



$$W_x = \frac{M \cdot \text{máx}}{2}$$

Entornos invisibles

(de la ciencia y la tecnología)

Estación meteorológica



Capítulo 9

Guía didáctica

Autores | Claudia Campetella | Bibiana Cerne | Paola Salio

$$\sigma_{ad} = 1.600 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \Rightarrow \sigma_{ad} = 16.000 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

Autoridades

Presidente de la Nación
Dra. Cristina Fernández de Kirchner

Ministro de Educación
Dr. Alberto E. Sileoni

Secretaria de Educación
Prof. María Inés Abrile de Vollmer

Directora Ejecutiva del Instituto Nacional de Educación Tecnológica
Lic. María Rosa Almandoz

Director Nacional del Centro Nacional de Educación Tecnológica
Lic. Juan Manuel Kirschenbaum

Director Nacional de Educación Técnico Profesional y Ocupacional
Ing. Roberto Díaz

Ministerio de Educación. Instituto Nacional de Educación Tecnológica.

Saavedra 789. C1229ACE.
Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
República Argentina.
2011

Director de la Colección:
Lic. Juan Manuel Kirschenbaum

Coordinadora general de la Colección:
Claudia Crowe

Diseño didáctico y corrección de estilo:
**Lic. María Inés Narvaja
Ing. Alejandra Santos**

Coordinación y producción gráfica:
Augusto Bastons

Diseño gráfico:
**María Victoria Bardini
Augusto Bastons
Martín Alejandro González
Federico Timerman**

Ilustraciones:
**Diego Gonzalo Ferreyro
Martín Alejandro González
Federico Timerman**

Administración:
**Cristina Caratozzolo
Néstor Hergenrether**

Colaboración:
**Jorgelina Lemmi
Psic. Soc. Cecilia L. Vázquez
Dra. Stella Maris Quiroga**

“Colección Encuentro Inet”.

Director de la Colección: Juan Manuel Kirschenbaum.

Coordinadora general de la Colección: Claudia Crowe.

Queda hecho el depósito que previene la ley N° 11.723. © Todos los derechos reservados por el Ministerio de Educación - Instituto Nacional de Educación Tecnológica.

Reproducción autorizada haciendo mención de la fuente.

Industria Argentina

ADVERTENCIA

La habilitación de las direcciones electrónicas y dominios de la web asociados, citados en este libro, debe ser considerada vigente para su acceso, a la fecha de edición de la presente publicación. Los eventuales cambios, en razón de la caducidad, transferencia de dominio, modificaciones y/o alteraciones de contenidos y su uso para otros propósitos, queda fuera de las previsiones de la presente edición -Por lo tanto, las direcciones electrónicas mencionadas en este libro, deben ser descartadas o consideradas, en este contexto-

Colección Encuentro Inet

Esta colección contiene las siguientes series (coproducidas junto con el Instituto Nacional de Educación Tecnológica - INET):

- La técnica
- Aula-taller
- Máquinas y herramientas
- Entornos invisibles de la ciencia y la tecnología

DVD 4 | Aula-taller

Capítulo 1
Biodigestor

Capítulo 2
Quemador de biomasa

Capítulo 3
Planta potabilizadora

Capítulo 4
Probador de inyecciones

DVD 5 | Aula-taller

Capítulo 5
Planta de tratamiento de aguas residuales

Capítulo 6
Tren de aterrizaje

Capítulo 7
Banco de trabajo

Capítulo 8
Invernadero automatizado

DVD 6 | Máquinas y herramientas

Capítulo 1
Historia de las herramientas y
las máquinas herramientas

Capítulo 2
Diseño y uso de
Máquinas Herramientas

Capítulo 3
Diseño y uso de
Herramientas de corte

Capítulo 4
Nuevos paradigmas en el mundo
de las máquinas herramientas y
herramientas de corte

DVD 7 | Entornos invisibles (de la ciencia y la tecnología)

