



**Pregunta nº 1:**

El gradiente térmico establecido para una atmósfera estándar en una capa que va desde la superficie a la tropopausa es:

- A)  $-0,65 \text{ K/km}$
- B)  $-10 \text{ K/km}$
- C)  $-6,5 \text{ K/km}$
- D)  $-1 \text{ K/km}$

**Pregunta nº 2:**

¿En qué unidad deberían expresarse, en el Sistema Internacional, los diversos módulos de elasticidad?

- A)  $\text{N/m}$
- B)  $\text{N m}^{-2}$
- C)  $\text{N m}^2$
- D)  $\text{N m}$

**Pregunta nº 3:**

Los frentes se caracterizan por poseer:

- A) intensos gradientes verticales de temperatura, alta inestabilidad estática y fuerte cizalladura horizontal y vertical del viento
- B) intensos gradientes horizontales de temperatura, alta estabilidad estática y fuerte cizalladura horizontal y vertical del viento.
- C) suaves gradientes horizontales de temperatura, alta inestabilidad estática y fuerte cizalladura horizontal y vertical del viento
- D) intensos gradientes horizontales de temperatura, alta inestabilidad estática y fuerte cizalladura horizontal y vertical del viento

**Pregunta nº 4:**

El vector Q de Hoskins combina los dos términos forzantes de la ecuación omega de manera que:

- A) Q representa las variaciones espaciales del campo de temperatura debidas a variaciones en el viento geostrofico.
- B) Q describe el flujo de calor diatérmico por unidad de masa debido a radiación, conducción y liberación de calor latente.
- C) Q representa el cambio del gradiente horizontal de temperatura forzado por el movimiento geostrofico.
- D) Q describe el forzamiento cuasigeostrofico del movimiento vertical.



**Pregunta nº 5:**

La potencia recibida por la antena de un radar meteorológico debido a la atenuación del haz causada por la absorción y la dispersión del medio que se encuentra entre el radar y el blanco que se encuentra a una distancia  $r$ , viene dada por:

A)  $P_0 \int_0^r -2k_L dr$

B)  $P_0 \log \left( \int_0^r -2k_L dr \right)$

C)  $P_0 e^{\int_0^r -2k_L dr}$

D)  $P_0 \int_0^r k_L dr$

Siendo  $P_0$  la potencia que hubiera sido recibida sin atenuación y  $k_L$  el coeficiente de atenuación.

**Pregunta nº 6:**

Imagine una isla en el Índico Sur cuya costa oriental se extiende durante unos cientos de kilómetros en la dirección norte-sur de manera aproximadamente rectilínea. Diga de qué rumbo proceden los vientos habituales en la zona si sabemos que las corrientes marinas que generan dan lugar a un afloramiento en esas costas.

- A) Del sur.
- B) Del sudeste.
- C) Del este.
- D) Del norte.

**Pregunta nº 7:**

En la compresión adiabática de un gas ideal:

- A) aumentan tanto la temperatura como la energía interna de la parcela de gas.
- B) disminuyen tanto la temperatura como la energía interna de la parcela de gas.
- C) aumenta la temperatura y disminuye la energía interna de la parcela de gas.
- D) disminuye la temperatura y aumenta la energía interna de la parcela de gas.



**Pregunta nº 8:**

Indique cual es la opción correcta:

- A) El flujo radiante representa una densidad de energía radiante.
- B) La irradiancia representa una densidad de energía radiante.
- C) La radiancia representa una densidad de potencia radiante.
- D) La irradiación representa una densidad de energía radiante.

**Pregunta nº 9:**

En el hemisferio norte, en ocasiones, los vórtices zonales del oeste son interrumpidos en medio del invierno. Como consecuencia se destruye el vórtice y se produce un calentamiento a gran escala de la atmósfera polar que tiene las siguientes consecuencias:

- A) Se invierte el gradiente meridional de temperatura y se crea una corriente circumpolar del oeste.
- B) Se invierte el gradiente meridional de temperatura y se crea una corriente circumpolar del este.
- C) Se invierte el gradiente zonal de temperatura y se crea una corriente circumpolar del oeste.
- D) Se invierte el gradiente zonal de temperatura y se crea una corriente circumpolar del este.

**Pregunta nº 10:**

El dispersómetro (scatterometer) ASCAT montado en la serie de satélites MetOp de EUMETSAT opera en la banda-C de microondas (4-8GHz) ¿En qué condiciones se puede depositar más confianza en las medidas de viento cerca de la superficie que proceden de ese instrumento cuando estas aparecen etiquetadas como 'contaminadas' por precipitación?

- A) Con velocidades del viento inferiores a 10 kn
- B) Con velocidades del viento entre 10 kn y 20 kn
- C) Con velocidades del viento entre 20 kn y 30 kn
- D) Con velocidades del viento superiores a 30 kn

**Pregunta nº 11:**

Se dispone de un ordenador monoprocesador que permite multiprogramación, para lo cual es preciso:

- A) utilizar técnicas de multiplexación en el tiempo.
- B) utilizar técnicas de ejecución de programas en tiempo real.
- C) utilizar técnicas de ejecución en tiempo compartido.
- D) fragmentar de forma lógica la memoria caché en tantas partes como programas en ejecución tengamos.



**Pregunta nº 12:**

Sea  $p_1$ , y  $p_2$  las presiones correspondientes a dos superficies de presión, que delimitan un estrato. Sea  $R$  la constante de los gases para el aire seco, y  $g$  la media global de la gravedad, y  $T$  la temperatura media del estrato. ¿Cual de las siguientes expresiones determinan el espesor del estrato mencionado?

A)  $z = \frac{RT}{g_0} \ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right)$

B)  $z = \frac{RT}{g_0} \ln(p_1 - p_2)$

C)  $z = \frac{R}{g_0 T} \ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right)$

D)  $z = \frac{R}{g_0 T} \ln(p_1 - p_2)$

**Pregunta nº 13:**

El umbral de la nucleación homogénea por sublimación en la atmósfera se sitúa en torno a la temperatura de:

- A)  $-15^\circ\text{C}$
- B)  $-60^\circ\text{C}$
- C)  $0^\circ\text{C}$
- D)  $-40^\circ\text{C}$

**Pregunta nº 14:**

El dióxido de carbono de carácter antropogénico, emitido desde la era industrial hasta el 2013, según datos del IPCC:

- A) se ha acumulado en mayor cantidad en la atmósfera que en el océano.
- B) se ha acumulado en menor cantidad en la atmósfera que en el océano.
- C) se ha acumulado en cantidades aproximadamente iguales en la atmósfera y en el océano.
- D) existe cierta controversia, ya que dependiendo de las mediciones, unas apuntan a una mayor cantidad en la atmósfera que en océano, y en otras lo opuesto.



**Pregunta nº 15:**

¿El módulo del vector desplazamiento es siempre igual a la distancia recorrida sobre la trayectoria?

- A) Sí, siempre.
- B) No, nunca.
- C) No, solo si el vector velocidad es acelerado.
- D) No, solo si el vector velocidad es constante.

**Pregunta nº 16:**

La energía procedente del sol que llega a la tierra se distribuye de la siguiente manera:

- A) 60% llega a la superficie terrestre (40% directa + 20% difusa); 10% devuelta al espacio por el sistema tierra-atmósfera; 30% absorbida por la atmósfera.
- B) 80% llega a la superficie terrestre (40% directa + 40% difusa); 5% devuelta al espacio por el sistema tierra-atmósfera; 15% absorbida por la atmósfera.
- C) 80% llega a la superficie terrestre (40% directa + 40% difusa); 15% devuelta al espacio por el sistema tierra-atmósfera; 5% absorbida por la atmósfera.
- D) 50% llega a la superficie terrestre (25% directa + 25% difusa); 30% devuelta al espacio por el sistema tierra-atmósfera; 20% absorbida por la atmósfera.

**Pregunta nº 17:**

Sobre las curvas de temperatura del punto de rocío y temperatura de una burbuja de aire en un diagrama termodinámico se necesitan dos puntos en este para representar el estado termodinámico de la burbuja de aire. Si este estado viene representado por dos ternas de valores, la primera terna referida a la curva de temperatura de rocío y la segunda terna a la curva de la temperatura, señale cual de estas opciones es la correcta para representar el estado de la burbuja:

- A)  $(p, T_d, r_s), (p, T, r_s)$
- B)  $(p, T, r_s), (p, T_d, r_s)$
- C)  $(p, T, r_s), (p, T, r)$
- D)  $(p, T_d, r), (p, T, r_s)$

Donde  $p$  es la presión del aire,  $T$  su temperatura,  $T_d$  su temperatura de rocío;  $r$  y  $r_s$  sus razones de mezcla actual y saturante, respectivamente.



**Pregunta nº 18:**

De acuerdo con un modelo climático cero-dimensional, ¿cuál es el factor planetario de control que afecta a la temperatura de equilibrio de la superficie terrestre?

- A) La constante solar.
- B) Los flujos convectivos.
- C) El albedo terrestre.
- D) La constante de Stefan-Boltzmann.

**Pregunta nº 19:**

En un hemisferio, los episodios de niebla por advección ocurren con mayor frecuencia:

- A) durante la estación cálida.
- B) durante la estación fría.
- C) cerca de los trópicos.
- D) en el interior de los continentes.

**Pregunta nº 20:**

Si la atmósfera presenta estratificación estable se cumple que:

- A) la temperatura potencial crece monótonamente con la altura.
- B) la temperatura potencial decrece monótonamente con la altura.
- C) la temperatura potencial se mantiene constante con la altura.
- D) el gradiente de temperatura potencial decrece monótonamente con la altura.

**Pregunta nº 21:**

Señale la afirmación correcta referente al arco iris:

- A) Se forma por difracción de la luz solar al atravesar las gotas de lluvia.
- B) Se forma por la refracción de la luz al atravesar las gotas de lluvia, produciéndose en cada una de ellas una reflexión interna total.
- C) La longitud del radio del arco iris varía en forma proporcional al tamaño de las gotas de lluvia.
- D) La longitud del radio del arco iris varía en forma inversa al tamaño de las gotas de lluvia.



**Pregunta nº 22:**

De los teoremas de circulación podemos concluir que:

- A) para un fluido barotrópico en movimiento, se mantiene constante la circulación absoluta.
- B) para un fluido barotrópico en movimiento, se mantiene constante la circulación relativa.
- C) la circulación relativa permanecerá constante si el término solenoidal es nulo.
- D) la circulación relativa no depende del término solenoidal.

**Pregunta nº 23:**

Supongamos que la órbita solar variase produciendo un aumento de la distancia media entre la Tierra y el Sol. Admitiendo que la constante solar se mantuviese constante, la fracción entre el flujo solar total en la cima de la atmósfera terrestre y el interceptado por la Tierra:

- A) se mantendría constante.
- B) dependería del albedo terrestre.
- C) aumentaría.
- D) disminuiría.

**Pregunta nº 24:**

El mecanismo de retroalimentación hielo-albedo:

- A) es un mecanismo de retroalimentación positivo.
- B) provoca una disminución de las áreas de nieve y hielo sobre la superficie terrestre.
- C) provoca un aumento de las áreas de nieve y hielo sobre la superficie terrestre.
- D) es un mecanismo de retroalimentación negativo.

**Pregunta nº 25:**

Una de las mayores ventajas de los sensores a bordo de satélites en orbitas geoestacionarias con respecto a aquellos que se encuentran en satélites en órbitas polares heliosíncronas es:

- A) la resolución espacial de las imágenes en longitudes de onda en el rango infrarrojo cercano y medio es mucho mejor.
- B) la resolución temporal de las imágenes tomadas permite la vigilancia de tormentas convectivas.
- C) la posibilidad de utilizar sensores de microondas que permiten estimaciones de la precipitación más precisas que los sensores infrarrojos.
- D) toman imágenes siempre con las mismas condiciones de iluminación independientemente de la hora del día.



**Pregunta nº 26:**

La teoría cuasigeostrófica describe los sistemas dinámicos de movimiento en la atmósfera a escala sinóptica mediante dos ecuaciones:

- A) una ecuación de pronóstico para el geopotencial y una ecuación de diagnóstico para el cálculo del movimiento vertical.
- B) una ecuación de pronóstico para la tendencia del geopotencial y una ecuación de diagnóstico para el cálculo del movimiento horizontal.
- C) una ecuación de diagnóstico para el geopotencial y una ecuación de pronóstico para el cálculo del movimiento horizontal.
- D) una ecuación de pronóstico para la tendencia del geopotencial y una ecuación de diagnóstico para el cálculo del movimiento vertical.

**Pregunta nº 27:**

¿En qué condiciones se localiza a mayor profundidad la termoclina en el Pacífico tropical oriental durante los meses de enero a febrero?

- A) Cuando la circulación de Walker es más intensa.
- B) Durante un episodio La Niña.
- C) Durante un episodio El Niño.
- D) En condiciones normales, sin situación Niño ni Niña.

**Pregunta nº 28:**

Siendo  $\epsilon_r$  y  $\mu_r$  la permitividad y la permeabilidad relativas del medio respectivamente, el índice de refracción absoluto del medio se puede expresar como:

- A)  $(\epsilon_r \mu_r)^{1/2}$
- B)  $(\epsilon_r \mu_r)^{-1/2}$
- C)  $(\epsilon_r / \mu_r)^{1/2}$
- D)  $(\epsilon_r / \mu_r)^{-1/2}$





**Pregunta nº 29:**

Un piloto vuela en el hemisferio norte con viento de cola dentro de una corriente en chorro del frente polar. En un determinado momento la temperatura exterior empieza a disminuir rápidamente al tiempo que la turbulencia aumenta significativamente. ¿Con qué maniobra logrará el piloto salir de la zona de turbulencia lo más rápidamente posible?

- A) Corrigiendo el rumbo hacia el norte.
- B) Corrigiendo el rumbo hacia el sur.
- C) Perdiendo altura.
- D) Ganando altura.

**Pregunta nº 30:**

La oscilación cuasibienal se caracteriza por:

- A) ser zonalmente simétrica con alternancias del régimen de vientos hacia el este y el oeste.
- B) ser zonalmente simétrica con vientos hacia el este.
- C) el viento medio meridional y el campo de temperatura satisfacen la ecuación de equilibrio del viento térmico.
- D) el viento zonal no está en equilibrio geostrófico.

**Pregunta nº 31:**

Un cuerpo a temperatura  $T_1$  cede  $Q$  calorías al medio ambiente de temperatura  $T_2$ , siendo la temperatura del cuerpo mayor que la del ambiente. ¿Qué ocurrirá con la entropía del cuerpo en esta transformación irreversible?

- A) La entropía aumenta.
- B) La entropía disminuye.
- C) La entropía permanece constante.
- D) Depende del valor de las temperaturas.

**Pregunta nº 32:**

Por lo común, ¿Cuál es la variable espacial en los modelos de balance de energía de una dimensión, empleados en los estudio de retroalimentación hielo-albedo?

- A) Latitud.
- B) Longitud.
- C) Elevación sobre la superficie.
- D) Acimut respecto al meridiano de la posición de referencia.



**Pregunta nº 33:**

¿Qué niveles de OSI se agrupan en TCP/IP, en el nivel de Aplicación?

- A) Aplicación, Presentación y Sesión
- B) Presentación, Sesión y Transporte
- C) Aplicación, Presentación, Sesión y Transporte
- D) Unión, Conexión y Empalme

**Pregunta nº 34:**

¿Cuál de las siguientes no es una herramienta de copia remota de ficheros?

- A) rcp
- B) rsync
- C) ftp
- D) vtam

**Pregunta nº 35:**

Indique cuál de las siguientes afirmaciones es cierta:

- A) Las ligaduras holónomas de un sistema de Lagrange son aquellas que en su expresión no aparece explícitamente el tiempo.
- B) Las ligaduras esclerónomas también se conocen con el nombre de ligaduras fijas, y en ellas no aparece explícitamente el tiempo.
- C) La hamiltoniana de un sistema es siempre igual a la energía total del mismo.
- D) El conjunto de coordenadas generalizadas que puede describir un sistema es único.

**Pregunta nº 36:**

Para calcular la velocidad terminal de caída de una gotita de agua de radio  $r$  hay que igualar la fuerza de arrastre ejercida sobre una esfera de radio  $r$  por un fluido viscoso con la fuerza de la gravedad sobre dicha esfera. En el caso de gotitas con radios menores de 40 micras, la Ley de Stokes considera que dicha velocidad terminal de caída es proporcional a:

- A)  $r^{-1}$
- B)  $r$
- C)  $r^2$
- D)  $r^{1/2}$



**Pregunta nº 37:**

Indicar entre las siguientes normas del IEEE la que trata sobre redes de banda ancha

- A) 802.6
- B) 802.7
- C) 802.8
- D) 802.9

**Pregunta nº 38:**

Según la clasificación de Köppen, el subgrupo "f", referente al régimen de precipitaciones, se corresponde a:

- A) precipitaciones constantes a lo largo de todo el año.
- B) presencia de estación seca en verano.
- C) presencia de estación seca en invierno.
- D) precipitación de tipo monzónico.

**Pregunta nº 39:**

Un grafo dirigido que tiene un nodo especial desde el cual se puede alcanzar a cualquier otro nodo atravesando un número finito de arcos de forma única es:

- A) un grafo orientado a procesos.
- B) un grafo representado.
- C) una pila.
- D) un árbol.

