectiva

Un rumor meteorológico suele tener tres atractivos: una formulación urgente, una imagen impactante y una conclusión sencilla. Estas cualidades no demuestran su verdad. Un vídeo de un acontecimiento antiguo puede presentarse como actual; un mapa de un escenario extremo puede convertirse, en un mensaje reenviado, en un pronóstico seguro. El cambio de contexto basta para transformar una información real en una afirmación engañosa.

Antes de compartir, comprobad proveedor, fecha, lugar, variable y condición del documento. ¿Se trata de un pronóstico, una observación, una ilustración o un ejercicio? Una incertidumbre esencial no debe desaparecer del resumen. Cuando no sea posible verificarlo, no presentéis el mensaje como una instrucción oficial. Podéis señalar la incertidumbre sin propagar una afirmación segura.

La responsabilidad colectiva también comprende la accesibilidad. Una información puede ser oficial y, aun así, difícil de comprender para una persona que no conoce el vocabulario o la lengua. Se puede ayudar a leer los términos, identificar la fuente y transmitir fielmente la instrucción. No hay que inventar una adaptación clínica ni una instrucción contraria. Para necesidades particulares, la preparación se hace con los interlocutores competentes antes del acontecimiento.

La guía sin conexión puede apoyar esta comprensión del vocabulario. No sabe si una vigilancia está activa hoy, si una carretera está abierta o si una autoridad ha cambiado sus instrucciones. El uso adecuado consiste en aprender las distinciones y después consultar las informaciones actualizadas necesarias en el momento de decidir.

8. Estudio de caso ficticio: una salida de observación aplazada

Una clase desea observar nubes desde una terraza autorizada. El día anterior, el responsable recibe una información que anuncia un riesgo de fenómeno peligroso durante la franja prevista. Sin embargo, una foto del lugar tomada por la mañana muestra un cielo despejado. ¿Cómo organizar el análisis sin pretender producir un nuevo pronóstico?

Primer paso: identificar la información pertinente, su proveedor, su validez y la zona. Segundo paso: conocer las instrucciones del centro y del responsable. Tercer paso: considerar una actividad interior equivalente, por ejemplo comparar fotografías fechadas o analizar un mapa de ejercicio. Cuarto paso: comunicar el cambio y explicar que la foto instantánea no describe todo el periodo.

El aplazamiento no es la prueba de que se sabe exactamente lo que ocurrirá. Refleja una decisión prudente dentro de un marco

organizativo. El ejercicio interior puede conservar el objetivo didáctico sin mantener la exposición. Después se pueden analizar los datos disponibles para comprender la evolución, pero no reescribir las informaciones iniciales como si el resultado se hubiera conocido.

9. Ejercicios progresivos resueltos

Ejercicio A - Una lluvia intensa cae en una zona sin personas ni bienes expuestos. ¿Se puede hablar del mismo daño potencial que en una zona habitada? Solución: no. El fenómeno permanece, pero la exposición y las consecuencias difieren. Esto no significa que una zona no habitada carezca de aspectos ecológicos en juego ni que sea imposible cualquier efecto indirecto.

Ejercicio B - Un mapa tiene colores, pero su fecha se ha recortado. ¿Qué informaciones faltan? Solución: publicación, periodo de validez y, en su caso, distinción entre observación y pronóstico. Sin ellas, el documento no permite una decisión actual fiable. Buscad la fuente completa en lugar de suponer que una imagen recibida hoy se produjo hoy.

Ejercicio C - ¿Por qué una observación tranquila no anula automáticamente una vigilancia? Solución: se refiere a un punto y a un instante, mientras la vigilancia afecta a un posible fenómeno sobre una zona y durante un periodo. La observación es un dato útil; no responde a toda la pregunta. Las actualizaciones y las instrucciones siguen siendo necesarias.

Ejercicio D - Un mensaje reenviado dice «evacuad», sin autoridad, lugar ni fecha. ¿Cómo tratarlo? Solución: no lo presentéis como una instrucción oficial verificada. Identificad la fuente y buscad las instrucciones apropiadas. El ejercicio no autoriza a ignorar una alerta oficial clara ni a emprender una verificación que exponga al peligro.

Ejercicio E - Preparad tres alternativas para nuestra exposición de libros. Propuesta: mantenimiento únicamente según los criterios establecidos por el responsable; traslado al interior si esa opción es realmente adecuada; aplazamiento si no se dispone de ninguna solución aceptable. Precisad quién decide y cómo se informa al público. No se añade ningún umbral meteorológico inventado.

Ejercicio F - Una situación anunciada no se ha producido delante de vuestra casa. Redactad una conclusión mesurada. Propuesta: el acontecimiento no se ha observado en ese punto; para evaluar la información hay que examinar la zona, el periodo y las observaciones correspondientes. Este caso no demuestra ni la perfección ni la inutilidad general del dispositivo.

10. Ficha de repaso y referencias

Ficha de repaso: fenómeno, exposición, vulnerabilidad y capacidades contribuyen a las consecuencias. El pronóstico describe; la vigilancia llama la atención sobre un peligro; la alerta transmite instrucciones de una autoridad. Leer proveedor, fecha, validez, zona, fenómeno y consejos. Preparar alternativas antes de la decisión. No sustituir ni los servicios especializados ni una instrucción oficial por un color aislado, una foto o una respuesta de IA local.

UNDRR, terminología institucional «Hazard», «Exposure», «Vulnerability»: https://www.undrr.org/terminology/hazard ; https://www.undrr.org/terminology/exposure ; https://www.undrr.org/terminology/vulnerability . Météo-France, «5 questions sur la Vigilance météorologique», 7 de julio de 2026: https://meteofrance.com/vigilance-et-securite/5-questions-sur-la-vigilance-meteorologique .