Capítulo 1
Parque de diversiones

Capítulo 2
Cocina

Capítulo 3
Red de energía eléctrica

Capítulo 4
Campo de deportes

DVD 8 | Entornos invisibles (de la ciencia y la tecnología)

Capítulo 5
Estadio de Rock

Capítulo 6
Estructuras

Capítulo 7
Chacra orgánica

Capítulo 8
Bar

DVD 9 | Entornos invisibles (de la ciencia y la tecnología)

Capítulo 9
Estación meteorológica

Capítulo 10
Restaurante

Capítulo 11
Seguridad en obras de construcción

Capítulo 12
Camping musical

Capítulo 13
Hospital

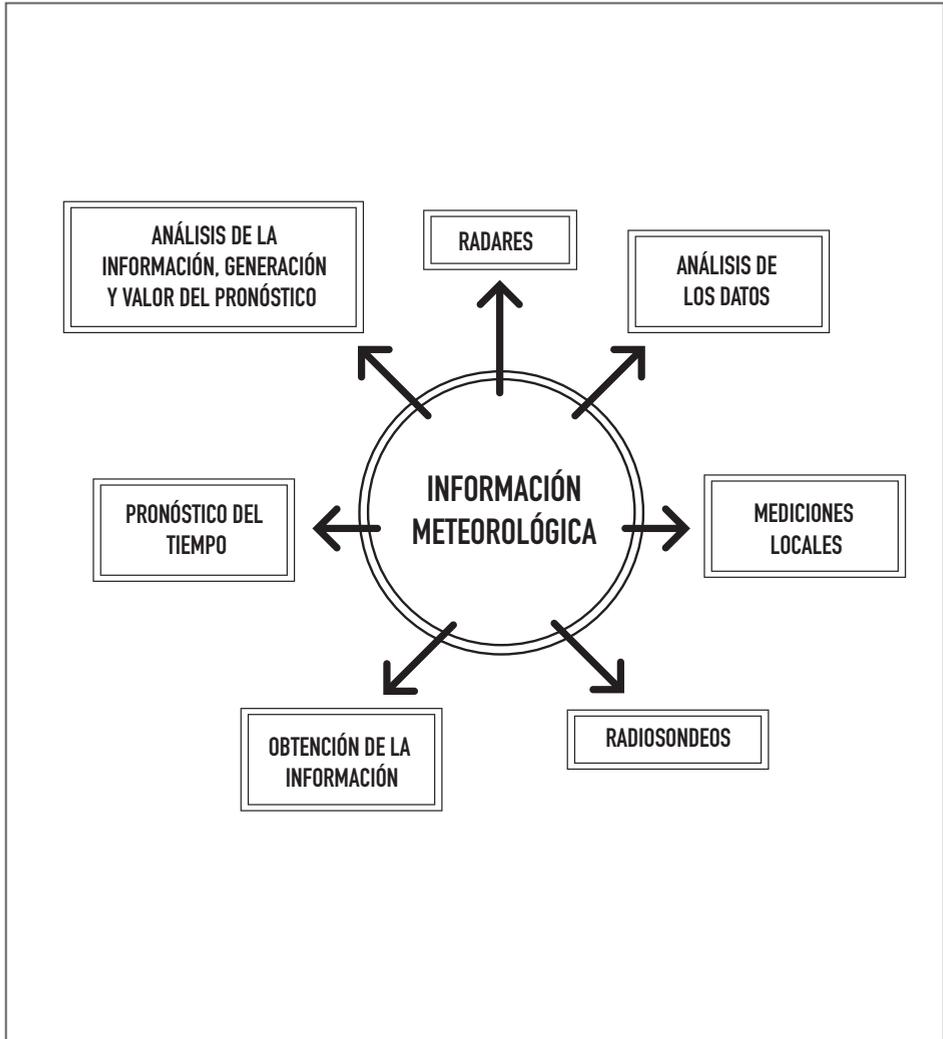
Índice | Estación meteorológica

9.1. Red conceptual	08
9.2. Motivación	09
♦ 9.2.1. ¿Cómo se obtiene la información meteorológica y cómo a partir de la misma se genera el pronóstico del tiempo?	09
♦ 9.2.2. ¿Cómo mostrar la generación de un pronóstico?	09
♦ 9.2.3. Red mundial de observación	10
♦ 9.2.4. ¿Por qué es importante medir el estado de la atmósfera?	11
9.3. Mediciones locales	12
♦ 9.3.1. La temperatura	12
♦ 9.3.2. Presión atmosférica y viento	15
♦ 9.3.3. El agua en la atmósfera	18
♦ 9.3.4. ¿Dónde se coloca el instrumental?	22
9.4. Mediciones remotas	23
♦ 9.4.1. Observaciones de satélites meteorológicos	23
♦ 9.4.2. Radar	32
♦ 9.4.3. Radiosondeo. Mediciones de altura	34
9.5. Pronóstico del tiempo	35
♦ 9.5.1. Recolección de los datos	36
♦ 9.5.2. Control de calidad de los datos	37
♦ 9.5.3. Análisis de los datos	38
♦ 9.5.4. Modelo de pronóstico	39
♦ 9.5.5. Post-procesamiento	43
9.6. Análisis de la información, generación y valor del pronóstico meteorológico	44
♦ 9.6.1. Para los medios de comunicación	45
♦ 9.6.2. Pronóstico para actividades deportivas	45
♦ 9.6.3. Pronóstico para la actividad agropecuaria	46

9.7. Actividades	47
♦ 9.7.1. Actividad 1: Construir un barómetro	47
♦ 9.7.2. Actividad 2: Dormir como un faquir	47
♦ 9.7.3. Actividad 3: Responder a las siguientes preguntas asociadas al instrumental de temperatura, humedad y viento. Marcar con un X	48
♦ 9.7.4. Actividad 4: Construir un pluviómetro	49