**Pregunta nº 40:**

Las corrientes en chorro polar y subtropical en el hemisferio norte se caracterizan por:

- A) Las dos corrientes se localizan muy próximas a la tropopausa.
- B) Son perfectamente distinguibles durante todo el año.
- C) El chorro polar se intensifica en invierno y el subtropical se intensifica en verano.
- D) El número de Rossby es muy grande y no se mantiene el equilibrio geostrofico a lo largo de la corriente.



**Pregunta nº 41:**

Señale el tipo de engelamiento menos peligroso para el vuelo:

- A) Hielo debido a precipitación helada.
- B) Cencellada blanca.
- C) Hielo mixto.
- D) Hielo transparente.

**Pregunta nº 42:**

Supongamos una masa de aire seca que asciende en bloque al remontar una barrera orográfica. Si dicha masa de aire alcanza la saturación y es potencialmente estable, entonces, a partir de dicha masa de aire:

- A) no se puede formar ningún tipo de nube.
- B) solo se pueden formar nubes de tipo estratiforme.
- C) solo se pueden formar nubes de tipo cumuliforme.
- D) se pueden formar nubes tanto estratiformes como cumuliformes.

**Pregunta nº 43:**

Se entiende por firma electrónica avanzada:

- A) Firma electrónica que permite la identificación del signatario y ha sido creada por medios que éste mantiene bajo su exclusivo control, de manera que esté vinculada únicamente al mismo y a los datos a los que se refiere.
- B) Conjunto de datos, en forma electrónica, anejos a otros datos electrónicos o asociados funcionalmente a ellos, como medio para identificar formalmente al autor del documento que la recoge.
- C) Certificación electrónica que vincula unos datos de verificación de firma a un signatario y confirma su identidad.
- D) Persona física o jurídica que expide certificados, pudiendo prestar además otros servicios en relación con la firma electrónica.

**Pregunta nº 44:**

Las ondas acústicas se caracterizan por:

- A) Sólo pueden existir en un fluido con estratificación estable.
- B) Son ondas longitudinales que consisten en compresiones y expansiones adiabáticas del medio.
- C) Son ondas transversales que consisten en compresiones y expansiones adiabáticas del medio.
- D) Son ondas estacionarias que conservan la vorticidad absoluta.



**Pregunta nº 45:**

El ozono en la atmósfera se mide en Unidades Dobson (UD). Una medida de 1UD en un lugar que se encuentra a 1 atm de presión y 273K de temperatura, equivale a un espesor de ozono de:

- A) 1mm
- B) 10 mm
- C) 0,1 mm
- D) 0,01 mm

**Pregunta nº 46:**

Indica cuál de las siguientes afirmaciones es correcta:

- A) La resistencia al movimiento en un fluido con movimiento laminar es directamente proporcional a la velocidad y al coeficiente de viscosidad del medio.
- B) La resistencia al movimiento en un fluido con movimiento turbulento es directamente proporcional al cuadrado de la velocidad y al coeficiente de viscosidad del medio.
- C) La resistencia al movimiento en un fluido con movimiento laminar es directamente proporcional a la velocidad e independiente de la viscosidad del medio.
- D) La resistencia al movimiento en un fluido con movimiento laminar es inversamente proporcional a la velocidad y al coeficiente de viscosidad del medio.

**Pregunta nº 47:**

Cuando se emplean tablas en HTML, ¿cuál es el comando que permite definir nuevas filas de una tabla?:

- A) <TD>...</TD>
- B) <TR>...</TR>
- C) <TH>...</TH>
- D) <TF>...</TF>

**Pregunta nº 48:**

Considerando una onda electromagnética que se propaga en un medio dispersivo y homogéneo, indique cuál de las siguientes afirmaciones es correcta:

- A) La velocidad de fase de la onda electromagnética en dicho medio es independiente de su frecuencia.
- B) Cuando la velocidad de grupo es menor que la velocidad de fase se produce la dispersión anómala.
- C) Cuando la velocidad de grupo es mayor que la velocidad de fase se produce la dispersión normal.
- D) La ecuación de onda de Maxwell se reemplaza por la ecuación de onda con un término disipativo.



**Pregunta nº 49:**

En la clasificación de los aerosoles atmosféricos por su tamaño, se denominan núcleos de Aitken a aquellas partículas cuyo radio está comprendido entre:

- A) 0,1  $\mu\text{m}$  y 1  $\mu\text{m}$
- B) 1  $\mu\text{m}$  y 10  $\mu\text{m}$
- C) 0,1  $\mu\text{m}$  y 10  $\mu\text{m}$
- D) 0,001  $\mu\text{m}$  y 0,1  $\mu\text{m}$

**Pregunta nº 50:**

Seleccione la afirmación correcta referente a los modos de exploración de un radar meteorológico:

- A) El PPI es la exploración realizada por el radar a una elevación dada alrededor de su eje unos  $360^\circ$
- B) La precipitación detectada por el PPI de una elevación determinada, se encuentra a la misma altura sobre el nivel del mar.
- C) El PPI es el Indicador de Posición del Plan de Altitud Constante.
- D) Los datos tomados en el modo PPI vienen de diferentes distancias al radar correspondientes a una misma altura del terreno.

**Pregunta nº 51:**

Indique cuál de los siguientes, NO es un mecanismo de separación de cargas eléctricas de signo opuesto en una nube:

- A) Rotura de una gota de lluvia grande.
- B) Astillamiento de gotas subfundidas al congelarse.
- C) Separación de electrones debido a las ondas acústicas que generan los truenos.
- D) Colisiones entre partículas de hielo de diferente temperatura.

**Pregunta nº 52:**

¿Dónde hierve el agua a mayor temperatura, en Madrid o en Barcelona?

- A) En Madrid, porque está a mayor altitud y al disminuir la presión, aumenta la temperatura de ebullición.
- B) La temperatura de ebullición no varía porque es una propiedad característica de la materia.
- C) No depende del lugar en el que se encuentre la materia sino de la cantidad de calor que se transfiere.
- D) En Barcelona, porque está a menor altitud y al aumentar la presión, aumenta la temperatura de ebullición.



**Pregunta nº 53:**

Según el estándar SQL, una transacción es una secuencia de operaciones que:

- A) se inicia con una secuencia BEGIN TRANSACTION y termina con una sentencia END TRANSACTION.
- B) si se termina con una sentencia ROLLBACK, todos los cambios realizados desde el inicio de la sesión son cancelados.
- C) se inicia con la llamada a un procedimiento y se finaliza con una sentencia COMMIT o ROLLBACK.
- D) si no finaliza con una sentencia COMMIT, el sistema debe devolver un mensaje de error.

**Pregunta nº 54:**

En meteorología, se define el vector viento térmico, que está relacionado con el viento geostrofico. Se puede afirmar que:

- A) a partir de los datos obtenidos a través de un sondeo del perfil vertical del viento, es posible obtener una estimación razonable de la advección horizontal de temperatura.
- B) el viento térmico es paralelo al gradiente de temperatura.
- C) el viento térmico es perpendicular a las isobras de espesor.
- D) el viento térmico en el hemisferio norte deja el aire cálido a la izquierda de su sentido.

**Pregunta nº 55:**

El proceso ciclogénico más importante en latitudes medias es:

- A) las ondas de Rossby barotrópicas.
- B) la inestabilidad barotrópica.
- C) la inestabilidad baroclina.
- D) la corriente en chorro polar.

**Pregunta nº 56:**

¿El módulo del vector desplazamiento es siempre igual a la distancia recorrida sobre la trayectoria?

- A) Sí, siempre.
- B) No, nunca.
- C) No, solo si el vector velocidad es acelerado.
- D) No, solo si el vector velocidad es constante.



**Pregunta nº 57:**

En un frente ocluido:

- A) la distribución de advección de vorticidad absoluta ciclónica presenta un máximo en altura sobre la zona ocluida solamente en el caso de oclusión fría.
- B) la distribución de advección de vorticidad absoluta ciclónica presenta un mínimo en altura sobre la zona ocluida indistintamente del carácter térmico de la oclusión.
- C) la distribución de advección de vorticidad absoluta ciclónica presenta un máximo en altura sobre la zona ocluida indistintamente del carácter térmico de la oclusión.
- D) la distribución de advección de vorticidad absoluta ciclónica presenta un mínimo en altura sobre la zona ocluida solamente en el caso de oclusión fría.

**Pregunta nº 58:**

Un flujo se considera incompresible si:

- A) la densidad del fluido no permanece constante a lo largo de todo el flujo.
- B) la densidad del fluido permanece aproximadamente constante a lo largo de todo el flujo.
- C) se considera que el fluido es un gas y las velocidades son altas.
- D) se considera que el fluido es un gas, en cualquier caso.

**Pregunta nº 59:**

Las variaciones de geopotencial asociadas a perturbaciones tropicales a escala sinóptica son:

- A) del mismo orden de magnitud que en latitudes medias.
- B) un orden de magnitud mayor que en latitudes medias.
- C) un orden de magnitud menor que en latitudes medias.
- D) del mismo valor que en latitudes medias.

**Pregunta nº 60:**

En el mundo de la orientación a objetos, el fenómeno que permite que el mismo mensaje pueda originar conductas completamente diferentes al ser recibido por diferentes objetos se denomina:

- A) abstracción.
- B) encapsulación.
- C) polimorfismo.
- D) extensibilidad.





**Pregunta nº 61:**

Cuál de las siguientes afirmaciones es correcta:

- A) La constante específica de los gases del aire seco toma valores mayores que la del aire húmedo.
- B) Si forzamos la elevación de una parcela de aire cuya temperatura virtual es menor que la del ambiente que la rodea, dicha parcela acelerará hacia arriba ya que se encuentra en condiciones de inestabilidad.
- C) A temperaturas por debajo del punto de congelación, la presión saturante del vapor de agua sobre hielo es menor que sobre agua subfundida a la misma temperatura.
- D) Si forzamos el descenso de una parcela de aire cuya temperatura virtual es menor que la del ambiente que la rodea, dicha parcela volverá a su punto de partida ya que se encuentra en condiciones de estabilidad.

**Pregunta nº 62:**

En una atmósfera estática se cumple que:

- A) la fuerza de la gravedad debe estar en equilibrio exacto con la componente vertical de la fuerza del gradiente de presión.
- B) la fuerza de la gravedad debe estar en equilibrio exacto con la componente vertical de la fuerza de la presión.
- C) la fuerza de la gravedad es un valor constante en todos los puntos de la atmósfera.
- D) para los movimientos a escala sinóptica las aceleraciones horizontales son despreciables.

**Pregunta nº 63:**

Señale la afirmación FALSA:

- A) La temperatura equivalente es la máxima temperatura que una parcela de aire húmedo puede alcanzar por condensación.
- B) La temperatura del termómetro húmedo es la temperatura mínima que una parcela de aire húmedo puede alcanzar por evaporación.
- C) La temperatura del termómetro húmedo es invariante en las evaporaciones y condensaciones isentálpicas.
- D) Si dos masas de aire tienen la misma temperatura equivalente y una de ellas está saturada, su temperatura será la temperatura del termómetro húmedo de la otra.



**Pregunta nº 64:**

Según la teoría de Monin-Obukov, en los remolinos turbulentos:

- A) el flujo de energía turbulenta hacia las escalas más grandes se disipa por difusión viscosa.
- B) el flujo de energía turbulenta hacia las escalas más grandes se disipa por intercambio turbulento.
- C) el flujo de energía turbulenta hacia las escalas más pequeñas se disipa por difusión viscosa.
- D) el flujo de energía turbulenta es hacia escalas más pequeñas donde se disipa por difusión laminar.

**Pregunta nº 65:**

Se puede observar en los mapas de circulación general que:

- A) hay una inclinación hacia el oeste con la altura para las vaguadas y dorsales en la troposfera de latitudes altas.
- B) hay una inclinación hacia el este con la altura para las vaguadas y dorsales en la troposfera de latitudes altas.
- C) hay una inclinación hacia el norte con la altura para las vaguadas y dorsales en la troposfera de latitudes altas.
- D) hay una inclinación hacia el sur con la altura para las vaguadas y dorsales en la troposfera de latitudes altas.

**Pregunta nº 66:**

¿Cambiaría la luz amarillenta del farol de un tren si éste se acercara a nosotros con suficiente velocidad?

- A) No, el efecto Doppler no se produce en ondas electromagnéticas debido a su alta velocidad de propagación.
- B) Sí, aunque para que se apreciara el efecto Doppler, la velocidad del tren debería ser próxima a la de la luz y, en ese caso, la luz se haría más verdosa.
- C) Sí, aunque para que se apreciara el efecto Doppler, la velocidad del tren debería ser próxima a la de la luz y, en ese caso, la luz se haría más rojiza.
- D) No, el efecto Doppler no se produce en ondas transversales, sólo en ondas longitudinales como el sonido.



**Pregunta nº 67:**

Cuando en su evolución, el clima en la Tierra entra en una fase glacial sucede lo siguiente:

- A) Los chorros polares desaparecen, se intensifica la frontogénesis en latitudes medias y aumenta el contraste térmico polo-ecuador.
- B) Los chorros polares se aceleran, se intensifica la frontogénesis en latitudes medias y aumenta el contraste térmico polo-ecuador.
- C) Los chorros polares se frenan, disminuye la frontogénesis en latitudes medias y el contraste térmico polo-ecuador.
- D) Los chorros polares se frenan, se intensifica la frontogénesis en latitudes medias y aumenta el contraste térmico polo-ecuador.

**Pregunta nº 68:**

La energía mecánica de un satélite en una órbita de radio R es:

- A) 2 veces la energía potencial en dicha órbita.
- B) -2 veces la energía potencial en dicha órbita.
- C) -  $\frac{1}{2}$  de la energía potencial en dicha órbita.
- D)  $\frac{1}{2}$  de la energía potencial en dicha órbita.

**Pregunta nº 69:**

Según la teoría cinética de los gases, la temperatura absoluta de un cuerpo es una medida de:

- A) la energía cinética total de las partículas del gas.
- B) la energía cinética media de las partículas del gas.
- C) la energía potencial media de las partículas del gas.
- D) la energía potencial de las partículas del gas.

**Pregunta nº 70:**

Respecto al episodio NAO, se puede decir que:

- A) la fase NAO positiva conlleva inviernos secos en el sur de Europa.
- B) la fase NAO positiva conlleva inviernos húmedos en el sur de Europa.
- C) la fase NAO positiva disminuye la intensidad de los vientos del oeste a través del Atlántico.
- D) la fase NAO negativa se caracteriza por una diferencia de presiones mayor de lo habitual entre la baja de Islandia y la alta de las Azores.



**Pregunta nº 71:**

La principal fuente de energía de las perturbaciones sinópticas en latitudes medias es:

- A) los calentamientos diatérmicos por liberación de calor latente.
- B) la energía potencial zonal relacionada con el gradiente latitudinal de temperatura.
- C) el calentamiento radiativo.
- D) el desprendimiento de calor latente de los sistemas nubosos convectivos.

**Pregunta nº 72:**

Una carga eléctrica en movimiento entra en un campo magnético, ¿qué dirección tiene la fuerza de Lorentz que experimenta dicha carga?

- A) La misma dirección del movimiento de la carga.
- B) La misma dirección del campo magnético.
- C) La dirección del plano definido por los vectores velocidad y campo magnético, y su dirección depende del ángulo formado por ambos vectores.
- D) Perpendicular al plano definido por los vectores velocidad y campo magnético.

**Pregunta nº 73:**

¿Qué dimensiones tiene la entropía? ( $M$ =masa;  $L$ =longitud;  $t$ =tiempo;  $T$ =temperatura)

- A)  $M L^2 t^2 T^{-1}$
- B)  $M L^2 t^2 T^{-1}$
- C)  $M L^2 t^{-2} T^{-1}$
- D)  $M L^2 t^{-2} T^{-1}$

**Pregunta nº 74:**

¿Qué caracteriza a un anafrente?

- A) Una banda de precipitación que abarca una zona extensa situada delante del frente.
- B) Una estrecha banda de precipitación situada delante del frente.
- C) Una estrecha banda de precipitación situada detrás del frente.
- D) Una banda de precipitación que abarca una zona extensa situada sobre y detrás del frente.



**Pregunta nº 75:**

Los movimientos atmosféricos se rigen por las leyes físicas fundamentales de conservación de:

- A) masa, momento y energía.
- B) masa, fuerza de Coriolis y energía.
- C) masa, fuerza centrípeta y energía.
- D) masa, gradiente de presión y energía.

**Pregunta nº 76:**

Señale la afirmación correcta referente al campo eléctrico de buen tiempo:

- A) El campo eléctrico de buen tiempo es tal que la atmósfera está cargada negativamente respecto al suelo.
- B) El campo eléctrico de buen tiempo no es lineal con la altitud.
- C) En condiciones de buen tiempo el potencial se hace más negativo con la altitud.
- D) Los iones grandes, debido a su masa, adquieren velocidades mayores que los iones pequeños.