Ministerio del Interior francés, «Système d'alerte des populations»: https://www.securite-civile.interieur.gouv.fr/reagir/comment-se-preparer-face-aux-risques/systeme-dalerte-des ; ministerio francés encargado de la Transición Ecológica, dossier sobre lluvias intensas e inundaciones, actualizado el 2 de septiembre de 2026: https://www.ecologie.gouv.fr/dossiers/comprendre-risques-naturels-sen-pr

oteger/savoir-pluies-intenses-inondations-france . Consultas del 11 de octubre de 2026. No se reproduce ningún estado de vigilancia actual; ejemplos y ejercicios ficticios, una sola cita literal de tres palabras del Ministerio del Interior francés.

CAPÍTULO 11 - Seguridad de las actividades: criterios de aplazamiento y datos actualizados necesarios

1. Aprender meteorología no basta para autorizar una actividad

Conocer la formación de una tormenta o saber leer una presión mejora la comprensión. Esto no da automáticamente la competencia para decidir que una actividad expuesta es segura. La elección depende del terreno, del equipo, de las personas, de las reglas aplicables y de las informaciones actuales. Una guía general proporciona conceptos; no sustituye a un responsable formado ni a un servicio especializado.

El objetivo de este capítulo es preparar buenas preguntas. ¿Qué variable cuenta para la actividad? ¿En qué lugar y durante cuánto tiempo? ¿Qué consecuencias son posibles? ¿Qué documento aporta la información adecuada? ¿Quién puede decidir mantener, modificar o aplazar? Una respuesta que ignore estas preguntas puede ser engañosa incluso cuando utilice palabras científicas correctas.

Hay que distinguir una actividad didáctica sin exposición de una actividad exterior real. Calcular un intervalo entre relámpago y trueno a partir de una grabación permite estudiar la propagación del sonido; esperar fuera para hacer ese cálculo durante una tormenta es una situación completamente distinta. Este segundo uso no está recomendado por la guía. Los ejemplos numéricos siguientes son ejercicios, nunca umbrales que autoricen una práctica.

Prepararse también significa aceptar una alternativa. Un aplazamiento puede preservar un proyecto en lugar de hacerlo fracasar. Una observación de nubes puede sustituirse por un análisis de fotografías fechadas; una exposición de dibujos puede trasladarse a un lugar adecuado. La alternativa debe conservar un objetivo sin conservar la exposición peligrosa bajo otra forma.

2. Identificar las variables útiles para la actividad

El viento medio y las rachas no describen lo mismo. El primero resume un periodo de medición según un método; las segundas se refieren a variaciones más breves. Una actividad sensible a una fuerza repentina no se puede evaluar solo con la media. También hay que conocer altitud, exposición y emplazamiento del pronóstico. Un valor cerca del suelo en una zona general no describe todas las crestas ni todos los corredores.

La cantidad de lluvia y su intensidad también deben separarse. Veinte milímetros en un día y veinte milímetros en unos minutos no tienen la misma distribución temporal. La consecuencia también depende del suelo y de los flujos de agua. Un simple acumulado no permite establecer el estado de una carretera, un sótano o un curso de agua.

La temperatura del aire no describe toda la exposición térmica. Intervienen sol, viento, humedad, duración y actividad. Los índices especializados tienen definiciones y límites. Sería incorrecto elegir un número único en una aplicación para diagnosticar a una persona o garantizar que un esfuerzo es apropiado. Los consejos sanitarios oficiales y los profesionales competentes responden a dimensiones distintas de las de este curso científico.

La visibilidad es una información distinta de la nubosidad. Se pueden ver muchas nubes y conservar una buena visibilidad horizontal; en cambio, una niebla puede reducirla

considerablemente cerca del suelo. Una imagen del cielo no describe necesariamente lo que un conductor o un caminante encontrará en su recorrido. Identificar la variable evita responder a una pregunta con un indicador próximo pero insuficiente.

3. Una tabla de preparación sin umbral inventado

Construid una tabla con cinco apartados: actividad y lugar; periodo completo; informaciones necesarias; decisión y alternativas; actualización y comunicación. Debe ser breve y comprensible para quienes la utilizan. Los apartados organizan el razonamiento; no constituyen un protocolo universal de seguridad.

En el primero, indicad lo que realmente se hará. «Salida» es demasiado vago: un paseo supervisado, una instalación de material, un desplazamiento por carretera o una navegación no plantean las mismas preguntas. En el segundo, incluid preparación y regreso, no solo el momento central. Una actividad prevista de las 14 h a las 15 h puede necesitar un desplazamiento antes y después de esa franja.

En el tercero, enumerad los documentos pertinentes y su origen. Pueden ser necesarios un pronóstico especializado, una vigilancia, el estado oficial de un lugar o una instrucción del responsable. En el cuarto, precisad quién decide y qué solución de sustitución es posible. En el quinto, preveed cuándo consultar una nueva información y cómo informar al grupo. La última consulta no elimina la necesidad de aplicar una instrucción recibida después.

Si falta un dato indispensable, no rellenéis el vacío con una estimación tranquilizadora. Puede ser necesario modificar o aplazar el proyecto. La fórmula «no me ha llegado ninguna alerta» no demuestra que se haya consultado toda la información ni que no exista ningún peligro. La tabla ayuda a constatar esta carencia en lugar de ocultarla.

4. Montaña: las informaciones generales no bastan

El relieve transforma las condiciones: intervienen altitud, ladera, exposición y configuración de los valles. Un pronóstico para una ciudad cercana no describe directamente un itinerario en altura. El cielo puede evolucionar de forma diferente en dos laderas y las condiciones del terreno añaden sus propias dificultades. La diferencia no se corrige mediante una simple fórmula aplicada a una temperatura.