♦ 9.7.5. Actividad 5: Responder a las siguientes preguntas asociadas a los satélites meteorológicos y radares	50
♦ 9.7.6. Actividad 6: Responder a las siguientes preguntas asociadas al pronóstico del tiempo	51

9. Estación meteorológica

9.1. Red conceptual



9.2. Motivación

9.2.1. ¿Cómo se obtiene la información meteorológica y cómo a partir de la misma se genera el pronóstico del tiempo?

El público recibe el estado del tiempo actual y su previsión para los próximos días a través de los medios de información: diarios, radio, televisión e Internet. El camino que realiza la información meteorológica hasta que llegar al usuario involucra a numerosos procesos e instituciones a nivel nacional e internacional. La información meteorológica y los productos, posteriormente, desarrollados, como el pronóstico del tiempo, permiten planificar actividades futuras en la población y en los grupos de toma de decisión. La importancia de las mediciones y los productos meteorológicos radica en el valor socio-económico de los mismos, ya que está cuantificado en los Estados Unidos que, por cada dólar invertido en meteorología, se obtiene una ganancia de 100. Los pronósticos del tiempo y clima son realizados a fin de proteger la vida y la propiedad de las personas, salvar las cosechas de posibles eventos extremos, como así también la planificación de las actividades de los grupos de decisión. Las actividades comerciales como el agro o la aeronavegación depende, fuertemente, del pronóstico del tiempo a corto (3 a 5 días) y mediano plazo (7 a 15 días), lo cual permite tomar las difíciles decisiones relacionadas el cierre o apertura de un aeropuerto o determinar el mejor momento de la temporada para cosechar o sembrar el campo. También el público general requiere hoy de un pronóstico más preciso a fin de planificar sus actividades cotidianas desde la ropa que vestirá un día determinado, el estado de las autopistas, la planificación de actividades al aire libre, entre otras actividades.