**Pregunta nº 77:**

En un proceso de nucleación heterogénea la curva de Köhler, que proporciona la razón de saturación de equilibrio en función del tamaño de las gotitas de disolución, indica que:

- A) para radios muy pequeños de gotitas de disolución, prevalece el efecto de curvatura al de disolución, por lo que, para humedades inferiores al 100%, estas gotitas tienden a evaporarse.
- B) para gotitas con radios mayores que  $r^*$ , para que la gotita crezca, es necesario un aumento de la razón de saturación ambiental.
- C) las gotitas con radios ligeramente inferiores a  $r^*$  crecen a causa de un aumento de la humedad relativa.
- D) la razón de saturación crítica es inferior a 1.

Siendo  $r^*$  el radio de equilibrio que se alcanza para la razón de saturación crítica.



**Pregunta nº 78:**

La fuerza que ejerce la radiación solar cuando incide perpendicularmente sobre una vela espacial de  $100 \text{ m}^2$  y coeficiente de reflexión 0.9, situada en una posición en la que la intensidad de esa radiación vale  $1370 \text{ W/m}^2$ , es aproximadamente de:

- A)  $2 \cdot 10^{-3} \text{ N}$
- B)  $9 \cdot 10^{-4} \text{ N}$
- C)  $4 \cdot 10^{-4} \text{ N}$
- D)  $6 \cdot 10^{-5} \text{ N}$

**Pregunta nº 79:**

Respecto al viento geostrófico podemos decir que:

- A) para movimientos a escala sinóptica en latitudes medias, el viento geostrófico es una estimación por exceso del viento equilibrado en una región de curvatura ciclónica.
- B) para movimientos a escala sinóptica en latitudes medias, el viento geostrófico es una estimación por exceso del viento equilibrado en una región de curvatura anticiclónica.
- C) se obtiene de suponer equilibrio entre la fuerza del gradiente de presión y la fuerza centrífuga.
- D) se obtiene de considerar un campo de presión uniforme.

**Pregunta nº 80:**

Sea una parcela de aire que asciende siguiendo un proceso adiabático seco. En cierto instante la parcela se encuentra a 300 metros por encima del nivel de mar, su temperatura es  $11^\circ\text{C}$  y su temperatura del punto de rocío es  $1^\circ\text{C}$ . ¿A qué altitud alcanzará aproximadamente la saturación?

- A) 800 metros
- B) 1200 metros
- C) 1500 metros
- D) 2100 metros

**Pregunta nº 81:**

El transporte de momento angular en latitudes medias de debe a:

- A) las ondas de Rossby.
- B) los movimientos turbulentos.
- C) la advección de momento angular absoluto por el flujo hacia el polo de la Célula de Hadley.
- D) las corrientes oceánicas.



**Pregunta nº 82:**

De acuerdo con un modelo climático cero-dimensional, ¿cuál es el factor planetario de control que afecta a la temperatura de equilibrio de la superficie terrestre?

- A) La constante solar.
- B) Los flujos convectivos.
- C) El albedo terrestre.
- D) La constante de Stefan-Boltzmann.

**Pregunta nº 83:**

¿Cuál de las siguientes direcciones IPv6 es correcta?

- A) :FF56::12::13D4
- B) 15::78A1:9982
- C) AAB2:12::15H3:149
- D) 1234:5678:9012:3456:7890:1234:5678

**Pregunta nº 84:**

¿Qué ocurre con los grandes anticiclones subtropicales de los dos hemisferios durante el verano en el hemisferio norte?

- A) Se desplazan hacia el polo en los dos hemisferios.
- B) En el hemisferio norte se desplazan hacia el polo y en el hemisferio sur se desplazan hacia el ecuador.
- C) Se desplazan hacia el ecuador en los dos hemisferios.
- D) En el hemisferio norte se desplazan hacia el ecuador y en el hemisferio sur se desplazan hacia el polo.

**Pregunta nº 85:**

Todos los fluidos reales poseen viscosidad y el flujo puede considerarse irrotacional solamente:

- A) a altos números de Reynolds y en regiones carentes de gradientes de velocidad.
- B) a bajos números de Reynolds y en regiones carentes de gradientes de velocidad.
- C) a altos números de Reynolds y en regiones con gradientes de velocidad.
- D) a bajos números de Reynolds y en regiones con gradientes de velocidad.



**Pregunta nº 86:**

La hidrosfera y la criosfera son los dos grandes almacenes de agua dulce del planeta y se caracterizan por:

- A) La hidrosfera está fuertemente estratificada y la criosfera tiene baja reflectividad de la radiación solar.
- B) La hidrosfera tiene baja conductividad térmica y la criosfera baja reflectividad de la radiación solar.
- C) La hidrosfera tiene gran calor específico y la criosfera baja conductividad térmica.
- D) La hidrosfera tiene bajo calor específico y la criosfera alta conductividad térmica.

**Pregunta nº 87:**

Señala que respuesta es correcta referido a la tecnología VPN:

- A) Una VPN es una tecnología de red que permite una extensión segura de la red local (LAN) sobre una red pública o no controlada como Internet.
- B) Con la tecnología VPN no es posible establecer redes privadas virtuales dentro de una misma red local. Es imposible separar con VPN el acceso Wifi de la Red física.
- C) Una VPN es una tecnología de enlace que permite conectar físicamente punto a punto hosts de distintas VLANs, lo cual permite el trabajo en remoto.
- D) La técnica de tunneling consistente en encapsular un protocolo sobre otro, no permite usar el protocolo SSH ya que es necesario que los paquetes conserven su estructura y contenido originales (dirección IP origen y destino, puertos, etc.).

**Pregunta nº 88:**

Los modelos numéricos globales se fundamentan en:

- A) la ecuación de estado y la conservación de momento, masa y energía.
- B) la ecuación de estado y la conservación de momento y energía.
- C) la conservación de momento, masa y energía.
- D) la ecuación de estado y la conservación de momento y masa.

**Pregunta nº 89:**

Sea  $P$ , la cantidad de precipitación en un área y periodo de tiempo, y sea  $E$  la cantidad de evaporación en dicha área y periodo de tiempo. Entonces, la relación de escurrimiento se define como:

- A)  $(P-E)/P$
- B)  $(P-E)/E$
- C)  $(P-E)/(P+E)$
- D)  $P/(P-E)$





**Pregunta nº 90:**

Señale la opción correcta:

- A) El color de las estrellas está relacionado con su temperatura mientras que el de los planetas no lo está.
- B) El color de las estrellas está relacionado con su temperatura y el de los planetas también.
- C) El color de las estrellas no está relacionado con su temperatura y el de los planetas sí lo está.
- D) El color de las estrellas no está relacionado con su temperatura y el de los planetas tampoco.

**Pregunta nº 91:**

El ozono es un componente de forzamiento radiativo:

- A) positivo en la troposfera y negativo en la estratosfera.
- B) positivo, tanto en la troposfera como en la estratosfera.
- C) negativo, tanto en la troposfera como en la estratosfera.
- D) negativo en la troposfera y positivo en la estratosfera.

**Pregunta nº 92:**

Las ondas de Rossby se caracterizan por:

- A) En una atmósfera barotrópica conservan la vorticidad absoluta.
- B) Constituyen un campo de vorticidad que se propaga hacia el este.
- C) Son oscilaciones que se propagan horizontalmente en la interfase entre dos fluidos homogéneos de diferente densidad.
- D) Transportan momento angular en latitudes medias.

**Pregunta nº 93:**

Si la aceleración tangencial de una partícula es nula, ¿el vector velocidad es siempre constante?

- A) Sí, siempre
- B) No, nunca.
- C) No, porque si la aceleración tangencial es nula, el módulo de la velocidad será constante y la dirección puede variar si la aceleración normal es distinta de cero.
- D) No, porque si la aceleración tangencial es nula, la dirección del movimiento será constante pero el módulo de la velocidad puede variar si la aceleración normal es distinta de cero.



**Pregunta nº 94:**

Se considera el criterio 'egoísta' de signos para el calor y el trabajo, es decir, el calor es positivo si lo recibe el sistema y el trabajo es positivo si se realiza sobre el sistema. Siendo  $U$  la energía interna,  $Q$  el calor y  $W$  el trabajo, el primer principio de la termodinámica se enuncia de la siguiente manera:

- A)  $\Delta U = Q + W$
- B)  $\Delta U = Q - W$
- C)  $\Delta U = W - Q$
- D)  $\Delta W = U + Q$

**Pregunta nº 95:**

¿Dónde funde el hielo a mayor temperatura, en Madrid o en Barcelona?

- A) La temperatura de fusión no varía porque es una propiedad característica de la materia.
- B) En Madrid, porque está a mayor altitud y la temperatura de fusión del agua disminuye al aumentar la presión.
- C) No depende del lugar en el que se encuentre la materia sino de la cantidad de calor que se transfiere.
- D) En Barcelona, porque está a menor altitud y al aumentar la presión, aumenta la temperatura de fusión.

**Pregunta nº 96:**

El campo eléctrico de una onda electromagnética plana en el vacío es, en unidades del S.I.,  $E_x = 0$ ;

$E_y = A \cos[5 \cdot 10^3(t - x/c)]$ ;  $E_z = 0$ . Su longitud de onda vale:

- A)  $3,14 \cdot 10^4$  nm
- B)  $7,61 \cdot 10^4$  nm
- C)  $9,15 \cdot 10^4$  nm
- D)  $1,03 \cdot 10^5$  nm

**Pregunta nº 97:**

Suponiendo el modelo de atmósfera estándar para una capa entre 14 km y 18 km de altura:

- A) La temperatura disminuye con la altura según un gradiente térmico de  $-6,5$  K/km en dicha capa.
- B) La temperatura aumenta con la altura según un gradiente térmico de  $6,5$  K/km en dicha capa.
- C) La temperatura aumenta con la altura según un gradiente térmico de  $1$  K/km en dicha capa.
- D) La temperatura permanece constante con la altura tomando el valor  $216,65$ K en dicha capa.



**Pregunta nº 98:**

La mayor parte de la masa de la atmósfera se encuentra en la:

- A) estratosfera.
- B) mesosfera.
- C) termosfera.
- D) troposfera.

**Pregunta nº 99:**

¿En qué época del año la disminución de la concentración de ozono estratosférico es particularmente notable sobre el continente antártico?

- A) En los meses de marzo y abril.
- B) En los meses de diciembre y enero.
- C) En los meses de junio y julio.
- D) En los meses de septiembre y octubre.

**Pregunta nº 100:**

Se define el nivel de condensación por convección como:

- A) la altura más baja en una capa mezclada por una perturbación (ej. viento), a la cual se produce la saturación después de un mezclamiento completo de la capa.
- B) la altura en que la temperatura de una parcela que asciende se vuelve igual a la del entorno.
- C) la altura a la cual una parcela de aire, si es calentada lo suficiente desde abajo, se eleva adiabáticamente hasta saturarse.
- D) el nivel hasta el cual una parcela viajará antes de perder todo su momento ascendente.

**Pregunta nº 101:**

El flujo energético convectivo necesario para cerrar el balance energético global anual del sistema Tierra-Atmósfera expresado en  $Wm^{-2}$  es aproximadamente:

- A) 100
- B) 50
- C) 30
- D) 70



**Pregunta nº 102:**

Supongamos que la pendiente de la curva de estado de una parcela de aire que se encuentra en un punto P es  $\gamma$ . En ese mismo punto P las pendientes de la adiábata seca y la adiábata saturada son  $\gamma_d$  y  $\gamma_w$  respectivamente. Si se cumple que  $\gamma_w < \gamma < \gamma_d$ , entonces podemos decir que dicha parcela de aire se encuentra en una zona de:

- A) estabilidad absoluta.
- B) inestabilidad absoluta.
- C) inestabilidad potencial.
- D) inestabilidad condicional.

**Pregunta nº 103:**

Sea el array [10, 3, 15, 2, 1, 18]. ¿Cuántas iteraciones deberán ejecutarse del algoritmo de ordenación por selección para que quede totalmente ordenado en sentido ascendente?

- A) 2
- B) 4
- C) 6
- D) 8

**Pregunta nº 104:**

En promedio estacional, se puede decir que:

- A) hay Célula de Hadley predominante e intensa en invierno.
- B) hay Célula de Hadley predominante e intensa en verano.
- C) hay Célula de Hadley predominante en verano.
- D) hay Célula de Hadley predominante en verano e invierno.

**Pregunta nº 105:**

En latitudes extratropicales las perturbaciones a escala sinóptica se desarrollan por:

- A) conversión de energía potencial zonal, asociada al gradiente horizontal de presión, en energía cinética.
- B) conversión de energía cinética zonal, asociada al gradiente horizontal de presión, en energía potencial.
- C) conversión de energía potencial zonal, asociada al gradiente horizontal de temperatura, en energía cinética.
- D) conversión de energía cinética zonal, asociada al gradiente horizontal de temperatura, en energía potencial.



**Pregunta nº 106:**

En cuanto a las corrientes superficiales oceánicas, se puede decir que tiende a tener direcciones similares:

- A) a las del flujo atmosférico medio, así como del esfuerzo de vientos, pero desviado  $45^\circ$  en dirección a las presiones más altas.
- B) a las del flujo atmosférico medio, así como del esfuerzo de vientos, pero desviado  $45^\circ$  en dirección a las presiones más bajas.
- C) a las del flujo atmosférico medio, así como del esfuerzo de vientos.
- D) a las del flujo atmosférico medio, así como del esfuerzo de vientos, pero desviado  $45^\circ$  en dirección a las presiones más altas en el hemisferio norte y a las presiones más bajas en el hemisferio sur.

**Pregunta nº 107:**

Señale en qué situación de las que se mencionan a continuación, puede esperar que una onda de montaña se propague preferentemente en la vertical:

- A) Con fuerte intensificación del viento con la altura.
- B) Con fuerte disminución de la estabilidad con la altura.
- C) Con débil intensificación del viento y débil disminución de la estabilidad con la altura.
- D) Con débil intensificación del viento y fuerte disminución de la estabilidad con la altura.

**Pregunta nº 108:**

Señale la respuesta correcta referente al modelo de Telford de crecimiento por coalescencia de gotitas en nubes cálidas:

- A) Tiene en cuenta tanto la naturaleza discreta del proceso de crecimiento de las gotitas como las fluctuaciones estadísticas en la concentración de gotitas.
- B) Es un modelo de crecimiento continuo que supone una nube constituida por gotitas de igual tamaño en una corriente ascensional uniforme.
- C) Supone una concentración uniforme de gotitas en toda la nube pero con tamaños que van de las 5 micras a las 25 micras de radio.
- D) Supone una eficiencia de colisión con una dependencia lineal con el radio de las gotitas colectoras e independiente del radio de las gotitas captadas.



**Pregunta nº 109:**

Marque la respuesta correcta referente a las capas de la atmósfera:

- A) En caso de que en una capa de la troposfera exista una inversión térmica, entonces, en esa zona, la temperatura disminuye con la altura.
- B) La tropopausa no es continua y su altitud varía, alcanzando altitudes mayores según se aproxima al ecuador.
- C) La estratosfera se caracteriza por una disminución de la temperatura debido a la pérdida de energía por subsidencia y radiación.
- D) El límite superior de la troposfera se llama tropopausa y separa a esta de la mesosfera.

**Pregunta nº 110:**

Indique el intervalo de temperaturas más favorable al engelamiento:

- A)  $[-20, 0]$  °C
- B)  $[-40, -20]$  °C
- C)  $[-60, -40]$  °C
- D)  $[-80, -60]$  °C

**Pregunta nº 111:**

Los DTD (Document Type Definition) en tecnología XML:

- A) definen la estructura del documento XML.
- B) sirven para dar formato a la información.
- C) siempre han de estar incluidos en el XML.
- D) contienen elementos y atributos.

**Pregunta nº 112:**

¿Cuáles de las siguientes partículas no son aerosoles primarios?

- A) Iones sulfato
- B) Polen
- C) Bacterias
- D) Polvo del suelo



**Pregunta nº 113:**

La técnica "split-window" para estimación de la temperatura de la superficie del agua del mar mediante datos de satélite se basa en:

- A) la diferencia de temperaturas de brillo entre un canal de absorción de vapor de agua y uno en una ventana atmosférica en el infrarrojo medio.
- B) la diferencia de absorción de vapor de agua en dos canales en la ventana atmosférica 5,5-7,5  $\mu\text{m}$
- C) la diferencia entre la reflectividad y la emisividad en la ventana atmosférica 3,0-5,5  $\mu\text{m}$
- D) la diferente absorción del vapor de agua en dos canales dentro de la ventana atmosférica 10,5-12,5  $\mu\text{m}$

**Pregunta nº 114:**

Las ondas atmosféricas de Kelvin tienen las siguientes características:

- A) Se propagan hacia el este y tienen distribuciones de presión y velocidad zonal simétricas respecto al ecuador.
- B) La propagación vertical tiene líneas de fase inclinadas hacia el oeste con la altura.
- C) El campo de velocidades es meridionalmente simétrico.
- D) Los modos de propagación hacia el este tienen longitudes de onda verticales más pequeñas que los modos de propagación hacia el oeste.

**Pregunta nº 115:**

El análisis espectral de los datos de temperatura de los últimos 500.000 años muestra concordancia con la teoría de Milankovitch de los parámetros cambiantes de la órbita de la Tierra alrededor del Sol. En concreto establece que hay:

- A) ciclos de aproximadamente 20.000 años, asociados a la precesión.
- B) ciclos de aproximadamente 20.000 años, asociados a la excentricidad.
- C) ciclos de aproximadamente 20.000 años, asociados a la oblicuidad.
- D) ciclos de aproximadamente 40.000 años, asociados a la oblicuidad.