En montaña nevada, el peligro de alud depende, entre otros factores, del manto de nieve y del terreno, no solo de la temperatura actual. Météo-France presenta boletines especializados y subraya que un índice de riesgo no basta por sí solo. Leerlos exige la información complementaria apropiada y las competencias de quien practica la actividad o la supervisa. Una huella visible no constituye una prueba de seguridad.

La presentación oficial recuerda que la escala europea de peligro de alud se adoptó en el arco alpino en 1993. Esta referencia muestra una búsqueda de lenguaje común entre servicios; no convierte una cifra de la escala en una autorización para cualquier pendiente. Una síntesis regional y una decisión local no son intercambiables.

Esta guía no enseña ni una técnica de paso, ni un método de rescate, ni una regla que garantice un itinerario. Consultad los boletines actuales, las instrucciones de las autoridades y de los lugares, y los profesionales de la montaña cuando vuestro proyecto lo exija. Los ejemplos de presión o gradiente térmico de los capítulos anteriores sirven para comprender, no para certificar condiciones de práctica.

5. Mar y litoral: viento, olas y territorio

Un pronóstico terrestre no responde completamente a una pregunta marítima. El viento, el estado del mar, el mar de fondo, la marea y las corrientes se refieren a procesos distintos que pueden interactuar. La dirección del viento en un lugar no permite deducir todas las olas que se observarán allí. Un mar momentáneamente tranquilo no describe necesariamente la evolución esperada durante toda una salida.

Météo-France explica que produce boletines regulares y boletines especiales de seguridad marítima, difundidos en particular por los CROSS franceses en el marco de sus misiones. Esta organización proporciona una información especializada; la guía no reproduce frecuencias de radio, horarios ni criterios de navegación como si fueran universales y permanentes. Su uso real requiere documentos actualizados y las competencias necesarias.

En el litoral, una actividad de observación también puede estar expuesta a las olas y a condiciones cambiantes. La ausencia de lluvia no es un indicador de seguridad en un embarcadero ni en un dique. Debe respetarse un cierre, una prohibición o una instrucción local; este texto no propone ningún itinerario que permita eludirlos.

Para un estudio escolar, comparad un boletín ficticio de viento y un boletín ficticio de mar de fondo. Identificad unidad, dirección, periodo y zona. El ejercicio demuestra que son necesarias varias variables; no produce una decisión operativa. Para una salida real, el organizador debe apoyarse en las informaciones y responsabilidades adecuadas, sin delegar su decisión en una respuesta de IA generalista.

6. Tormentas: no esperar una prueba de proximidad

El National Weather Service resume un principio con la breve fórmula « When Thunder Roars, Go Indoors ». Esta cita de cinco palabras recuerda que oír el trueno no es una invitación a continuar una observación exterior. Su página oficial indica que no existe un lugar seguro al aire libre cuando hay tormentas en la zona. El detalle de los medios de protección debe leerse en las recomendaciones competentes, no improvisarse a partir de un intervalo sonoro.

Una fotografía espectacular puede dar ganas de esperar el siguiente relámpago. El objetivo didáctico no justifica esa exposición. Utilizad documentos grabados o ejercicios realizados en condiciones apropiadas. El capítulo sobre los rayos explica un mecanismo; no ofrece un método para acercarse a una tormenta ni determinar una distancia segura.

Una actividad exterior debería disponer de antemano de un procedimiento adecuado definido por sus responsables: información, suspensión y solución de sustitución. La presente guía no fija un plazo universal de reanudación. Un cielo más claro, un radar guardado o la ausencia de trueno durante unos minutos no sustituyen las reglas ni las actualizaciones necesarias.

La misma lógica se aplica a una observación colectiva. Antes de cualquier actividad real, quien la supervisa identifica las condiciones para ponerse a salvo y las informaciones pertinentes. Si ese marco no existe, no se sustituye por una regla obtenida en el último momento de un asistente local. El aprendizaje científico puede continuar perfectamente sin ponerse en una situación de exposición.

7. Desplazamientos y actividades cotidianas

El desplazamiento tiene sus propias restricciones: estado de la vía, visibilidad, tráfico, cierres y medios disponibles. Un pronóstico de lluvia no permite asegurar que una carretera sea transitable. Un punto de partida tranquilo no excluye una dificultad en otra parte del trayecto. Hay que consultar la información apropiada y aplicar las restricciones oficiales.

Para una inundación o una lluvia intensa, el dossier ministerial recuerda, entre otras cosas, que se deben aplazar los desplazamientos y no atravesar sectores peligrosos como vados o pasos bajos de cauces. Este principio no debe convertirse en una prueba de profundidad realizada por el lector. La guía no proporciona ninguna altura de agua que permita cruzar a pie o en vehículo.

En la vida cotidiana, preparar una información clara puede evitar una decisión precipitada. Una familia puede acordar un medio para comunicar un cambio de programa; una asociación puede indicar el lugar alternativo de una reunión; un centro tiene sus propias instrucciones. Estos acuerdos no aseguran el funcionamiento de la red ni del transporte, pero limitan los malentendidos.

Las personas con necesidades particulares pueden requerir una preparación adaptada con los interlocutores competentes. Este texto no diagnostica ninguna capacidad individual ni prescribe ningún cuidado. Invita a no suponer que todos disponen de los mismos medios para desplazarse, comprender un mensaje o cambiar rápidamente de programa.

8. Preparar también la información cuando falta la conexión

Un documento descargado sigue siendo legible sin conexión, pero un pronóstico o una alerta guardados no se actualizan por sí solos. El acceso local constituye una ventaja para aprender los términos y recuperar un procedimiento preparado. No garantiza conocer la situación actual. Mantened visible la fecha de los documentos cuya validez depende del tiempo.