**Pregunta nº 116:**

¿Cuál de los siguientes gases tiene mayor contribución real al efecto invernadero en la atmósfera terrestre?

- A)  $\text{CO}_2$
- B)  $\text{CH}_4$
- C)  $\text{N}_2\text{O}$
- D)  $\text{SO}_2$



**Pregunta nº 117:**

La temperatura efectiva del sistema tierra-atmósfera:

- A) actualmente se estima en, aproximadamente, 15°C.
- B) se calcula suponiendo que existe un equilibrio radiativo en el sistema, que irradia como un cuerpo negro y a partir de la ley de Stefan-Boltzmann.
- C) se calcula teniendo en cuenta un albedo del sistema del 18%.
- D) se calcula suponiendo que existen en el sistema forzamientos radiativos tanto positivos como negativos.

**Pregunta nº 118:**

El producto de radar Echo-TOP proporciona:

- A) la reflectividad, en decibelios, debida a las gotas de agua del tope de las nubes.
- B) la cantidad de agua integrada desde niveles medios de la atmósfera hasta el tope nuboso.
- C) la cantidad de energía reflejada por las gotas con diámetro mayor que 1mm.
- D) la altura, en kilómetros, del eco más elevado que sea mayor que un umbral de referencia.

**Pregunta nº 119:**

El índice EDR (Eddy Dissipation Rate) de intensidad de turbulencia se mide en unidades de:

- A) raíz cuadrada de potencia por unidad de masa.
- B) raíz cuadrada de energía por unidad de masa.
- C) raíz cúbica de energía por unidad de masa.
- D) raíz cúbica de potencia por unidad de masa.

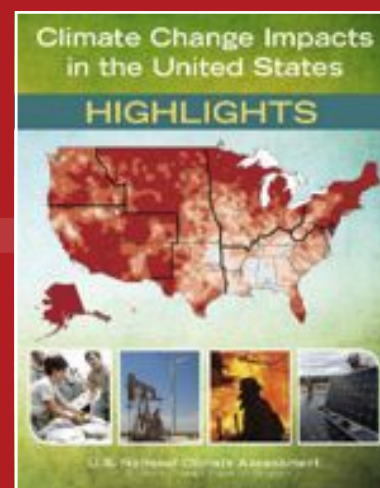
**Pregunta nº 120:**

Considérese la atmósfera como gas ideal:

- A) Las líneas isobaras serán también isotermas siempre que la atmósfera sea barotrópica.
- B) Las líneas isobaras serán también isotermas siempre que la atmósfera sea baroclina.
- C) Las líneas isobaras serán también isotermas siempre que la atmósfera sea baroclina y la densidad dependiente de la presión y la temperatura.
- D) Las líneas isobaras serán también isotermas siempre que la atmósfera sea barotrópica y la densidad dependiente de la presión y la temperatura.



# Pinpointing Climate Change



By Audrey Resutek and Erwan Monier, MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change

*How severely will climate change affect different regions the United States? It depends on climate policy, says new research by the MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change.*

The *US National Climate Assessment*, released this spring by the White House, describes a troubling array of climate woes, from intense droughts and heat waves to more extreme precipitation and floods, all caused by climate change. The report also describes how climate change is expected to impact regions across the United States in the future, yet it notes that exact regional forecasts are difficult to pin down. At the larger scale, it is clear that climate is changing, but local predictions can disagree on the extent to which temperatures will increase, and what regions will be hit the hardest by precipitation changes.

Researchers at the MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change examined four major factors that contribute to wide-ranging estimates of future regional climate change in the United States, with an eye toward understanding which factors introduced the most uncertainty into simulations of future climate. They find that the biggest source of uncertainty in climate modelling is also the only one that humans have control over – policies that limit greenhouse gas emissions.

In this context, the term “uncertainty” does not mean that there is a lack of scientific consensus that climate is changing. Instead, uncertainty refers to the fact that using different assumptions for the variables that go into a climate model – for example, the amount of greenhouse gases emitted over the next century, or how sensitive the climate is to changes in carbon dioxide levels – will produce a range of estimates. Overall, these estimates indicate that the Earth will be a warmer and wetter place over the coming century, but there is no single

universally agreed on amount of climate change that will take place.

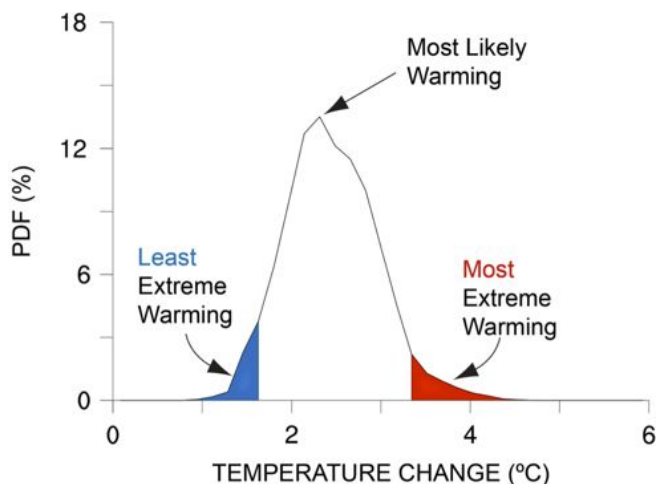
In fact, estimates that point to a single number for changes in temperatures and precipitation may be misleading, precisely because they do not capture this uncertainty. It is more useful to think of estimates of future climate change as a range of possible effects. The range of potential warming, for example, follows a bell curve, with the most likely change in temperature falling at the highest point of the curve. The farther you travel from the curve’s peak, toward the tails, the more unlikely the temperature change. While the extreme temperature increases at the curve’s tails are unlikely, they still fall within the realm of possibility, and are worth considering because they represent-worst case scenarios.

## **The biggest source of uncertainty**

The MIT study<sup>1</sup>, published this spring in a special edition of *Climatic Change*, looked at how different sources of uncertainty affect estimates of future regional climate change in the United States – in other words, how do different factors affect the width of the range of estimates? The study concludes that lack of information about future climate policy is the biggest source of uncertainty over the next century for simulations of both temperature and precipitation change. Climate policy introduces uncertainty into the mix when researchers must try to predict what regulations will affect emissions in the future, leading to varying levels of global greenhouse gas emissions.

<sup>1</sup> Monier, E., X. Gao, J.R. Scott, A.P. Sokolov, and C.A. Schlosser. 2014. A framework for modeling uncertainty in regional climate change. *Climatic Change*, online first, doi: 10.1007/s10584-014-1112-5.

Not knowing the details of a future emissions policy, including the timing or magnitude of reductions, makes it difficult to estimate climate change – especially in certain regions. For example, the MIT team found that temperature increases in the Pacific Northwest and New England could range from 1°C to 6°C, depending on the policy studied. When climate policy to control greenhouse gas emissions was in place, no region experienced more than 3.5°C warming.



Example of a range of potential change in temperature

The MIT team used an Integrated Assessment Model, the MIT IGSM<sup>2</sup>, to study the effects of different climate policies. The Computer Model links a simulation of the global economy with a simulation of Earth’s climate. This makes it possible to study how climate policies affect activities that contribute to greenhouse gas emissions, such as electricity generation, transportation, industry and changing land use. The model then calculates the effect of the resulting changes in emissions on climate.

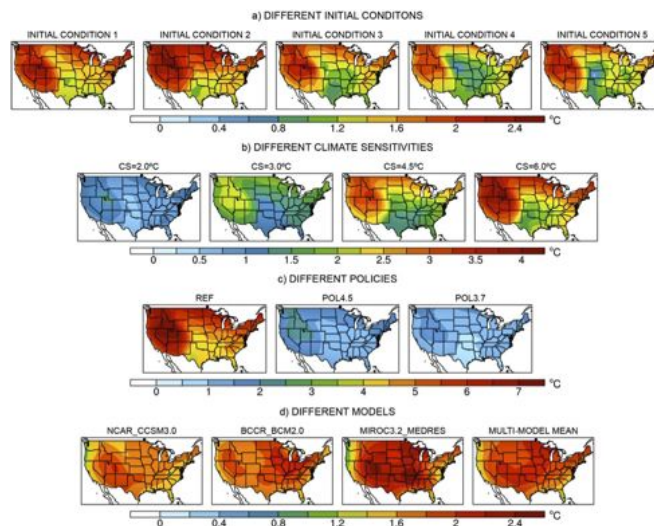
Such models are particularly useful for studying the effects of climate policy because they use one modelling framework to consistently take into account interactions between the climate and economic factors like population growth, economic development and changes in energy and land use. They can also be used to study the opposite relationship – how changes in climate impact economic activity, including what regions and areas of the economy are most likely to be affected.

The specific policies used in this study were selected based on the researchers’ participation in the Climate Change Impacts and Risk Analysis (CIRA) Project, an effort led by the US Environmental Protection Agency (EPA) to understand the benefits of emissions mitigation. The EPA wanted to know how reducing greenhouse gas emissions would affect climate change impacts and

<sup>2</sup> <http://globalchange.mit.edu/research/IGSM>

damages in different regions of the country. Would stabilizing emissions produce the largest benefits compared to policy costs? Would a more drastic cut in carbon emissions lead to even bigger benefits, or just increase the costs associated with cutting emissions?

To study the scenarios identified by the EPA, researchers built three emissions scenarios, achieved through different climate policies, into the IGSM. In the first, nothing is done to slow global greenhouse gas emissions. In the second, global emissions are stabilized by enforcing a carbon tax. In the third, even more stringent checks on emissions are in place. The policies used are described in detail in a second article<sup>3</sup> published in *Climatic Change*. The policies were then combined with the other sources of uncertainty to produce over 100 simulations of climate change through 2115.



Simulated change in temperature over the next century under different sources of uncertainty: (a) Different initial conditions representing natural variability, (b) Different climate sensitivities, (c) Choice of policy, and (d) Different climate models (Monier et al. 2014)

## Other sources of uncertainty

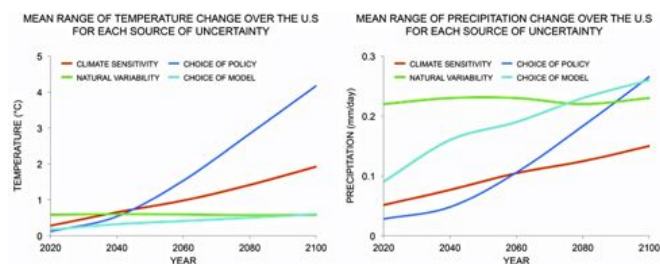
Though the choice of climate policy is the biggest source of uncertainty in simulations of climate change by the end of the century, it actually plays a much smaller role in influencing estimates for the immediate future. This is because once they are released into the atmosphere, greenhouse gases stay there for decades or even hundreds of years. So, past emissions continue to influence climate for decades after a climate policy is in place. Because of this lag time other sources of uncertainty, like the climate’s response to changes in

<sup>3</sup> Paltsev, S., E. Monier, J. Scott, A. Sokolov, and J.M. Reilly. 2013. Integrated economic and climate projections for impact assessment. *Climatic Change*, online first, doi: 10.1007/s10584-013-0892-3.

greenhouse gas levels (also called climate sensitivity), or the natural variability of the Earth's climate, introduce more uncertainty into near-term simulations.

Natural variability plays a big role in differing regional simulations of future climate change, at least through 2050. Basically, the Earth's climate is a complex system made up of many related processes – some of which, like circulation of currents in the deep ocean, take thousands of years to run from start to finish. On top of this, climate naturally varies from year-to-year, so it is normal for some years to be exceptionally hot or cold.

Climate processes and natural year-to-year variability are chaotic by nature and difficult to predict, complicating the process of climate modelling. Small errors in the initial conditions used in a simulation, such as temperatures, humidity or wind, can result in different paths for the entire climate system. This is reminiscent of the fabled butterfly effect analogy – where a butterfly flapping its wings in one part of the globe leads to a hurricane weeks later, thousands of miles away. To work around this problem, climate scientists run the same model with different starting conditions, which helps to identify the natural variability in the climate system and quantify its uncertainty.



*Mean range of temperature change over time. Lines represent how large the range in estimates of change is for each source of uncertainty. Lines show averages of two different modelling methods used to create regional forecasts*

Using different starting conditions leads to surprisingly different regional simulations, especially when it comes to regional patterns of precipitation, the MIT study found. It can even cause conflicting projections about whether a region will become wetter, or drier. For example, in the Pacific Northwest two of the five starting conditions the researchers studied resulted in simulations of a much drier climate by 2100; two in somewhat drier climate for the area; and one actually led to an increase in precipitation.

Uncertainty about changes in regional precipitation is also the result of the tendency different climate models have toward either wet or dry projections. For example, precipitation simulations for the Southeastern United

States are noticeably different depending on the climate model the researchers tested. By the end of the century, all four sources of uncertainty contribute about equally to the overall uncertainty in future changes in precipitation.

## **Increases in extreme weather**

As part of the EPA's CIRA Project, the MIT team used the same method to study how different sources of uncertainty affect projections of changes in extreme weather<sup>4</sup>. Climate change is often measured as the change in average temperature and precipitation levels. While this is a meaningful way to think about climate trends, using an average can hide changes in extreme weather like heat waves, cold snaps, and heavy snow and rain. These changes in extremes, perhaps even more so than changes in average climate, can have serious consequences for health, energy demand and agriculture.

The estimates of regional climate change in the United States varied according to the specifics of each scenario, but a clear pattern emerged: the population can expect more intense and frequent hot days and heavy precipitation. Just how hot and wet depends more on what climate policy is in place than any other source of uncertainty. Accompanying the findings on extreme heat, researchers found that extremely cold days will decrease. As a result, it's likely that more areas of the country will remain frost-free year-round.

While these patterns did differ from region to region based on the representation of natural variability and climate sensitivity, policy again emerged as the driver of the largest differences in estimates of regional climate change. These findings show that none of the sources of uncertainty related to specific aspects of climate modelling has a bigger effect on simulations than the actual amount of emissions humans generate over the next century. This underscores how important it is, if we want to avoid the worst effects of climate change, to implement a global policy aimed at stabilizing greenhouse gas concentrations in the atmosphere.

<sup>4</sup> Monier, E. and X. Gao. 2014. Climate change impacts on extreme events in the United States: an uncertainty analysis. *Climatic Change*, online first, doi: 10.1007/s10584-013-1048.1

# The Impact of Climate Change: Migration and Cities in South America



By Elizabeth Warn<sup>1</sup>, Susana B. Adamo<sup>2</sup>

Cities – particularly megacities – are becoming focal points for climate change impacts. Rapid urbanization, accelerating demand for housing, resource supplies and social and health services, place pressure on already stretched physical, social and regulatory infrastructure, heightening risks and vulnerability. In South America, internal migration flows – as well as immigration – are mostly to cities. Migrants, notably those of low socio-economic status, are often particularly vulnerable as they are more likely to reside in areas at risk of environmental hazards. They are also likely to lack local knowledge, networks and assets, and are, therefore, less prepared to cope with, and avoid, the impacts of these hazards.

The impact of climate change and environmental degradation on migration and cities is not fully known. Sea level rise, land degradation and desertification, as well as changes in water availability, including glacial melt, are three important factors in the interplay of migration drivers and environmental change. Additional migration to cities is likely to exacerbate pre-existing vulnerabilities related to inequality, poverty, indigence and informality (informal work and settlements), and worsen the situation of those exposed to environmental risk factors. This places further stress on the ability of cities to adapt to climate change. At the same time, migration and other forms of mobility are common responses for coping with and adapting to environmental hardship, stress and risks. Migrants make important contributions to the cities that they live in, and migration to cities should, therefore, be appropriately managed and planned for.

<sup>1</sup> Senior Regional Specialist in Migration and Development for South America, International Organization for Migration (IOM)

<sup>2</sup> Associate Research Scientist at CIESIN (Center for International earth Science Information Network), Co-coordinator of PERN (Population-Environment Research Network) and Adjunct Assistant Professor at Columbia University. This article draws on her presentation “Migration, cities and climate change in Latin America” for the Hamburg Conference

Understanding the dynamics between migration and cities is an important priority of the International Organization for Migration (IOM). The Organization’s 2014 World Migration Report and upcoming Ministerial-level conference will be devoted to migrants and cities.<sup>3</sup> This article highlights some of the recent processes linking population mobility, urban settlements and environmental change, including climate change in South America.

## Cities and urban growth in South America

South America and the Caribbean is the most urbanized of the developing regions and one of the most urbanized in the world. In 2010, 83% of the population of South America resided in cities – it will be 86% by 2020. While the Southern cone has some of the lowest population densities in the world, a high proportion live in one or two very large cities per country.

More than 20% of the population of Latin America is concentrated in the largest city of each country. With total populations in excess of 10 million, Buenos Aires, Rio de Janeiro, Sao Paulo, and Belo Horizonte already count as megacities. While Bogota, Lima and Santiago are approaching the 10 million mark. These cities make up social, economic and, in many cases, political hubs, being home to a major share of urban dwellers in the region.

In the last decades, urban growth within South America has been less rapid in large cities and megacities than

Actions for the Climate-Induced Migration, Hamburg, 16-18 July 2013 [ciesin.columbia.edu/binaries/web/global/news/2013/adamo\\_hamburg-conf\\_jul2013.pdf](http://ciesin.columbia.edu/binaries/web/global/news/2013/adamo_hamburg-conf_jul2013.pdf). Ms Adamo is also a member of ALAP (Latin American Association for Population). In 2015 IOM and ALAP will organize a joint workshop for academics on Migration, Environment, Climate Change and Development.

<sup>3</sup> Forthcoming in 2014.



anticipated. Instead, growth is concentrating in mid-size or small cities and urban centres or in the margins of metropolitan regions. Cities are spreading out further and further over large metropolitan urban areas, across municipal, regional and even national borders.

## Migration, immigrants and cities in South America

In terms of internal mobility, cities are important recipients of predominately urban-urban, rural-urban and intra-urban flows. There are also flows of urban-rural, seasonal and temporary migration, which remain difficult to quantify. Within the region, Chile and Colombia have some of the highest rates of lifetime internal migration intensity with far higher rates of internal compared to international migration.

Immigration flows are generally directed to major cities. In Argentina, Chile and Brazil, most immigrants are concentrated in large cities. In Argentina, 70% of migrants are thought to reside in the Metropolitan Area of Buenos Aires, in Chile 65% reside in the Metropolitan Area of Santiago, while the majority of those in Brazil live in São Paulo and, to a lesser extent, Rio de Janeiro and Paraná. Migration from lesser developed to more prominent cities has gained importance in recent years but is still vastly understudied. Recent international immigration in South America originates from within the region. Nevertheless, immigration remains a small percent of migration in the majority of the region. There are also important numbers of internally displaced persons due to conflict or natural hazards, predominately in Peru and Colombia. Urban displaced persons converge on capitals and megacities, but also on peri-urban areas and secondary cities, for example Santa Marta in Colombia.

Estimates of the number of immigrants in cities in South America remain imprecise primarily due to a lack of data,<sup>4</sup> but also due to levels of irregularity. There are few studies that specifically assess the conditions of migrants vis-à-vis native-born populations. Migration is mainly driven by the search for better opportunities, including employment and higher salaries, but also by poverty in the areas of origin. Immigrants and migrants usually derive from lower socio-economic groups, experiencing greater levels of poverty, delayed social mobility and precarious social conditions.

Cities, in particular capitals, are perceived to be centres of economic growth and employment opportunities for migrants. Conflict and generalized violence drives migration in certain areas, from rural to urban areas and between and within urban areas. Environmental factors including

land degradation and desertification may also play a role as a migration driver. For example, a significant proportion of the population of the landslide and flood susceptible favelas of Rio de Janeiro are migrants from the dryland areas in northeast Brazil.



Scott Wallace, World Bank

*A favela on the outskirts of Salvador de Bahia, Brazil*

## The interrelationship between climate change, urban risk, migration and cities

Migration patterns are modified or exacerbated by climate events and trends rather than solely caused by them, making the impact of environmental or climate change dynamics hard to predict. Urban areas and cities are affected by slow-onset events, changes in water availability and the general scarcity of natural resources, which may also be linked with potential migration.

Low-level coastal zones will be affected by a rise in sea level, changes in rainfall regimes and the ocean chemistry. Degradation of coastal/marine ecosystems will affect areas that are considered among the most important in terms of urbanization and economic change. Sea level rise in South America is more likely to affect urban rather than rural dwellers – 77% of those considered to be in at risk areas live in cities. Small and medium-sized cities could become destinations for migration flows from larger cities as sea level rise and water scarcity hit large coastal metropolitan areas.

Access to, and use of water, is likely to be one of the greatest challenges to cities in South America. Greater urban growth implies increased water use in cities, and the possible need to divert water to these cities to meet demands. Glacier retreat and melt can exacerbate current water resources-related vulnerability, affecting water availability and impacting on large cities and urban settlements, notably La Paz, El Alto, Lima, Arequipa, and Quito.

<sup>4</sup> Data regarding foreign-born individuals are scarce, and are normally taken from census data, and at times from household surveys, both sources which have their limitations.

Agricultural production in the outskirts of large cities and urban zones requires intensive water use. Diverting water to cities can undermine the viability of local agriculture, particularly in dry climates, which may also have migration implications. "In Bolivia, decreasing water availability [partially due to glacial melt] could lead to changing land use, an accelerated rate of depopulation and further migration towards cities".<sup>5</sup> Studies that have linked projected impacts of water availability on agriculture, and the corresponding economic impacts, suggest that full-scale migration could occur from Brazil's northeast.

### Cities: environmental hazards, vulnerability and heightened risks

The increase and intensity of sudden onset natural hazards such as droughts, extreme temperatures and heavy rains are likely to be the most immediate impacts of climate change on cities, linked with mobility. The urban population in South America is concentrated in areas of high vulnerability to environmental and climate hazards. Cities located in areas at high risks of droughts, earthquakes and

floods, such as Quito and Santiago, are facing multiple hazards. Quito is also vulnerable to landslides and a volcano.

Examples of how environmental hazards have affected cities in South America are numerous, and are likely to increase as the impacts of climate change intensify and urban populations grow and concentrate. In Quito, during the winter of 2010, excessive rainfall contributed to a landslide in a marginal area, killing five people and forcing the relocation of at least 130 families. In Bogota, in 2011, rainfall was 300% higher than normal, triggering the evacuation of 711 buildings and the displacement of thousands. In Rio de Janeiro, in 2013, excessive rainfall caused flooding and mudslides in metropolitan areas.

Additionally, a large proportion of urban expansion is taking place in areas exposed to environmental hazards such as low-lying deltas and, low-lying plains, coastal zones, stepped slopes and drylands. There is an increasing concentration of population on potentially hazardous locations in coastal megacities, especially in informal settlements. These areas are ill-suited to settlements as they are particularly prone to flooding and seasonal storms, and risks are amplified due to lack of essential infrastructure and services or inadequate provision for adaptation. For example, in Buenos Aires, informal settlements can be

<sup>5</sup> Hoffmann, D. (2008) Consecuencias del Retroceso Glaciar En La Cordillera Boliviana. Pirineos, 163, 77-84



The effects climate change has on different countries are not proportional to their respective contributions to greenhouse gas emissions. Rather, they vary greatly and in some cases the effects may even be positive in specific regions. This presents a general paradox: the countries that are the highest emitters may experience less impact, while those that are lower emitters may experience the greatest impact. Metropolitan areas in the region are experiencing different levels of risk as a result of extreme events such as cyclones, floods and droughts. Owing to their location, the cities of Central America, the Caribbean and Mexico, as well as those in central and western Colombia and the coastal areas of eastern Argentina and Brazil, are the most vulnerable to climate hazards. - Nieves López Izquierdo, Associate Consultant UNEP/GRID-Arendal

found in low-lying areas prone to flooding, while in Rio de Janeiro they are located on hilly areas prone to landslides and mudslides.

The individuals that are most at risk from the likely impacts of climate change come from lower income groups. They face the greatest risks when environmental hazards occur, are less able to put into place short term measures to limit impacts, such as moving family members or assets, and least likely to be able cope with the impacts – health, injury, loss of property, etc – and to adapt – building better homes, disaster preparedness. Hazardous locations are more likely to lack infrastructure and services because they are not intended for settlement. Women, children, the health compromised, the elderly, those with disabilities and recent migrants are particularly vulnerable.

Government of Ecuador



*Cities located in areas at high risk of droughts, earthquakes and floods, such as Quito (above) and Santiago, are highly vulnerable to multiple climate hazards*

Migrants may face additional challenges, such as language barriers, lack of community participation, discrimination and prejudice, and difficulties in accessing health services, housing and land tenure as well as social protection mechanisms in the areas in which they reside. Internally displaced persons also face additional protection concerns. In Colombia, they were found to have lower labour outcomes, higher levels of unemployment and more limited access to financial capital and risk coverage than local communities.

Unlike locals, migrants and displaced persons may lack knowledge regarding previous disasters or environmental conditions and remain uninformed and unaware of risks, because of lack of exchange with local, better informed communities. Migrants from the northeast of Brazil living in Rio de Janeiro do not have personal experience with mudslides, which may account for their precarious building practices on slopes above the favelas.

Immigrants from South America are more likely to reside in informal settlements. Although figures are highly disputed, a considerable number of the inhabitants of informal settlements in Buenos Aires are believed to be immigrants, mainly from neighbouring countries.<sup>6</sup> Cities with large informal settlements are likely to face challenges in protecting incoming populations, resulting in the paradoxical situation of populations migrating into more vulnerable areas as far as climate change effects are considered.

### **Recommendations to harness the positive impact of migrants' contribution to cities and to adaptation**

Despite their vulnerability, migrants play a significant economic, social and cultural contribution to the countries and cities in which they reside. They provide skilled and unskilled labour and create new enterprises. They also contribute to their communities of origin through transfer of remittances.

The measures suggested below could reduce the vulnerability and impact of hazards, and increase the adaptive capacities of migrants:

*a) Generate further data, studies and information regarding the complex interlink between cities, migration and the environment, including climate change*

There is a need to address gaps in scientific and empirical knowledge to better understand the level of vulnerability of cities to weather variability and climate change in order to build resilience to environmental hazards and implement adaptation strategies. While regional and national data may exist, comparable measurements at the local level do not. More research is also required to address certain gaps in the understanding of the impact of environmental change on cities in particular in relation to migrants and other vulnerable groups. The implication of climate change, exposure and vulnerability on health and migrants is a particular area that warrants further research.

*b) Develop and strengthen policy measures, legislation and infrastructure at the municipal level to increase the adaptive response of migrants and cities*

<sup>6</sup> In Buenos Aires, migrants from Bolivia, Paraguay and Peru tend to concentrate in areas where the access to housing is cheaper and where living conditions are comparatively worse. They cluster in the south and southwest (where large informal settlements are located) and to lesser extent in the center-south of the city. In all the informal settlements, migrants from these countries are over-represented. For example, in the Villa 31 (Retiro), they represent 11.3% of the population.



Further measures are required to address irregularity and inequality between migrants and non-migrants through social inclusion and promotion of human rights. Several countries in South America have introduced changes to the domestic legislation on migration towards facilitating entry and residence of citizens from within the region, thus reducing irregularity. The recent Brazilian initiative for the creation of a Municipal Coordination Office for Migrant Policies<sup>7</sup> is an important step toward addressing the vulnerabilities of migrants at the city level.

Legislative provisions that facilitate migrants' community participation at the municipal level<sup>8</sup> could also be used to develop migrants' adaptive capacity through building local knowledge. For example, awareness of risk factors, improved local environmental knowledge and an understanding of slope dynamics might cause Brazilian favela dwellers to reconsider where they settle.

In recent years, Bogotá, Buenos Aires, Esmeraldas, Quito, and São Paulo have adopted metropolitan level adaptation plans. Such plans could also be developed to factor migration and particularly recent migrants as part of these cities adaptive response.

*c) Increase the capacity and knowledge of migrants to contribute to adaptation and to mitigate hazards in origin areas*

Migrants can also reduce their vulnerability and contribute to adaption by creating new livelihood opportunities and diversifying income streams. Knowledge and understanding will permit them to mitigate hazards in the places they have moved to as well as in those that they left behind. In the suburbs of Buenos Aires, migrants from Peru have savings groups that contribute funds to help recovery in areas back home hit by disaster.

## **Strengthening of infrastructure and policies**

As the vector of economic growth and employment creation in many cities, migrants can act as a powerful source of innovation, income generation and experience

<sup>7</sup> In Brazil in May 2013, the Secretary for Human Rights and Citizenship of the city announced the creation of a Municipal Coordination Office for Migrant Policies. Addressing migration at the Municipal level is extremely new.

<sup>8</sup> In Argentina in 2010, the National Government approved a Decree regulating the Migration Act of 2003. Under this new legislation, municipalities are obliged to create spaces for migrant participation, consultation, information and counselling and for channelling proposals and demands to the authorities. At State level, in 2001 the Brazilian State Parliamentary Council for Root Communities and Foreign Cultures was established by Bureau of the Legislative Assembly of the State of São Paulo (Resolution N° 817, of 22 of November) with the objective of supporting the social integration of the various communities of foreign descent living in the State of São Paulo.

that can be harnessed to reduce the impact of hazards and foster adaptation. South America will continue to be affected by humanitarian disasters intensified by climate change, such as intense rainfall, flooding, drought and hailstorms, with stressors becoming more pronounced due to the effects of population growth and redistribution, especially where infrastructure and regulations require further strengthening.



Scott Wallace, World Bank

*Residents of Amauta-B shantytown in Peru band together to build a restraining wall*

Cities and urban areas in South America will require complex policy and operational responses to address the effects of climate change and to include migration into national and local development plans, adaptation planning and disaster risk reduction. In certain circumstances, institutional frameworks to ensure clearly defined competencies between local and national government may also be required.

A number of cities already have in place disaster risk reduction mechanisms for fast onset disasters. Greater coordination between sectorial policy and operational responses; improving land security and tenure, human security, access to housing, education, as well as portable social protection health, social services, will contribute to reducing the impact of environmental hazards and pave the way for factoring migration into responses to climate change. These responses will need to include increased city planning that is more responsive to migration-led growth and analysis of urban developments in the context of social and health impacts of climate change. In short, "Facing a new climate system and, in particular, the exacerbation of extreme events, will call for new ways to manage human and natural systems for achieving sustainable development" (IPCC, 2014).

## **References**

A complete bibliography is available in the online version of the Bulletin.



# Le Système mondial d'observation

par Sue Barrell<sup>1</sup>, Lars Peter Riishojgaard<sup>2</sup> et Jochen Dibbern<sup>3</sup>  
avec la contribution de beaucoup d'autres personnes

<sup>1</sup> Vice-Présidente de la CSB et Directrice adjointe, Observations and Engineering, Bureau of Meteorology, Australie

<sup>2</sup> Président du GASO des systèmes d'observation intégrés relevant de la CSB et Directeur, Joint Centre for Satellite Data Assimilation, NOAA Science Centre

<sup>3</sup> Coprésident du GASO des systèmes d'observation intégrés relevant de la CSB et Directeur, Technical Infrastructure and Operations, Deutscher Wetterdienst, Allemagne



Trois joyaux brillent de tous leurs feux sur la couronne de la Veille météorologique mondiale: le Système mondial d'observation (SMO), le Système mondial de télécommunications (SMT) et le Système mondial de traitement des données et de prévision (SMTDP). Comme l'anticipait très justement le plan de mise en œuvre de la VMM, ces trois composantes accomplissent des prouesses parce qu'elles fonctionnent en parfaite liaison les unes avec les autres et parce qu'elles sont résolument orientées vers les exigences des utilisateurs. Le tout est plus grand que la somme des parties et aucune composante ne pourrait, à elle seule, procurer les résultats attendus. Le SMO occupe peut-être une place particulière en ce qu'il est à la base des autres: il fournit les observations essentielles qui sont diffusées par le SMT puis assimilées et traitées par le SMTDP pour en faire des produits de prévision.

Le SMO est un dispositif extrêmement complexe que l'on peut sans doute considérer comme l'un des projets les plus ambitieux, et l'une des réussites les plus éclatantes, de la collaboration internationale instaurée depuis un siècle. Il se compose d'une multitude de systèmes d'observation distincts que possèdent et qu'exploitent autant d'organismes nationaux et internationaux aux sources de financement, instances de tutelle, priorités globales et modalités de gestion différentes. Pourtant, presque tous respectent les mêmes exigences de base et règles de transmission des données. Grâce au fonctionnement combiné du SMO et du SMT, les Membres et les partenaires de l'Organisation reçoivent et échangent chaque jour des milliards d'observations en temps réel. Sans un tel dispositif, aucun Membre de l'OMM ne serait en mesure de répondre aussi bien qu'il le fait aujourd'hui aux besoins de ses citoyens en matière d'information météorologique.

En dépit de la technicité de notre société – et contrairement, peut-être, à la croyance populaire – notre dépendance à l'égard des conditions météorologiques est plus forte qu'il y a cinquante ans. Cela s'explique par un ensemble de facteurs, dont la croissance exponentielle des transports maritimes et aériens, la proportion grandissante de personnes établies sur le littoral, dans les plaines d'inondation ou d'autres zones vulnérables et le recours à l'agriculture intensive pour

faire face à la poussée démographique. La hausse de la demande d'information météorologique, alliée à l'évolution des capacités d'observation, a contraint le SMO à évoluer sans cesse, comme il devra continuer de le faire à l'avenir.

## Les composantes du SMO

Lors de sa création, le SMO comprenait des satellites à orbite polaire et quelque 8 000 stations terrestres et 4 000 navires marchands qui transmettaient régulièrement leurs données à la VMM. Environ 800 stations terrestres effectuaient aussi des sondages jusqu'à 30 kilomètres d'altitude. À cela s'ajoutaient les observations manuelles réalisées à partir de 3 000 avions commerciaux.