Si una actividad exige datos recientes, la ausencia de conexión se convierte en una información sobre vuestra capacidad para decidir. No significa que el peligro sea nulo. Puede ser necesario buscar otro canal previsto por el organizador o aplazar. Ningún asistente sin conexión debe presentar una descripción general como un boletín del momento.

En un ejercicio ficticio, una salida se basa en una información especializada actualizada por la mañana. La red no funciona y ninguna otra fuente prevista está disponible. La conclusión no puede ser «el último mapa era favorable, por lo tanto salimos». Debe reconocer la carencia, consultar al responsable y aplicar los criterios establecidos de antemano. El valor de un proyecto no justifica inventar el dato que le falta.

Prepararse significa, por último, mantener la información accesible: títulos explícitos, fechas legibles, contactos apropiados e instrucciones breves. Una biblioteca llena de archivos sin referencias puede ralentizar la consulta. El índice y la clasificación de los documentos facilitan el acceso al conocimiento; no vuelven automáticamente actuales los contenidos consultados.

9. Ejercicios progresivos resueltos

Ejercicio A - Un evento ficticio se desarrolla de las 15 h a las 16 h, con instalación a las 13 h y regreso previsto a las 18 h. ¿Qué periodo hay que examinar? Solución: todo el periodo expuesto, desde la instalación hasta el regreso, teniendo en cuenta los desplazamientos y su duración. La sola franja abierta al público no resume las necesidades de información. El ejercicio no define un umbral para mantener la actividad.

Ejercicio B - Una aplicación muestra un viento medio moderado. ¿Se puede deducir que no habrá rachas importantes? Solución: no. Las dos variables difieren. Hay que leer las informaciones apropiadas, su unidad, su lugar y su periodo. Una media no constituye un límite superior de todas las variaciones.

Ejercicio C - Un pueblo se encuentra a una altitud distinta de la del itinerario previsto. ¿Basta una simple corrección de temperatura? Solución: no. El relieve, la exposición, el viento, la visibilidad y el estado del terreno añaden diferencias. Una relación escolar puede ayudar a comprender un mecanismo sin sustituir un pronóstico especializado ni una decisión supervisada.

Ejercicio D - ¿Por qué no basta el color de un índice de alud? Solución: sintetiza un peligro a una escala definida. Las condiciones del manto, el terreno, la evolución y las competencias siguen siendo pertinentes. La guía no propone una lectura que permita autorizar automáticamente una pendiente. Deben tenerse en cuenta las instrucciones oficiales y las de profesionales competentes.

Ejercicio E - Un documento local tiene una fecha antigua, mientras la actividad necesita una información actual. ¿Qué concluir? Solución: el documento conserva su interés didáctico o histórico, pero no responde a la necesidad de actualización. Buscar un canal

apropiado y aplicar los criterios del responsable; no transformar la ausencia de un dato nuevo en confirmación del anterior.

Ejercicio F - Preparad un mensaje de aplazamiento para una actividad ficticia. Propuesta: «La observación prevista para mañana se sustituye por una sesión interior según la decisión de quien supervisa la actividad. El lugar y la hora figuran en el programa actualizado. Analizaremos documentos grabados; esta sesión no necesita observar un fenómeno peligroso». El mensaje debe corresponder a una decisión real antes de utilizarse.

Ejercicio G - Una instalación puede trasladarse, pero el nuevo emplazamiento conserva la misma exposición al viento. ¿Es una alternativa protectora? Solución: no para el peligro considerado. Cambiar el nombre del lugar no modifica automáticamente las condiciones. El análisis debe comprobar el efecto real de la alternativa sin inventar una protección.

10. Errores frecuentes, repaso y referencias

No confundáis equipo con garantía, experiencia con conocimiento actual, calma instantánea con ausencia de peligro futuro. No deduzcáis el estado de un terreno de la sola meteorología del aire. No utilicéis un cálculo del curso como umbral operativo. El coste o el esfuerzo ya invertidos en un proyecto no eliminan una información desfavorable. Preparar una alternativa permite preservar el objetivo sin mantener la exposición.

Ficha de repaso: definir actividad, lugar y periodo completo; identificar las variables y los servicios especializados; conocer responsables e instrucciones; prever mantenimiento, adaptación o aplazamiento con criterios apropiados; comprobar las actualizaciones; reconocer los datos que faltan. La lectura sin conexión ayuda a aprender y a recuperar referencias, nunca a certificar una meteorología actual.

Météo-France, «Avalanche : quels dangers, comment réagir et s'informer ?», 5 de febrero de 2025: https://meteofrance.com/vigilance-et-securite/avalanche-quels-dangers-comment-reagir-et-sinformer ; «Météo-France et la mer», 8 de junio de 2026: https://meteofrance.com/meteo-a-z/meteo-france-et-la-mer . National Weather Service, «Lightning safety»: https://www.weather.gov/safety/lightning-safety .

Ministerio francés encargado de la Transición Ecológica, dossier sobre lluvias intensas e inundaciones: https://www.ecologie.gouv.fr/dossiers/comprendre-risques-naturels-sen-proteger/savoir-pluies-intenses-inondations-france . Fuentes primarias consultadas el 11 de octubre de 2026. Una sola cita literal de cinco palabras del National Weather Service en este capítulo; ejemplos y ejercicios originales. No se proporciona ninguna meteorología actual ni procedimiento de cuidados.