Aujourd'hui, la composante de surface du SMO compte environ 11 500 stations terrestres qui effectuent des mesures au moins toutes les trois heures, mais souvent chaque heure, 1 000 radars météorologiques, 1 300 stations d'observation en altitude complétées par une quinzaine de navires marchands qui établissent des profils aérologiques au-dessus de l'océan, plus de 3 000 systèmes automatiques à bord d'avions, 4 000 navires d'observation régulière, 1 250 bouées dérivantes, au-delà de 500 bouées ancrées et une multitude d'autres types de stations (profileurs du vent,



Christian Morel

systèmes de détection d'éclairs, marégraphes, etc.) – qui tous envoient leurs données à la VMM. À peu près 4 000 stations terrestres composent les réseaux synoptiques de base régionaux et plus de 3 000 les réseaux climatologiques de base régionaux qui ont été mis en place par les six conseils régionaux de l'OMM. Une partie des stations terrestres forme le Réseau de stations d'observation en surface pour le Système mondial d'observation du climat (SMOC), tandis qu'une partie des stations aérologiques forme le Réseau de stations d'observation en altitude pour le SMOC.

Si l'émergence de l'ère spatiale a largement contribué à la création de la VMM, c'est la combinaison des composantes au sol et dans l'espace du SMO qui a été la clé de la réussite, de la participation et l'engagement de tous les Membres et de la transformation des données et informations en produits nécessaires et utiles.

## **Le rôle de l'OMM au sein du SMO**

---

Les composantes du SMO appartiennent aux Services météorologiques et hydrologiques nationaux des Membres, à d'autres organismes nationaux et internationaux ou à des sociétés privées. L'Organisation se charge de coordonner et de guider les activités du SMO au jour le jour, mais aussi dans son évolution stratégique. Elle procède à une étude continue des besoins afin de connaître en permanence les attentes des utilisateurs et de les rapprocher des capacités d'observation existantes et futures. C'est la Commission des systèmes de base qui accomplit cette tâche. L'essentiel du travail est confié au Groupe d'action sectoriel ouvert (GASO) des systèmes d'observation intégrés, qui se compose d'équipes d'experts et de points de contact formels et informels avec d'autres entités à l'intérieur et à l'extérieur de l'OMM, par exemple les commissions techniques et les conseils régionaux.

L'étude continue des besoins<sup>1</sup> repose sur deux piliers:

- Une base de données régulièrement actualisée sur les observations qui sont requises dans tous les domaines d'application que soutiennent les programmes de l'OMM;
- Une base de données à jour sur l'ensemble des capacités d'observation dont peuvent bénéficier les Membres et les partenaires de l'Organisation par le biais du Système mondial intégré des systèmes d'observation de l'OMM (WIGOS).

La comparaison, une fois par an, du contenu des deux bases de données permet de cerner les lacunes et de formuler des déclarations d'orientation pour chaque domaine d'application. Ces déclarations, de nature tactique, intéressent autant les experts des applications que les

concepteurs et fournisseurs de systèmes d'observation. Elles présentent succinctement aux premiers les capacités qui existent, et permettent aux seconds d'obtenir facilement et à tout moment une liste des principales lacunes que présente le SMO.

L'information tactique donnée dans les déclarations d'orientation est complétée par deux documents cruciaux, de nature plus stratégique, à savoir la Perspective d'avenir du Système mondial d'observation<sup>2</sup> et le Plan d'action pour l'évolution des systèmes mondiaux d'observation<sup>3</sup>. Le premier expose à grands traits les capacités d'observation dont devraient bénéficier les utilisateurs d'ici à une quinzaine d'années (la version actuelle va jusqu'en 2025), le deuxième énumère les mesures qui devront être prises pour concrétiser ces attentes. Les deux documents ont été approuvés par la Commission des systèmes de base puis adoptés par le Conseil exécutif en tant que positions officielles de l'Organisation.

## **L'évolution des composantes du SMO et les perspectives d'avenir**

---

### **Observations d'aéronefs et programme AMDAR**

Voilà longtemps que des liens étroits ont été tissés entre la météorologie et l'aéronautique, au profit des deux secteurs. Il est aisé de comprendre que la gestion du trafic aérien et les opérations des compagnies aériennes ont absolument besoin des informations et prévisions météorologiques pour assurer la sécurité des passagers et la rentabilité des vols, mais on sait moins que le secteur aéronautique fournit des données précieuses pour les applications liées au temps et au climat.

Au départ, ces données se limitaient essentiellement aux relevés d'instruments météorologiques simples et aux informations transmises verbalement par les pilotes sur les phénomènes et les conditions rencontrés en vol. L'avènement des radiocommunications et le perfectionnement de l'avionique et des équipements embarqués ont conduit à normaliser ces comptes rendus puis à les automatiser, sous la forme des messages météorologiques d'aéronefs (AIREP).

Pendant des décennies, les scientifiques s'en sont remis aux opérations aériennes pour connaître les conditions en altitude. Au début des années 1970, l'aéronautique et la météorologie ont uni leurs forces et lancé conjointement des programmes opérationnels, entièrement automatiques, de mesure des paramètres de l'atmosphère par les aéronefs commerciaux.

Le premier programme reposait sur un système d'acquisition et de retransmission par satellite des données d'aéronefs (ASDAR) qui exigeait d'équiper les fuselages d'appareils

<sup>1</sup> [www.wmo.int/pages/prog/www/OSY/Documentation/RRR-process.pdf](http://www.wmo.int/pages/prog/www/OSY/Documentation/RRR-process.pdf)

<sup>2</sup> [ftp://ftp.wmo.int/Documents/PublicWeb/mainweb/meetings/cbodies/governance/tc\\_reports/french/pdf/1040\\_fr.pdf](ftp://ftp.wmo.int/Documents/PublicWeb/mainweb/meetings/cbodies/governance/tc_reports/french/pdf/1040_fr.pdf)

<sup>3</sup> <http://www.wmo.int/pages/prog/www/OSY/Publications/EGOS-IP-2025/EGOS-IP-2025-fr.pdf>

## Le Programme spatial de l'OMM

Il coordonne tout ce qui a trait aux satellites environnementaux dans les différents programmes de l'Organisation afin de faciliter et de promouvoir une bonne utilisation des données et des produits satellitaires dans le monde. Il s'attache avant tout à garantir la continuité des observations qui sont indispensables pour la prévision numérique du temps et la prévision immédiate, à mettre durablement en place un système d'observation au service de la surveillance du climat et à étendre le recours aux satellites dans les régions de l'OMM et dans divers domaines d'application.

Le Programme spatial encourage le dialogue et la coopération entre les exploitants de satellites afin que les activités en cours et les plans à long terme intègrent autant que possible les besoins des utilisateurs en matière de données (processus réalisé grâce à l'étude continue des besoins gérée par le SMO). La coopération internationale a permis au Groupe de coordination pour les satellites météorologiques (CGMS) d'élaborer des plans en vertu desquels les satellites d'un exploitant servent d'appareils de secours aux autres, parce qu'il est impératif de veiller à la continuité des opérations au sein des missions essentielles.

Le Système mondial d'interétalonnage des instruments satellitaires, actuellement à l'étape préopérationnelle, procédera de façon régulière à un étalonnage précis et uniforme des mesures radiométriques provenant de tous les satellites, condition nécessaire pour garantir l'interopérabilité, la cohérence et la traçabilité des observations spatiales, au profit notamment de la modélisation du climat et de la détection des tendances climatiques.

Le Programme spatial favorise également la coordination mondiale des plans à long terme, de manière à optimiser les avantages des diverses missions satellitaires

prévues dans les prochaines décennies et à permettre l'observation adéquate des phénomènes atmosphériques et autres paramètres de l'environnement. Cela pourrait amener à réexaminer la position vraie des satellites géostationnaires opérationnels au-dessus de l'Équateur et la distribution des missions en orbite basse quant à l'heure de franchissement de l'Équateur et aux orbites non héliosynchrones.

Le système d'observation à partir de l'espace, qui devait au départ servir la météorologie opérationnelle, a considérablement évolué; il est aujourd'hui la plus grande composante spatiale du Système mondial intégré des systèmes d'observation de l'OMM (WIGOS). Ce dernier répond aux besoins de l'Organisation en matière de données sur l'atmosphère, l'océan et les terres émergées, en accordant une large place à la surveillance du climat et à la réduction des risques de catastrophes. Le Programme prend activement part aux activités conduites par la Veille météorologique mondiale, la Veille de l'atmosphère globale, les programmes coparrainés tel le Système mondial d'observation du climat, les organismes internationaux, dont le CGMS et ses groupes de travail scientifiques, et le Comité sur les satellites d'observation de la Terre.

L'une des tâches prioritaires du Programme est d'élaborer l'architecture de surveillance du climat depuis l'espace qui garantira la mesure à long terme des indicateurs et des facteurs d'évolution du climat et fera en sorte que ces observations soient intégrées dans des processus validés de bout en bout pour fournir l'information et les services climatologiques au titre du CMSC.



*La composante spatiale du Système mondial d'observation*

## La prévision numérique du temps

Les spécialistes de la prévision numérique du temps (PNT) dans le monde sont des partenaires indispensables de l'OMM pour continuer à développer le SMO, partenariat dont les avantages sont clairement perçus de part et d'autre. L'efficacité de la PNT s'est améliorée au fil des décennies, grâce à de multiples facteurs dont l'augmentation rapide de la puissance de calcul et une compréhension et caractérisation plus fines des processus atmosphériques. Depuis quelques années, les données provenant des satellites aident grandement à accroître la performance des systèmes de PNT, surtout à l'échelle du globe, ce qui allonge les délais des prévisions et des alertes. Les progrès sont encore plus nets dans l'hémisphère Sud, où les données satellitaires comblent de graves lacunes sur le plan des observations classiques en surface.

La PNT est à la base de la plupart des activités de prévision météorologique et climatologique. Elle mesure avec certitude l'information présente dans les observations qui alimentent ses modèles. C'est pourquoi les

déclarations d'orientation, tout comme les documents de nature plus stratégique, s'inspirent largement des diagnostics de la PNT concernant l'apport des différents systèmes d'information aux capacités de prévision.

L'OMM parraine depuis 1997 l'Atelier sur les incidences de divers systèmes d'observation sur la prévision numérique du temps, qui est devenu au fil des ans le principal cadre international où l'on présente et compare les études d'impact. Ils réunissent les représentants des grands centres de PNT, les experts scientifiques et les fournisseurs de données. C'est l'un des moyens par lesquels le Groupe d'action sectoriel ouvert des systèmes d'observation intégrés obtient l'avis des utilisateurs sur les mesures objectives des incidences des observations.

Les méthodes d'évaluation objective permettent de mieux cerner l'apport des différents systèmes à la PNT et, ce faisant, aident à prendre des décisions importantes sur les investissements à réaliser dans les réseaux d'observation.

spéciaux. Le système de retransmission des données météorologiques d'aéronefs (AMDAR) est apparu dans les années 1980. Il fournit les observations provenant des capteurs et des systèmes d'avionique et de communication qui font partie de l'aéronef – sans qu'il soit nécessaire de modifier la cellule ou les systèmes en place. Cet énorme avantage n'est pas étranger à l'essor rapide qu'a connu le programme AMDAR depuis deux décennies; c'est aujourd'hui l'une des grandes composantes du SMO. Une quarantaine de compagnies aériennes et plus de 3 000 aéronefs fournissent chaque jour au-delà de 300 000 observations de qualité sur la température, les vents, l'humidité et d'autres variables importantes. Aux observations AMDAR s'ajoutent les observations météorologiques effectuées automatiquement à partir de la plate-forme d'aéronef, en tant que retombées secondaires des systèmes institués

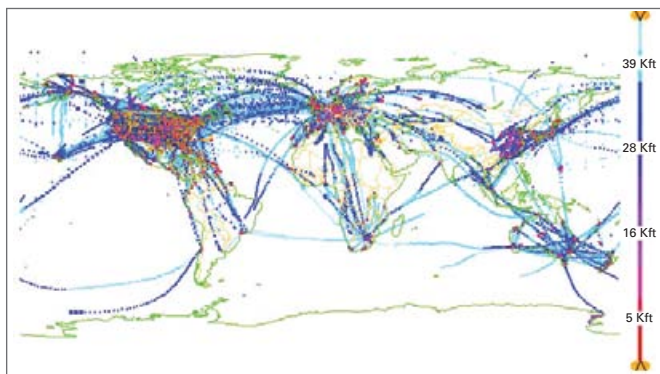
par l'Organisation de l'aviation civile internationale, telle la surveillance dépendante automatique.

On s'attend à une croissance exponentielle des précieuses données fournies par les aéronefs, ce qui améliorera la couverture du globe. La multiplication des mesures de l'humidité pourrait aider les opérations aériennes et contribuer à la protection de l'environnement, grâce à des applications destinées à éviter la formation de traînées de condensation, à signaler les risques de givrage et à réduire la consommation de carburant, par exemple.

La mesure d'autres éléments atmosphériques qui présentent un intérêt pour le secteur aéronautique et pour l'environnement (cendres volcaniques, dioxyde de carbone, méthane, etc.) commence à peine mais elle devrait s'étendre.

### Radars météorologiques (précipitations)

Même si les réseaux de radars météorologiques s'étoffent – un millier d'appareils sont exploités par les Services météorologiques et hydrologiques nationaux – une bonne partie des terres émergées n'est toujours pas couverte. Sur le plan de la technologie, les logiciels de traitement du signal et les capacités ont considérablement progressé. Le passage à la polarimétrie est en cours dans toutes les installations neuves. Après des décennies d'intenses recherches, la polarimétrie est prête à être utilisée en exploitation; elle devrait améliorer la classification des échos, la suppression des éléments non météorologiques et la correction pour l'atténuation due aux hydrométéores dans les bandes C et X, ce qui affina l'estimation de l'intensité des pluies.



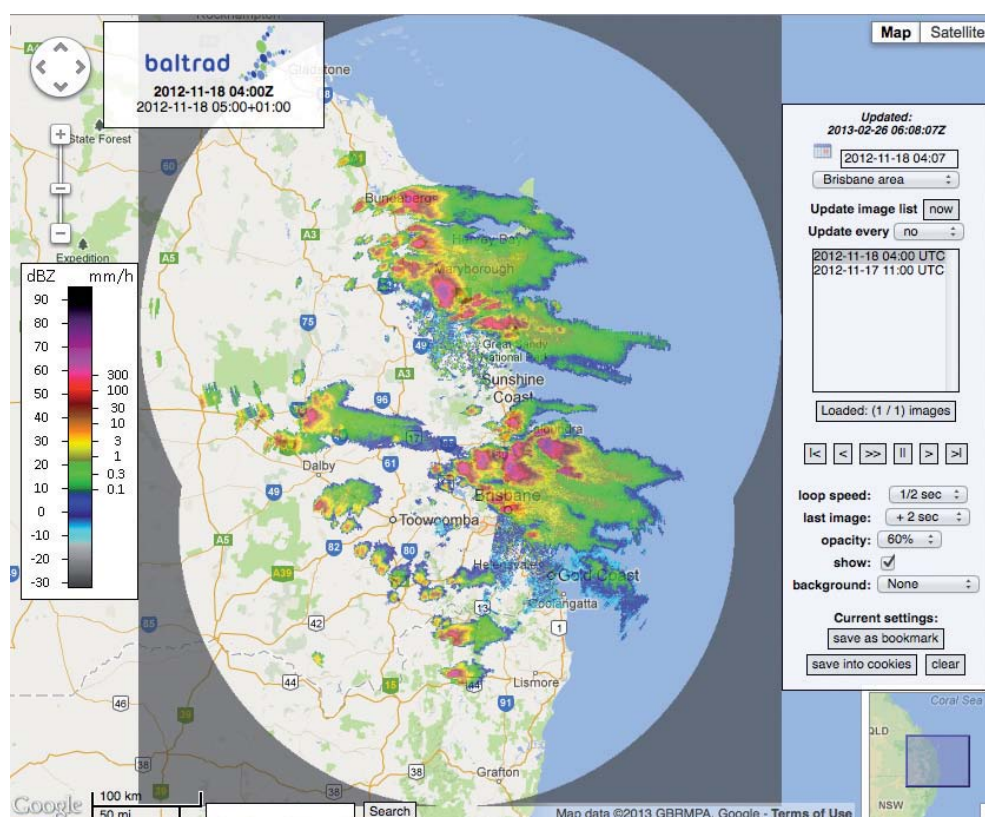
Régions du globe couvertes par les observations d'aéronefs au cours d'une période de 24 heures, en décembre 2012



## Les progrès de la prévision immédiate

Les observations sont particulièrement importantes pour établir des avis et prévisions à très brève échéance. À ces échelles, les premières sources d'information des prévisionnistes ne sont plus les résultats des modèles, mais les observations elles-mêmes. Des techniques ont été mises au point pour intégrer, interpréter et projeter dans le temps les informations provenant des radars météorologiques, d'autres systèmes d'observation au sol et de l'imagerie satellitaire à haute résolution afin de pouvoir fournir des prévisions à très courte échéance, également appelées prévisions immédiates. Ces produits ne sont pleinement utiles que si les personnes

concernées les reçoivent et y réagissent sans tarder. Une réaction, même partielle, permet d'éviter de graves conséquences dans les centres urbains très denses, quand des secteurs clés sont menacés (exploitation minière, transports, etc.) ou lorsque la sécurité des personnes est en jeu. Trop de pays en développement n'ont pas encore la capacité de prendre toutes les mesures voulues, mais une autre étape devrait être franchie grâce au projet de démonstration concernant la prévision des conditions météorologiques extrêmes, aux activités similaires et à la large diffusion prochaine des données de satellites géostationnaires présentant une grande fréquence spatio-temporelle.