CAPÍTULO 12 - Cuaderno meteorológico y ejercicios de síntesis: observar, comparar y reconocer los límites

1. Un cuaderno para aprender sin fabricar un pronóstico

Un cuaderno meteorológico reúne observaciones fechadas y descritas según un método. Permite relacionar los conceptos de la guía con datos, examinar una variación y reconocer lo que no se sabe. Por su sola existencia no constituye una estación oficial ni un sistema de alerta. Unas pocas mediciones locales no bastan para prever todas las condiciones de un trayecto, un territorio o una actividad expuesta.

El objetivo didáctico debe definirse antes de elegir las columnas. ¿Queréis estudiar las variaciones de temperatura a horas fijas, comparar descripciones de nubes o comprender la diferencia entre lluvia acumulada e intensidad? Una pregunta precisa exige datos apropiados. Una larga lista de informaciones sin procedencia puede dar una impresión de dominio y, al mismo tiempo, impedir verificar las comparaciones.

Se puede trabajar enteramente en el interior con datos guardados, fotografías antiguas con leyendas o series ficticias identificadas explícitamente. La observación directa nunca exige exponerse a un fenómeno peligroso. Si una instrucción o las condiciones hacen inapropiada la actividad, se utiliza una sesión interior o se aplaza según los responsables competentes. La necesidad de completar una tabla no justifica salir durante un peligro.

Las descripciones de nubes muestran el interés de un vocabulario compartido. La Organización Meteorológica Mundial recuerda el papel de Luke Howard, que propuso en 1803 una clasificación cuyos nombres se han conservado y desarrollado en parte. Esta

referencia histórica no establece que un observador principiante pueda identificar sin vacilar toda formación. Explica por qué una categoría definida y una descripción reproducible son más útiles que una impresión personal aislada.

2. Diseñar una ficha de observación trazable

Una primera línea describe la serie: pregunta estudiada, lugar aproximado útil, periodo, método y procedencia. Para un ejercicio escolar, no registréis innecesariamente datos personales. Puede bastar un identificador del punto de observación. Si la localización precisa es necesaria para un análisis científico supervisado, debe tratarse según las reglas del proyecto; la guía no pide publicar una dirección privada.

Cada registro lleva una fecha, una hora y una indicación de zona horaria. Distinguid la hora de medición, la hora de publicación y la hora en la que habéis guardado el dato. Un boletín publicado al mediodía puede contener una observación de las once. Un pronóstico publicado hoy puede referirse a mañana. La columna «tipo» puede tomar los valores observación, pronóstico guardado o dato ficticio. Mezclarlos sin distinción vuelve confusa la interpretación.

Para cada variable, indicad la unidad y el método. Una temperatura en grados Celsius no es una energía; una presión en hectopascales no es una altitud; una cantidad de lluvia en milímetros no es una velocidad. Precisad los periodos para los acumulados y las medias. Una velocidad de viento media durante un intervalo y una racha máxima no responden a la misma pregunta. La unidad por sí sola no define toda la medición.

Añadid una columna de calidad: dato disponible, ausente, estimado, corregido o método modificado. Un valor ausente no se convierte en cero. Una corrección no debe hacer desaparecer el

valor inicial sin dejar rastro: conservad el motivo y la versión útil para la comparación. Para una serie ficticia, escribid claramente esa procedencia en el título y en las tablas que puedan copiarse por separado.

3. Comparabilidad, instrumentos y emplazamiento

Un instrumento transforma una magnitud en una indicación según su funcionamiento. Su resolución describe el paso o el detalle mostrado; su exactitud se refiere a la proximidad a un valor de referencia en condiciones definidas. Mostrar dos decimales no demuestra una medición exacta a la centésima. El funcionamiento, la calibración, el emplazamiento y las condiciones de uso siguen siendo determinantes. Una estimación visual puede ser útil si se identifica como tal.

Comparar dos temperaturas exige saber cómo se han medido. Un aparato expuesto a la radiación, una superficie calentada y un instrumento destinado a medir el aire no describen automáticamente la misma magnitud. Una pantalla o un abrigo apropiados pueden limitar algunos efectos, pero no garantizan por sí solos la ausencia de todo sesgo. Para una verdadera red de medición, seguid los métodos y requisitos del servicio responsable; un ejercicio doméstico debe presentar sus límites.

Un cambio de emplazamiento puede producir una ruptura en una serie. Supongamos que un instrumento se traslada de un lugar ventilado a una zona cercana a una pared. Una subida observada después de este cambio no demuestra una evolución del clima. El método y el entorno también han variado. Anotad la ruptura, comparad solo lo que pueda compararse y evitad transformar una diferencia local de dispositivo en una tendencia general.

Lo mismo ocurre con los horarios. Comparar las nueve de un día y las quince del siguiente asocia variación entre días y variación a lo

largo de la jornada. Para estudiar una evolución a hora fija, elegid un método coherente e indicad las diferencias. No corrijáis arbitrariamente un valor para que se parezca al anterior. La calidad científica procede de la trazabilidad y del examen, no de una tabla artificialmente regular.

4. Describir antes de interpretar

Separad una columna de constatación y una de hipótesis. «Aparece una capa de nubes en la fotografía de las once» describe lo que se observa, con los límites de la imagen. «Anuncia necesariamente lluvia dentro de una hora» añade una conclusión que no está justificada por la sola fotografía. Una hipótesis debe llevar ese nombre y precisar las informaciones que podrían apoyarla o contradecirla.

Describid las nubes con categorías prudentes: aspecto, extensión aparente, evolución en imágenes fechadas y género probable cuando los criterios sean visibles. Una perspectiva limitada no siempre permite determinar la altura. Un cielo oculto por un edificio no debe anotarse como enteramente despejado. Cuando sean posibles varias identificaciones, escribid la duda en lugar de elegir una certeza decorativa.