Daniel Michelson, Alan Seed et Mark Curtis

*Fortes tempêtes au-dessus et à proximité de Brisbane, dans l'Etat du Queensland en Australie, détectées par trois radars météorologiques du réseau national le 18 novembre 2012. Les systèmes en cause se sont formés rapidement, ont déversé à plusieurs endroits des grêlons plus gros qu'une balle de golf et ont déclenché des crues éclair. (Données traitées avec le système BALTRAD par l'Institut suédois de météorologie et d'hydrologie et le Service météorologique australien)*

L'expansion des réseaux s'explique notamment par la tendance à utiliser des radars en bande X dans les systèmes opérationnels afin d'étendre la couverture, par exemple dans les régions accidentées ou en milieu urbain, surtout pour les applications hydrologiques touchant les crues éclair. L'un des avantages de la bande X est d'abaisser le coût des systèmes et de l'infrastructure.

Les modèles de prévision numérique du temps (PNT) utilisent de plus en plus les données radar. Les valeurs d'intensité des précipitations, les réflectivités radar, les données sur le vent radial et les profils verticaux du vent obtenus au moyen de radars servent à la fois à l'assimilation et à la vérification; il a été démontré qu'ils améliorent la capacité de prévision des modèles. L'échange de telles

données à l'échelle internationale est indispensable pour continuer à avancer dans cette voie.

### Profileurs du vent

La démonstration de l'efficacité de ces appareils pour mesurer le profil vertical du vecteur vent horizontal à partir du sol a été faite au début des années 1970. La technique n'a cessé de s'étendre et de s'améliorer depuis. Son grand avantage est de fournir des profils verticaux du vent horizontal à haute résolution temporelle quelles que soient les conditions météorologiques, que le ciel soit couvert ou dégagé, sans nécessiter d'information supplémentaire. Aucun autre instrument de télédétection ne présente des capacités similaires. Il a été établi que l'exactitude des données émanant de profileurs du vent en bon état de fonctionnement, utilisés comme il convient, était comparable, sinon supérieure, à celle des mesures du vent par radiosonde. De nos jours, ces appareils sont couramment employés en météorologie opérationnelle comme en recherche.

L'Administration américaine pour les océans et l'atmosphère (NOAA) a créé au milieu des années 1990 le premier réseau opérationnel de profileurs au moyen de radars à ondes décimétriques (404 et 449 MHz). D'autres réseaux sont ensuite apparus en Europe et en Asie. Vu le nombre d'installations, de plus en plus de données produites par les radars profileurs du vent sont assimilées pour la PNT depuis dix ans. Une étude conduite par le Service météorologique du Royaume-Uni a montré qu'elles réduisaient nettement les erreurs de prévision, dans les modèles mondiaux aussi bien que dans les modèles à haute résolution, et que l'impact global excédait celui des données de radiosondage.

Les observations à haute résolution émanant des radars profileurs du vent conviennent particulièrement bien à la description de l'état de l'atmosphère aux échelles moyennes ou inférieures, ce qui est rarement le cas des autres données.



MeteoSuisse

Profileur du vent doté de cinq panneaux à Payerne, Suisse

Il est probable que l'avantage sera encore plus marqué avec les modèles d'échelle moyenne.

### Données du Système mondial de navigation par satellite (GNSS) au sol

Les mesures de l'humidité par le système d'observation météorologique ne sont toujours pas suffisantes, problème auquel on remédie depuis quelques années en utilisant des données du GNSS au sol (délai zénithal total, ou ZTD). La plupart des sites du GNSS étant choisis à des fins de positionnement, le délai atmosphérique est un terme de bruit pour les exploitants et les principaux utilisateurs. Il est cependant possible, à partir des mesures de ZTD, d'estimer la colonne de vapeur d'eau atmosphérique au-dessus des sites en question, valeurs qui peuvent ensuite être transmises en temps quasi réel en vue d'applications météorologiques opérationnelles.

La production d'estimations de ZTD en temps quasi réel exige une étroite collaboration entre les domaines de la géodésie et de la météorologie, qui devraient tous deux en bénéficier puisque l'information météorologique aidera à affiner encore le positionnement par le GNSS. Le GPS américain et le GLONASS russe sont les deux systèmes les plus connus, mais l'Europe et l'Asie sont en train de se doter de leurs propres installations. La qualité des estimations de ZTD en sera plus grande et de nouveaux produits atmosphériques du GNSS, plus détaillés, pourront être établis à des fins météorologiques (gradients, délais obliques, reconstruction tomographique des champs de vapeur d'eau).

Le réseau de ZTD en temps quasi réel du GNSS a pris énormément d'ampleur depuis le début du millénaire. On estime que les données de 4 000 à 5 000 sites sont aujourd'hui disponibles, la majorité provenant de réseaux denses en Europe de l'Ouest, en Amérique du Nord et au Japon. Une forte hausse est attendue dans les prochaines années. Les données de ZTD européennes sont diffusées par le biais du SMT en tant qu'observations additionnelles, mais il faut encore intensifier grandement les échanges à l'échelle du globe.

Les observations de ZTD présentent la caractéristique unique de s'améliorer constamment, du temps réel au temps quasi réel, au post-traitement et, enfin, à la réanalyse, car on dispose de plus d'informations de grande qualité sur l'état du GNSS lui-même, à partir des mesures et non des prévisions. Il devient donc possible de générer de meilleurs produits, présentant des délais supérieurs, spécialement conçus pour les applications climatologiques.

### Observations maritimes

La météorologie maritime et, plus largement, les applications météorologiques et climatologiques sont fortement tributaires des observations du temps et de l'océan in situ et par satellite. De plus, les mesures in situ en mer procurent la réalité de terrain nécessaire pour valider les observations par satellite et fournissent des données qu'il est impossible d'obtenir par d'autres moyens.

Les navires ont été la seule source d'information de ce genre pendant des décennies, mais de nouvelles plates-formes sont apparues avec la VMM, par exemple les stations météorologiques spécialisées, les bouées dérivantes, les bouées houlographes, les bouées météorologiques et océanographiques ancrées, les marégraphes, les plates-formes de surveillance des tsunamis (qui détectent les tremblements de terre sous l'eau et les ondes sismiques en surface) et, plus récemment, les flotteurs profilants Argo à grande profondeur, les planeurs en surface et sous la surface des océans et les radars côtiers à haute fréquence pour la surveillance des vagues et des courants en surface.

La création de la VMM a entraîné une hausse spectaculaire des observations; elles sont passées de 1,5 million environ à plus de 9 millions en 75 ans, comme le montre l'évolution du volume de données météorologiques et climatologiques provenant de divers types de plates-formes océaniques (voir le graphique). La baisse marquée du nombre de données provenant des navires a été compensée par l'augmentation des observations fournies par les bouées dérivantes et ancrées.

D'intenses efforts sont déployés depuis dix ans, au sein de l'OMM mais aussi en partenariat avec la Commission océanographique intergouvernementale de l'UNESCO, pour mieux coordonner à l'échelle internationale la conception et la réalisation de systèmes d'observation océanographique et météorologique en milieu marin. Le système mondial initial d'observation de l'océan est achevé à 62 % et trois composantes ont atteint leur premier objectif de mise en œuvre, à savoir: le réseau mondial de bouées dérivantes (septembre 2005, 1 250 unités), le programme Argo de flotteurs profilants (novembre 2007, 3 000 unités) et la flotte de navires d'observation bénévoles du projet climatique (juin 2007, 250 unités).

De nouvelles technologies devront être mises au point et d'autres variables devront être mesurées, en particulier les paramètres biogéochimiques, pour répondre aux besoins naissants. Il est probable qu'on recourra davantage aux types récents de plates-formes, tels les planeurs en surface et sous-marins, les appareils montés sur des animaux marins et les plates-formes de fond reliées à d'anciens câbles de télécommunication immergés.

## Avantages pour les utilisateurs finals

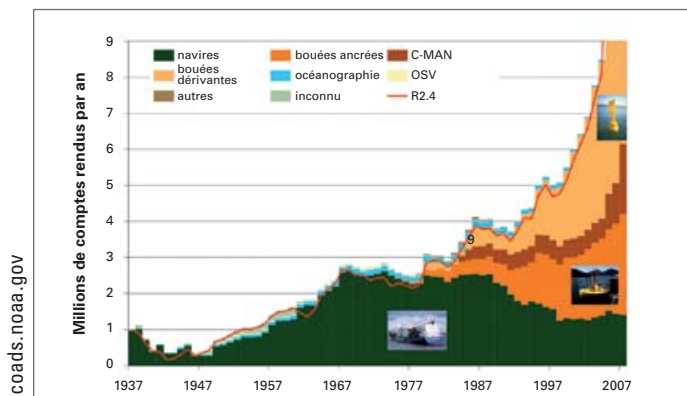
Les retombées de la VMM sont extrêmement variées, que l'on pense à l'augmentation de la productivité agricole, à la réduction de la pollution en milieu urbain ou à la protection de la santé humaine par une gestion plus avisée de l'environnement. Tout aussi importants sont les bases scientifiques sur lesquelles reposent les produits élaborés et les mécanismes grâce auxquels les Services météorologiques et hydrologiques nationaux sont en mesure d'offrir aux utilisateurs finals de meilleurs services axés sur leurs besoins. L'ensemble des composantes de la VMM y participent, mais certains succès notables reviennent plus précisément au SMO.

Toutes les étapes du cycle de la réduction des risques de catastrophes – planification, préparation, prévision, intervention, reconstruction, évaluation – bénéficient du SMO. Les notions d'intégration et de réseaux sous-tendent l'approche multidanger; sans l'intégration mondiale permise par le SMO, les observations locales ne seraient, au mieux, utiles qu'aux autorités locales. La possibilité de mobiliser des moyens régionaux et internationaux quand survient une catastrophe découle de la fiabilité et de la confiance accordées aux observations que le SMO fournit 24 heures sur 24, 365 jours par an, et que le SMT transmet sans délai.

Ce sont les relevés à long terme qui montrent le plus clairement que le climat de la planète change. On pensait que les systèmes à satellites ne permettraient pas de suivre des phénomènes qui s'étendent au-delà de la durée de vie d'un seul appareil, mais on reconnaît maintenant que la composante de surface et la composante spatiale du SMO sont capables de mesurer et d'étayer la tendance temporelle et la distribution spatiale du changement climatique. L'intérêt politique que suscitent aujourd'hui, à un haut niveau et dans le monde entier, la compréhension et l'atténuation des impacts de l'évolution du climat montre concrètement l'utilité de la coopération internationale dans le domaine des observations. Un tel degré d'attention, qui se manifeste aussi dans divers mécanismes internationaux comme les travaux du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat et l'application de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, n'aurait abouti à rien si l'on n'avait pas négocié et adopté des normes internationales d'observation et de transmission et si l'on n'avait pas établi et exploité des systèmes mondiaux de mesure, y compris de solides réseaux de référence. Le SMO montre à quel point il est nécessaire de continuer à étendre et à renforcer les systèmes coordonnés à l'échelle mondiale si l'on veut connaître la nature et l'impact du changement climatique.

Le SMO ne se limite pas aux conditions météorologiques, comme l'attestent ses retombées dans des applications très éloignées de la prévision du temps: il constitue aussi un modèle et une base sur laquelle bâtir des programmes d'observation encore plus complets.

Le SMO concourt directement et indirectement à la croissance et à la prospérité économiques parce que de multiples secteurs ont besoin d'informations et de



Données climatologiques et météorologiques de divers types provenant de l'ICOADS depuis 1937

prévisions météorologiques récentes et fiables pour prendre des décisions à des échelles très différentes. Il joue un rôle de premier plan dans la protection des personnes et des biens.

## **Poursuivre l'intégration**

---

La notion d'intégration est au cœur du SMO depuis le tout début; il s'agissait de conjuguer et d'optimiser l'apport de nombreux systèmes d'observation spatiaux et terrestres différents pour former un ensemble composite de systèmes. Depuis vingt ans, la PNT a révolutionné l'assimilation des observations sur une large gamme d'échelles spatiales et temporelles et a accru sa contribution par l'intégration au niveau des systèmes et des données. On a pu mieux exploiter les observations et identifier celles qui renferment le plus d'information utile. Il est aujourd'hui possible de satisfaire de manière efficace et intégrée les exigences de plusieurs domaines d'application en combinant des systèmes composites et complémentaires qui tirent au maximum parti du principe de «l'observation unique pour des utilisations multiples», tandis que l'étude continue des besoins aide à savoir quelles mesures particulières doivent être effectuées pour répondre aux attentes des utilisateurs.

Le SMO fait maintenant partie du Système mondial intégré des systèmes d'observation de l'OMM (WIGOS), une architecture encore plus vaste qui permettra à de nouveaux Membres et de nouvelles communautés de bénéficier d'une approche systématique et globale des observations météorologiques. Le WIGOS doit coordonner le fonctionnement de l'ensemble des systèmes d'observation soutenus par l'Organisation et ses Membres; il prolonge en cela le regroupement déjà réalisé au sein du SMO en intégrant d'autres systèmes, dont la Veille de l'atmosphère globale, le Système mondial d'observation du cycle hydrologique, le Réseau de référence pour la mesure du rayonnement en surface et le Système mondial d'observation du climat. Le but est de constituer un ensemble complet, coordonné et viable de systèmes d'observation et, avec l'aide du Système d'information de l'OMM, de faire en sorte que les Membres puissent fournir un large éventail de services fondés sur les observations et répondre plus justement aux besoins des programmes de recherche. Le WIGOS contribue aussi de manière sensible au Système mondial des systèmes d'observation de la Terre en lui apportant toute la capacité et l'expérience de la VMM, l'approche intégrée et systématique du SMO axée sur les besoins, les liens tissés avec les utilisateurs et l'esprit de coopération et de collaboration volontaires à l'échelle internationale.



# Chaleur, acidité, manque d'oxygène – L'océan en difficulté



Article reproduit avec l'autorisation du Plymouth Marine Laboratory<sup>1</sup>

## Qu'advient-il du plus grand écosystème de la planète?

L'océan couvre près des trois quarts de la surface du globe, forme 96 % de l'espace habitable, procure la moitié de l'oxygène que nous respirons et constitue une source cruciale de protéines pour une population mondiale en rapide expansion. Mais les activités humaines ne sont pas sans impact sur cette précieuse ressource à l'échelle locale, régionale et mondiale.

Au cours des décennies et des siècles à venir, la santé de l'océan pâtira des effets croissants d'au moins trois facteurs en interaction. L'élévation de la température, l'augmentation de l'acidité et la diminution de la teneur en oxygène de l'eau de mer modifieront profondément la physique, la chimie et la biologie du milieu marin. Ces changements auront sur l'océan des incidences que nous commençons à peine à comprendre.

Il est primordial que les hauts responsables internationaux perçoivent le rôle immense joué par l'océan dans la vie sur Terre et saisissent les répercussions d'une hausse des concentrations mondiales de CO<sub>2</sub> sur l'océan et sur la société tout entière.

### 1 – Acidification de l'océan

L'acidification de l'océan est la conséquence directe de l'élévation des niveaux de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) dans l'atmosphère. Lorsque le CO<sub>2</sub> pénètre dans l'océan, il passe rapidement par une série de réactions chimiques qui augmentent l'acidité de l'eau de mer en surface

(diminution du pH). Au cours des 250 dernières années, l'océan a absorbé 30 % à peu près du CO<sub>2</sub> d'origine anthropique, ce qui a abaissé son pH à un rythme inégalé depuis quelque 60 millions d'années.

Le phénomène peut sembler bénéfique, dans la mesure où il ralentit l'accumulation de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère et le réchauffement de la planète; sans le puits formé par l'océan, les concentrations atmosphériques de CO<sub>2</sub> se situeraient déjà au-delà de 450 ppm. Toutefois, s'il perdure, un changement aussi rapide et profond de la chimie de l'océan risque de nuire à la vie marine; il sera non seulement préjudiciable aux nombreux organismes dont le squelette ou la coquille est formé de carbonate de calcium (huîtres, moules, coraux, certaines espèces de plancton, entre autres), mais pourrait aussi entraîner dans bien d'autres organismes, écosystèmes et processus des modifications aux conséquences potentiellement graves pour la société.

L'acidité moyenne dans la couche supérieure de l'océan a diminué de quelque 0,1 unité pH (hausse de 30 % de l'acidité) depuis le début de la révolution industrielle; elle devrait encore baisser de 0,3 unité d'ici à la fin du siècle si les émissions de CO<sub>2</sub> se poursuivent au même rythme qu'aujourd'hui.

### 2 – Réchauffement de l'océan

Le réchauffement de l'océan observé ces dernières décennies découle directement de la hausse de la température atmosphérique imputable à «l'effet de serre». Cela retentit sur l'échange de gaz entre la surface de l'océan et l'atmosphère, ainsi que sur le transport et le stockage des gaz dans les profondeurs. Le réchauffement de l'océan perturbe aussi le mélange des eaux profondes riches en nutriments et des couches superficielles plus pauvres, en particulier dans les régions tropicales; la baisse résultante de la productivité portera gravement atteinte à la sécurité alimentaire provenant de la pêche.