Para el viento, las hojas o los objetos visibles proporcionan indicios, pero no dan necesariamente una velocidad medida a una altura normalizada. La presencia de un movimiento local puede depender del terreno o de los obstáculos. Si no disponéis de una medición apropiada, utilizad una descripción cualitativa identificada. Una conversión aproximada no debe mostrarse como una medición instrumental.

Después, la interpretación relaciona varias informaciones: temperatura, humedad, presión, nubes, evolución y contexto. Esta relación no autoriza una conclusión automática. Los mecanismos

estudiados dan posibilidades y condiciones; todavía hacen falta datos suficientes. Un cuaderno riguroso puede concluir «informaciones insuficientes para decidir». Esta respuesta es más útil que una predicción inventada para rellenar todas las casillas.

5. Primeros cálculos sobre una serie ficticia

Consideremos cuatro temperaturas ficticias: 9 °C a las ocho, 11 °C a las once, 14 °C a las catorce y 12 °C a las diecisiete. Su media aritmética es (9 + 11 + 14 + 12) / 4 = 11,5 °C. Describe estas cuatro muestras. No se convierte automáticamente en la media de toda la jornada, porque no se han observado las otras horas y no se precisa el método oficial de cálculo de la media.

El mínimo de los cuatro valores es 9 °C y el máximo 14 °C; su rango es de 5 °C. Son el mínimo, el máximo y el rango de la muestra. Escribir «temperatura mínima del día: 9 °C» sería injustificado si no se ha medido la noche. Entre las once y las catorce, la diferencia es de 3 °C en tres horas, es decir, una variación media de 1 °C por hora. Esta media no describe cada minuto.

Para una serie ficticia de lluvia acumulada, el contador indica 2 mm a las ocho y 5 mm al mediodía. Si el dispositivo no se ha puesto a cero y los valores son comparables, el acumulado adicional es de 3 mm en cuatro horas. La tasa media en este intervalo es de 0,75 mm por hora. No demuestra ni una lluvia continua ni una intensidad máxima de 0,75 mm por hora: los 3 mm pueden haber caído de forma desigual.

Si se produjo una puesta a cero a las diez, la diferencia directa entre las dos indicaciones pierde su significado. Hay que conocer los valores antes y después de la operación o reconocer que el acumulado no puede reconstruirse solo con los datos disponibles. Este ejemplo muestra por qué los metadatos forman parte de la

medición. Un cálculo exacto aplicado a datos no comparables produce una conclusión falsa.

6. Gráficos, tendencias y datos ausentes

Un gráfico debe mostrar un título, ejes, unidades y un periodo. Si las horas son irregulares, sus posiciones deben respetar esa irregularidad en un eje temporal. Cuatro puntos igualmente espaciados en la página pueden hacer creer que los intervalos son iguales. Una línea entre dos observaciones representa una unión gráfica; no demuestra que se hayan medido todos los valores intermedios.

Cuando falta el dato de las once, no lo sustituyáis silenciosamente por un valor interpolado. Una interpolación propone una estimación basada en una hipótesis de variación. Puede servir para un ejercicio, pero debe distinguirse de la observación. La media de los valores restantes es la de una muestra diferente. Por tanto, comparar días con periodos de medición distintos requiere especial atención.

Una sucesión de tres días más cálidos no establece por sí sola una tendencia climática. Hay que examinar duración, variabilidad, método y contexto. Una tendencia se refiere a un conjunto y a un método de análisis apropiados. Un cuaderno breve puede documentar un episodio local, no representar automáticamente una región entera ni el clima mundial. Este límite no elimina su interés para comprender las variaciones y aprender el método.

Evitad también elegir una escala que exagere u oculte una diferencia sin explicarlo. Un eje que comienza en 10 °C puede hacer visible una pequeña variación, pero debe mantener una graduación clara. Una gran superficie coloreada no sustituye a los valores. Para comparar dos gráficos, comprobad las escalas antes de interpretar la forma. La presentación debe ayudar a

comprender lo que se ha medido, no producir una impresión predeterminada.

7. Leer conjuntamente presión, humedad y pronóstico

Una presión ficticia disminuye de 1 014 hPa a 1 008 hPa entre dos registros realizados en el mismo punto según el mismo método. La diferencia es de −6 hPa. Esta constatación no anuncia automáticamente un fenómeno preciso. Un pronóstico necesita, entre otras cosas, un contexto espacial y temporal, la evolución de los sistemas y las otras variables. Comprobad también si los valores son presiones locales o reducidas al nivel del mar: su comparación no siempre es inmediata.

Supongamos una temperatura de 12 °C y un punto de rocío de 8,3 °C. Su diferencia es de 3,7 °C. Informa sobre la proximidad de algunas condiciones de saturación, pero no basta para prever la formación de niebla en un lugar y a una hora determinados. Intervienen enfriamiento, mezcla, aportes de humedad y situación local. Una hipótesis puede estudiarse con datos adicionales; no debe transformarse en un resultado adquirido.

Guardad por separado los pronósticos para compararlos después con las observaciones sin modificar retrospectivamente su contenido. Una ficha de pronóstico comprende proveedor, fecha de emisión, lugar, plazo, variable y su definición. Una probabilidad de precipitación no se compara directamente con una cantidad en milímetros. Una media prevista y un valor máximo observado no son dos formulaciones de la misma medición.

Para una verificación, elegid la regla antes de observar el resultado. En un ejercicio podéis medir la diferencia entre temperatura prevista y observada para un horario definido. Si después cambiáis el horario para obtener una diferencia menor, ya no verificáis la pregunta inicial. Documentar un error no es un

fracaso didáctico: permite examinar el dato, la definición y los límites del pronóstico.

8. Taller de síntesis resuelto

Ejercicio A - Una serie ficticia proporciona 10, 13 y 16 °C a tres horas. Calculad media y rango; después indicad un límite. Solución: media de 13 °C; rango de 6 °C. Estos cálculos se refieren a los tres valores. Sin medición de las otras horas, no se puede anunciar la media ni los extremos de toda la jornada. El límite debe formularse en la leyenda, no olvidarse después del cálculo.

Ejercicio B - Un acumulado pasa de 4 a 10 mm durante dos horas, sin puesta a cero. ¿Qué se puede establecer? Solución: 6 mm adicionales y una tasa media de 3 mm por hora. No se conoce ni la duración exacta de cada episodio ni su intensidad máxima. Una lluvia intermitente puede producir el mismo acumulado que una lluvia más regular. Faltan observaciones más detalladas para distinguirlas.

Ejercicio C - Una tabla indica «lluvia: cero» allí donde el sensor no ha transmitido ningún dato. Corregidlo. Respuesta: sustituir el valor por dato ausente y anotar la incidencia conocida. Cero afirma una medición; la ausencia de transmisión no la establece. Si se utiliza otra fuente, deben aparecer su procedencia y las condiciones de comparación. No se mezclan discretamente dos métodos para completar la serie.

Ejercicio D - Los pronósticos ficticios de temperatura son 12, 14 y 13 °C; las observaciones correspondientes, 11, 15 y 13 °C. Calculad las diferencias de pronóstico menos observación y la media de sus valores absolutos. Solución: +1, −1 y 0 °C; media absoluta (1 + 1 + 0) / 3, es decir, aproximadamente 0,67 °C. La media con signo es cero, pero aquí oculta dos diferencias no nulas que se compensan.

Ejercicio E - Dos grupos comparan sus registros. El primero mide el aire a horas fijas; el segundo anota una temperatura superficial cuando puede acceder al lugar. ¿Se puede concluir que un barrio es más cálido? Solución: difieren las variables, los horarios y los métodos. Esa comparación por sí sola no justifica la conclusión. Hay que definir una pregunta común y mediciones comparables o conservar las dos series como observaciones de fenómenos distintos.

Ejercicio F - Una aplicación contiene un mapa antiguo que ya no muestra la fecha después de una copia. Una salida necesita información actual. ¿Qué uso es legítimo? Solución: el mapa puede servir, en su caso, para un análisis histórico si se recupera su procedencia. No puede confirmar las condiciones actuales. Buscar la información oficial fechada y aplicar las instrucciones; no tomar la ausencia de una nueva alerta en el archivo como prueba de seguridad.

Ejercicio G - De veinte jornadas ficticias anunciadas con una probabilidad de lluvia del 50 %, doce contienen el acontecimiento definido. ¿Es el pronóstico definitivamente malo? Solución: doce de veinte representa un 60 %, pero un conjunto pequeño fluctúa. Hay que examinar la definición, los casos comparables y una serie suficiente. Una diferencia puntual no establece por sí sola una mala calibración ni una garantía de buena calibración. El resultado sigue siendo una observación que debe integrarse en el análisis.

Ejercicio H - Formulad una conclusión de cuaderno sin prever mañana. Propuesta: «En las cuatro horas observadas según el mismo método, la temperatura primero aumentó y después disminuyó. Los valores ausentes de la noche impiden determinar los extremos diarios. La serie describe este punto y este periodo; no basta para establecer una tendencia climática». Esta conclusión relaciona resultado, método y límite sin pretender más.

9. Tres dificultades adicionales: incertidumbre, ángulo y conversión

Una comparación puede referirse a valores rodeados de una incertidumbre conocida dentro del ejercicio. Supongamos dos temperaturas ficticias: 9,7 °C y después 10,5 °C, cada una asociada a un límite de error absoluto de 0,3 °C. El primer valor es entonces compatible, según esa hipótesis, con el intervalo de 9,4 a 10,0 °C; el segundo, con el de 10,2 a 10,8 °C. La subida está comprendida entre 0,2 y 1,4 °C si los límites anunciados cubren efectivamente los errores considerados.

La diferencia entre las indicaciones es de 0,8 °C, pero la precisión de esta diferencia no debe presentarse como infinita. El razonamiento sobre los límites ha utilizado el caso desfavorable: valor inicial más alto y final más bajo, y después el inverso. Este cálculo no proporciona una probabilidad de subida. Un límite de error, una desviación típica y un intervalo de confianza no son formulaciones intercambiables. Hay que conocer el método que los define antes de utilizar sus números.

Si el mismo instrumento presenta un sesgo constante, una parte de ese sesgo puede desaparecer en una diferencia. Sin embargo, no se puede suponer sin comprobarlo que todos los efectos sean constantes. También pueden intervenir un desplazamiento, una radiación cambiante o una modificación del método. Para un cuaderno didáctico, el objetivo no es producir una corrección sofisticada sin datos; es mostrar las hipótesis y no prometer más precisión de la que permite la medición.

Los ángulos introducen otra dificultad. Dos direcciones próximas al norte, 350° y 10°, no deben promediarse como dos temperaturas. La media aritmética ordinaria da 180°, es decir, el sur, cuando las direcciones rodean el norte. Los ángulos son periódicos: 360° y 0° designan la misma dirección. Un análisis apropiado puede

representar las direcciones mediante vectores y después examinar su suma y su longitud.

En este ejemplo ficticio, dos vectores unitarios de igual peso, situados simétricamente a uno y otro lado del norte, tienen una suma dirigida hacia el norte. Esta construcción no es un procedimiento universal para promediar el viento real: también hay que precisar las velocidades, las duraciones y el método del proveedor. Dos direcciones exactamente opuestas de igual peso tendrían una suma nula; entonces sería engañoso anunciar una dirección media bien definida. Comprobad, por último, la convención: una dirección meteorológica del viento indica habitualmente de dónde viene, no adónde va.