<sup>1</sup> Par Turley, C., Keizer, T., Williamson, P., Gattuso, J.-P., Ziveri, P., Monroe, R., Boot, K. et Huelsenbeck, M., *Hot, Sour and Breathless - Ocean under stress*, Plymouth Marine Laboratory, UK Ocean Acidification Research Programme, European Project on Ocean Acidification, Mediterranean Sea Acidification in a Changing Climate, Scripps Institution of Oceanography at UC San Diego, OCEANA, 2013, 6 p. ISBN: 978-0-9519618-6-5 (disponible à l'adresse: [www.oceanunderstress.com](http://www.oceanunderstress.com)).

Par ailleurs, il est probable que le réchauffement de l'océan a des effets directs sur la physiologie des organismes marins et, ce faisant, modifie les aires de répartition des espèces, y compris celles qui revêtent une importance commerciale et sont bien adaptées aux conditions actuelles; il est presque certain, par exemple, que la hausse des températures n'est pas étrangère au déclin des stocks de morue dans l'Atlantique Nord.

L'océan renferme énormément de chaleur. Ces dernières décennies, il a emmagasiné 90 % environ de l'énergie due au réchauffement du système terrestre. La température moyenne de la mer en surface a déjà augmenté de 0,7 °C en cent ans, chiffre qui devrait excéder 3 °C dans certaines régions océaniques d'ici à la fin du siècle.

### 3 – Désoxygénation de l'océan

On désigne par ce terme la diminution de la quantité d'oxygène (O<sub>2</sub>) dissous que renferme l'eau de mer. Le changement climatique peut influencer de plusieurs manières sur la teneur de l'océan en oxygène. Il ne fait aucun doute que le phénomène survient dans une eau plus chaude, puisque la hausse de la température réduit la solubilité de l'oxygène. Le réchauffement risque également d'accentuer la stratification de l'océan et, par conséquent, d'altérer le transport d'oxygène de la surface vers les profondeurs. L'acidification des eaux et le déversement de nutriments par les cours d'eau contribuent aussi à la désoxygénation.

Les poissons et une multitude d'organismes marins qui ont besoin d'une certaine quantité d'oxygène pour survivre risquent de souffrir d'une baisse des concentrations. Si de vastes étendues étaient touchées, ces organismes en seraient chassés. Ceux qui tolèrent les milieux pauvres en oxygène, en particulier les microbes, se multiplieraient sans doute, changeant ainsi l'équilibre des communautés biotiques. Il est possible également que les faibles teneurs en oxygène de l'océan augmentent la quantité de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, en modifiant les mécanismes de rétroaction qui mettent en jeu le méthane et le protoxyde d'azote.

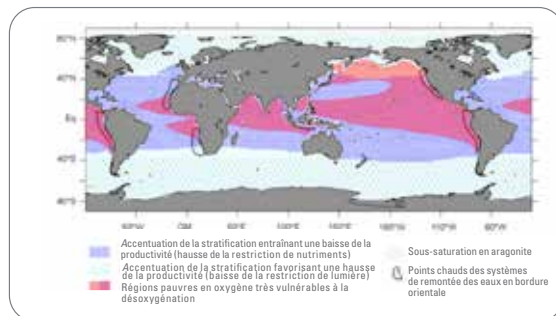
Selon les modèles actuels, la quantité d'oxygène dans l'océan mondial devrait chuter de 1 à 7 % au cours du prochain siècle. De grandes incertitudes persistent néanmoins quant à l'étendue et l'emplacement de ces modifications et à leur impact écologique.

#### Problème triple – facteurs multiples

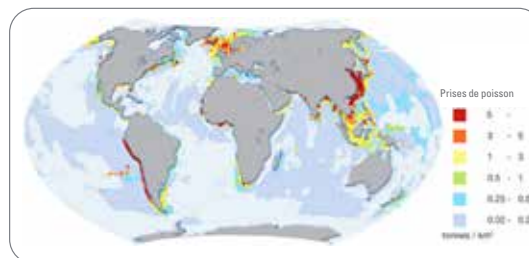
Il est probable que de nombreuses parties de l'océan souffriront au même moment de plusieurs des facteurs de stress environnemental décrits plus haut, car la cause sous-jacente est la même – la hausse des concentrations

atmosphériques de CO<sub>2</sub> et d'autres gaz à effet de serre. Ces «points chauds» ne seront pas seulement plus chauds, ils seront aussi plus stratifiés, plus acides et moins riches en oxygène, accentuant le stress imposé à la vie marine d'une façon qui excéderait la simple addition des effets de chacun.

Ainsi, l'acidification risque d'accroître la sensibilité des espèces aux effets du réchauffement de l'eau, tandis que l'augmentation des concentrations de CO<sub>2</sub> alliée à une faible teneur en oxygène nuit à la respiration. Du fait de leur action conjuguée, ces facteurs de stress pourraient menacer très rapidement les cycles biogéochimiques, les écosystèmes et les biens et services que l'océan procure à la société, mettant en péril la sécurité alimentaire et les secteurs économiques qui dépendent de la productivité de la vie marine. Qui plus est, la modification des échanges gazeux entre l'atmosphère et l'océan aura une incidence sur le changement climatique.



Nicolas Gruber, *Phil. Trans. R. Soc. A* 369:1980–1996, 2011



Brochure 2010 du PNUE intitulée: *Emerging Issues: Environmental Consequences of Ocean Acidification: A threat to security*

*Aspect important et préoccupant, ces «points chauds» qui subissent simultanément plusieurs facteurs de stress risquent de coïncider avec les zones océaniques de grande productivité – où se pratiquent la pêche commerciale à grande échelle et la pêche de subsistance dans le monde en développement (voir les cartes)*

#### Mesures à prendre

**Atténuation:** L'acidification de l'océan étant principalement causée par le CO<sub>2</sub>, de vigoureuses mesures de réduction des émissions s'imposent. Le rejet dans l'atmosphère d'autres gaz à effet de serre devrait aussi être jugulé, puisque tous alimentent le réchauffement de l'océan et, par voie de conséquence, la désoxygénation.

**Adaptation:** Des stratégies d'adaptation doivent être élaborées, car une hausse marquée du réchauffement, de l'acidification et de la désoxygénation de l'océan est inévitable, même si les concentrations de CO<sub>2</sub> atmosphérique étaient maintenues aux niveaux actuels. Il faut absolument veiller à ce que le système conserve un potentiel de résilience maximal, par exemple en préservant voire en augmentant la diversité biologique et en sauvegardant un ensemble d'habitats différents. La lutte contre d'autres facteurs de stress environnemental, telles l'eutrophisation et la pollution des zones côtières par des substances organiques et inorganiques, aidera également. Il est cependant douteux, vu le rythme sans précédent des changements, que les mesures d'adaptation seules, sans atténuation, soient suffisantes pour éviter l'essentiel des dommages.

**Recherche:** La recherche est nécessaire pour mieux connaître et comprendre ces trois facteurs de stress interreliés. Par exemple, l'acidification fait l'objet d'intenses

études depuis peu, mais la désoxygénation ne suscite toujours pas un intérêt équivalent.

Il faudrait surtout adopter une perspective globale et analyser les effets conjugués de deux ou des trois facteurs de stress qui agissent en même temps. Des études en laboratoire et des expériences sur le terrain très poussées, pour la surveillance et la modélisation à l'échelle régionale et mondiale, débutent déjà au sein de partenariats multidisciplinaires et internationaux. Il est important d'étendre les capacités de recherche dans le monde entier, notamment dans les pays en développement vulnérables.

Afin de mieux comprendre les répercussions sur les écosystèmes et les conséquences pour chacun d'entre nous, la recherche devra s'orienter résolument vers une approche multidisciplinaire qui rassemble la physique et la chimie, les sciences sociales et économiques, l'étude du vivant et du système terrestre. Ces travaux devront présenter un intérêt pratique grâce à l'échange rapide de connaissances entre les chercheurs et les décideurs.

## Guide des facteurs de stress océanique

Modifications que subira l'océan au cours du siècle si les émissions de gaz à effet de serre n'accusent pas un recul rapide et marqué

Facteur de stress	Causes	Résultat	Effets directs	Impacts	Rétroaction sur le climat
<b>Réchauffement</b> • Domaine d'étude assez avancé pour ce qui est des changements physiques et de la physiologie, mais peu avancé à l'échelle écosystémique et biogéochimique	• Hausse des rejets de gaz à effet de serre dans l'atmosphère	• Élévation de la température, surtout dans les couches superficielles • Baisse du mélange océanique due à une plus grande stratification • Stratification des eaux arctiques favorisée par l'augmentation de l'écoulement et de la fonte des glaces de mer	• Diminution de la solubilité du dioxyde de carbone • Accélération des processus chimiques et biologiques • Diminution de l'apport naturel en nutriments dans les eaux plus stratifiées	• Stress sur la physiologie des organismes, dont le blanchissement des coraux • Migration importante d'espèces • Accélération du renouvellement des matières organiques • Stress lié aux nutriments pour le phytoplancton, surtout dans les eaux chaudes <b>• Modification de la biodiversité, des réseaux alimentaires et de la productivité, avec des effets possibles sur la pêche, la protection du littoral et le tourisme</b>	• Réduction de l'absorption de dioxyde de carbone par l'océan, en raison de l'effet sur la solubilité • Hausse de la consommation d'oxygène, production de dioxyde de carbone et diminution du transfert d'oxygène vers les profondeurs océaniques • Baisse possible de la migration du carbone vers l'intérieur de l'océan • Diminution de la production primaire, sauf dans l'Arctique où la disparition des glaces de mer pourrait se traduire par une hausse
<b>Acidification</b> • Expansion de ce sujet de recherche depuis dix ans	• Hausse des rejets de dioxyde de carbone dans l'atmosphère • Enrichissement des eaux côtières par des nutriments, contribution locale possible des hydrates de méthane et des gaz acides rejetés par l'industrie	• Modification, à un rythme inégalé, de la chimie des carbonates dans l'océan • Causticité de la majorité de l'océan pour les coraux et les organismes à coquille, premiers effets dans l'Arctique d'ici à 2020	• Baisse de la calcification, de la croissance et de la reproduction de nombreuses espèces • Modification de la teneur en carbone et en azote des matières organiques	• Entrave à la formation des coquilles ou des squelettes et stress physiologique pour de nombreuses espèces, y compris au stade juvénile • Modification de la biodiversité et des écosystèmes, et des biens et services qu'ils procurent <b>• Grande vulnérabilité probable des eaux froides et remontantes qui permettent d'importantes activités de pêche et d'aquaculture</b>	• Réduction de l'absorption de dioxyde de carbone par l'océan en raison des effets chimiques • Modification de la migration du carbone vers l'intérieur de l'océan • Consommation accrue d'oxygène dans toute la colonne d'eau en raison de la modification de la composition des matières organiques
<b>Désoxygénation</b> • Question nouvelle peu étudiée	• Diminution de la solubilité de l'oxygène due au réchauffement • Baisse de l'apport d'oxygène à l'intérieur de l'océan en raison d'un mélange limité • Élimination locale de l'oxygène imputable aux écoulements riches en nutriments à partir des terres	• Diminution de l'oxygène disponible pour la respiration, surtout dans les régions productives et à l'intérieur de l'océan • Vastes zones pauvres ou très pauvres en oxygène	• Diminution de la croissance et de l'activité du zooplancton, des poissons et d'autres organismes qui ont besoin d'oxygène • Perturbation du système endocrinien	• Stress sur les organismes qui ont besoin d'oxygène • Risque de disparition d'espèces dans les zones pauvres en oxygène • Répercussions sur la réussite de la reproduction <b>• Remplacement par des organismes qui tolèrent les milieux pauvres en oxygène, surtout les micro-organismes, et perte des services procurés par les écosystèmes dans ces zones</b>	• Augmentation de la production de méthane et de protoxyde d'azote, deux gaz à effet de serre
<b>Trois facteurs conjugués</b> • Peu d'études	• Hausse des rejets de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, en particulier le dioxyde de carbone	• Présence plus fréquente d'eaux plus chaudes, mais aussi plus acides et moins riches en oxygène	• Atteinte à la physiologie des organismes, à l'équilibre énergétique et à la formation de coquilles, par exemple dégradation des récifs coralliens	• Baisse possible de la tolérance thermique des organismes due à l'acidification, accentuant l'impact du réchauffement <b>• Risque accru, du fait des effets conjugués, pour la sécurité alimentaire et les secteurs économiques tributaires d'écosystèmes marins sains et productifs</b>	• Modification profonde de la physique, de la chimie et des écosystèmes océaniques • Risque de rétroactions positives multiples sur l'atmosphère, accélérant le changement climatique futur



**Problema 1:**

Dada la siguiente expresión del campo de geopotencial:

$$\phi = \phi_0(p) + f_0 \left[ -Uy + \frac{1}{k} V \cos\left(\pi \frac{p}{p_0}\right) \sin k(x - ct) \right]$$

Donde  $U$ ,  $V$  y  $c$  son velocidades constantes.

**A)** Utilícese la ecuación de vorticidad cuasigeostrófica para obtener un valor de  $\omega$ . Supóngase que  $\frac{df}{dy} = \beta$  es constante (no nula) y que  $\omega$  se anula para  $p = p_0$ .

**B)** Utilícese la ecuación adiabática de la energía termodinámica para las condiciones dadas en el apartado anterior con objeto de obtener una determinación alternativa de  $\omega$ . Hállese el valor de  $c$  para el que este valor de  $\omega$  concuerda con el encontrado en el apartado A).

**C)** Utilícese la ecuación omega para obtener otra expresión alternativa de  $\omega$  y compruébese que este resultado coincide con los encontrados en los apartados anteriores.

**D)** Hallar la amplitud de  $\omega$  si  $\beta = 2 \cdot 10^{-11} m^{-1} s^{-1}$ ;  $U = 25 m s^{-1}$ ;  $V = 8 m s^{-1}$ ;  $k = \frac{2\pi}{10^4 (k \cdot m)}$ ;  
 $f_0 = 10^{-4} s^{-1}$ ;  $\sigma = 10^{-4} Pa^{-2} m^2 s^{-2}$ ;  $P_0 = 10^2 kPa$ .



---

TERCER EJERCICIO

---

**Problema 2:**

Una masa de aire se encuentra en la falda de una montaña con temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$  y humedad relativa  $h = 90\%$  mientras que el aire circundante tiene una temperatura de  $15^{\circ}\text{C}$ . Se observa que el aire empieza a ascender y da lugar a la formación de nubes  $100\text{ m}$  antes de llegar a la cima de la montaña. En dicha cima existe una estación meteorológica que mide un valor de humedad específica de  $q = 0.001$ . La masa de aire desciende por la ladera opuesta de la montaña llegando al suelo con un valor de temperatura de  $0.5^{\circ}\text{C}$  superior a la original. Si el gradiente térmico vertical es  $\alpha = 0.0065^{\circ}\text{C}/\text{m}$  y la presión en la falda de la montaña es  $P = 1013\text{hPa}$ , calcúlese:

- A) La altura de la montaña.
- B) Humedad específica y humedad relativa de la masa de aire en el punto final.
- C) Temperatura de la masa de aire en la cumbre.
- D) Mínimo valor de  $\alpha$  para que puedan formarse las nubes.

Datos:

Tensión saturante  $E(20^{\circ}\text{C}) = 23.48\text{hPa}$  ;

Calor específico del aire seco a presión constante:  $1005\text{ JK}^{-1}\text{Kg}^{-1}$

Calor específico del vapor de agua a presión constante:  $1860\text{ JK}^{-1}\text{Kg}^{-1}$

Constante R de los gases para el aire seco:  $287\text{ JK}^{-1}\text{Kg}^{-1}$

Calor latente de vaporización L:  $2.51 \times 10^6\text{ JKg}^{-1}$

Utilícese si fuera necesario  $\ln(T/T_0) \cong (T - T_0)/T_0$



TERCER EJERCICIO

---

**Problema 3:**

Calcúlese cerca de la superficie del mar:

- A)** La tensión de Reynolds, la velocidad de fricción y el flujo de calor sensible.
- B)** El número de Richardson  $R_i$  indicando si hay turbulencia y el número de Richardson en forma de flujo  $R_f$ , utilizando dos procedimientos distintos para la obtención de éste último.
- C)** La longitud de estabilidad según la teoría de semejanza de Monin Obukhov.
- D)** La cizalladura vertical del viento medio sabiendo que la altura de las olas es un metro.
  - 1.d)** En condiciones adiabáticas.
  - 2.d)** En condiciones diabáticas.

Datos:

Coeficiente de viscosidad turbulenta  $K_z = 1.7m^2s^{-1}$ ;

Coeficiente de conductividad turbulenta  $K_H = 0.5m^2s^{-1}$ ;

$c_p = 240.5cal \cdot Kg^{-1}K^{-1}$ ;

Densidad del aire  $\rho = 1.293Kg \cdot m^3$ ;

Velocidad del viento a 13m de altura sobre el nivel del mar  $u = 5m \cdot s^{-1}$ ;

Temperatura del agua marina superficial  $t_w = 19.9^\circ C$ ;

Temperatura del aire a 13m de altura sobre el nivel del mar  $t_a = 16.2^\circ C$ .