Una conversión de unidad también debe respetar la magnitud. Para convertir una temperatura de grados Celsius a grados Fahrenheit, la relación es T°F = 1,8 × T°C + 32. Así, 20 °C corresponde a 68 °F. Pero una diferencia de temperatura de 3 °C corresponde a una diferencia de 5,4 °F: no se le añade 32. La constante se refiere al origen de la escala, no a cada variación. Distinguir valor absoluto en una escala y diferencia evita este error.

Ejercicio complementario - Dos temperaturas ficticias son de 8,0 y 8,2 °C, con límites de error de 0,4 °C para cada una. ¿Se puede afirmar una subida segura en este modelo de límites? Solución: los intervalos son de 7,6 a 8,4 °C y de 7,8 a 8,6 °C. Se solapan; las indicaciones y estos límites por sí solos no bastan para determinar el signo real de la diferencia. La diferencia entre los valores mostrados es positiva, pero el resultado debe conservar este límite.

Ejercicio complementario - Un archivo contiene dos líneas con la misma hora local, sin fecha completa ni zona horaria. ¿Se pueden ordenar con certeza? Solución: no a partir de estas informaciones

por sí solas. Un cambio de fecha, de zona horaria o de hora civil puede crear una ambigüedad. Hay que recuperar los metadatos; no inventar un orden basándose únicamente en la posición de las líneas. Esta precaución se refiere a la trazabilidad, independientemente del tiempo meteorológico observado.

10. Transformar las observaciones en repaso activo

Construid una página de síntesis con cuatro casillas: fenómeno, mecanismo, dato pertinente y límite. Para el viento, el mecanismo relaciona, entre otros factores, gradientes de presión, rotación terrestre y rozamiento; el dato pertinente depende de la pregunta: media o racha, dirección y periodo. El límite recuerda que un simple movimiento de hojas no proporciona todas estas mediciones. Para las precipitaciones, distinguid formación, acumulado y distribución temporal.

Añadid una casilla «lo que debo comprobar en una información actual». Puede contener fecha, lugar, periodo de validez, servicio responsable, naturaleza del dato e instrucciones asociadas. Esta casilla no debe completarse de una vez para siempre a partir de la presente guía: designa los elementos que hay que examinar cuando la actividad lo exige. Una ficha sin conexión sirve para recordar el método, no para mostrar condiciones actuales.

Para preparar un repaso, explicad a alguien por qué presión y altitud no son la misma magnitud, por qué la humedad relativa varía con la temperatura, por qué una nube no es prueba suficiente de lluvia inmediata y por qué una probabilidad no es una duración. Después haced un ejercicio numérico e indicad la unidad. Por último, presentad un límite de vuestra respuesta. Este procedimiento comprueba una comprensión más sólida que el reconocimiento de una palabra.

Releed vuestro cuaderno con una pregunta crítica: ¿podría otra persona comprender de dónde proceden mis datos y repetir los cálculos? Si la respuesta es no, completad los metadatos o reducid la conclusión. También podéis examinar dos interpretaciones contrapuestas y precisar qué observación permitiría distinguirlas. No se trata de buscar una certeza en cada línea, sino de aprender a ajustar las afirmaciones a las pruebas.

11. Errores frecuentes y ficha final

No confundáis cero y ausencia, acumulado e intensidad, media y extremo, hora de emisión y hora de validez, observación y pronóstico, tiempo meteorológico a corto plazo y clima. No borréis los cambios de instrumento o de lugar. No deduzcáis una causa segura de una simple sucesión. No convirtáis una fotografía ni una medición local en una autorización para una actividad expuesta. La guía no sustituye a ningún servicio oficial ni responsable competente.

Ficha de repaso final: pregunta precisa; procedencia identificable; lugar y periodo adecuados; unidades y métodos explícitos; datos ausentes señalados; cálculos verificados; resultado distinto de la hipótesis; comparación proporcionada; límites escritos; informaciones actuales buscadas en los canales apropiados cuando sean necesarias. Un cuaderno logrado puede contener incertidumbres. Falla sobre todo cuando las oculta bajo cifras o conclusiones demasiado amplias.

El conjunto de la guía relaciona energía, presión, humedad, nubes, frentes, fenómenos peligrosos, modelos, probabilidades y decisión. Ninguno de estos elementos debe convertirse en una regla mágica aislada. Comprender un mecanismo ayuda a plantear mejores preguntas; reconocer lo que falta ayuda a evitar una conclusión engañosa. Para aprender sin conexión, estas dos capacidades son

complementarias. Para una decisión real, deben relacionarse con informaciones fechadas e instrucciones competentes.

12. Referencias y procedencia

Organización Meteorológica Mundial, «Classifying clouds», referencia histórica a Luke Howard y a la clasificación de 1803: https://public.wmo.int/world-meteorological-day-2017/classifying-clouds ; Atlas Internacional de Nubes, géneros: https://cloudatlas.wmo.int/en/principles-of-cloud-classification-genera.html . Met Office, observaciones y su papel en la comprensión meteorológica: https://weather.metoffice.gov.uk/learn-about/how-forecasts-are-made/observations .

Oficina Internacional de Pesas y Medidas, folleto sobre el Sistema Internacional de Unidades: https://www.bipm.org/en/publications/si-brochure . Fuentes primarias consultadas el 11 de octubre de 2026. No hay ninguna cita literal de terceros en este capítulo; todos los datos numéricos de los ejercicios y las situaciones del cuaderno son ficticios y originales. No se proporciona ninguna observación actual, pronóstico operativo ni alerta en tiempo real.