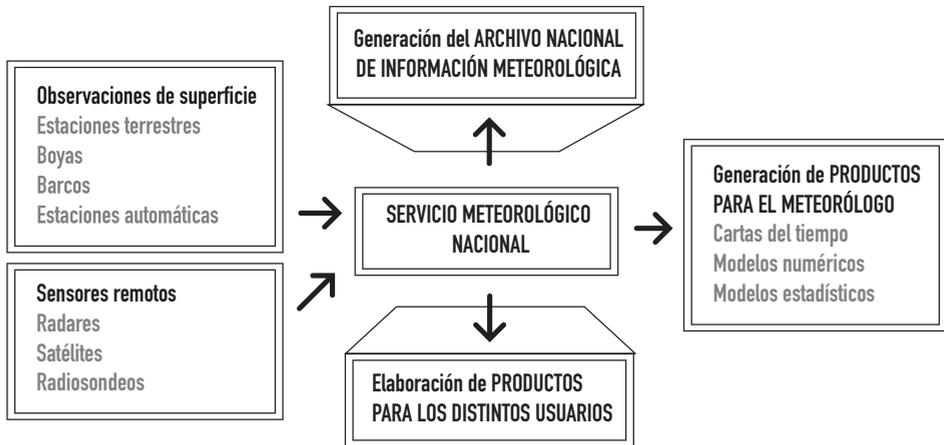
9.2.2. ¿Cómo mostrar la generación de un pronóstico?

El pronóstico meteorológico que brindan los medios de comunicación es el último eslabón de una cadena de esfuerzos globales colectivos en **medir, transmitir y procesar** una amplia cantidad de información que proviene de numerosas fuentes.

Los componentes que conforman esa cadena están esquematizados en el siguiente diagrama que muestra el camino desde la información meteorológica hasta el desarrollo como última instancia del pronóstico meteorológico.

Las componentes están conformadas, principalmente, por la información que forma la red mundial de observación, el cual está compuesto por la cadena del esquema 1.

El recorrido de la información en una estructura tridimensional puede observarse también en la figura 1 perteneciente a una presentación de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), dependiente de las Naciones Unidas, donde muestra las distintas componentes de la red mundial de observación desde un punto de vista esquemático.



Esquema 1: Eslabones que componen el recorrido y procesamiento de la información meteorológica

9.2.3. Red mundial de observación

Las observaciones de las variables meteorológicas alrededor del mundo son intercambiadas por los organismos que coordinan las mediciones y, este intercambio, está regulado por la OMM. Las observaciones se realizan en todo el mundo en horas prefijadas, utilizando la hora UTC (Universal Time Coordinated), también llamada hora Z (estas horas toman como referencia el meridiano de 0° que es el que pasa por la ciudad inglesa de Greenwich). Las horas principales de observación son las 00, 06, 12 y 18 UTC. Donde por ejemplo las 12 UTC, corresponde a las 9 HOA (Hora Oficial Argentina). Sin embargo, en muchos lugares del mundo, las observaciones de superficie se realizan en forma horaria. Es importante que todos los países coordinen las observaciones a fin de lograr que todo el mundo realice las observaciones a la misma hora. Posteriormente a la observación, los datos son codificados según lo establece la OMM y transmitidos por teletipo, teléfono, Internet, radio o satélite al Servicio Meteorológico de cada país, los que disponen de ella pocos minutos después de realizada la observación. Los servicios meteorológicos recopilan toda la información y luego la retransmiten a los Centros Mundiales localizados en Melbourne (Australia), Moscú (Rusia) y Washington D.C. (Estados Unidos). Es a partir de estos centros mundiales desde donde se comparten todos los datos colectados. Todo este sistema se denomina GTS (Global Telecommunication System, Sistema Mundial de Telecomunicación).

Es de vital importancia el intercambio entre los países dado que la atmósfera no tiene límites físicos ni políticos y el conjunto de **todas estas mediciones permite diagnosticar el estado de la atmósfera al momento de la observación**. A partir de este diagnóstico se elaboran los pronósticos que posibilitan predecir con anticipación eventos meteorológicos extremos, posiblemente, asociados a desastres naturales y contribuir, así, en la atenuación de sus efectos.

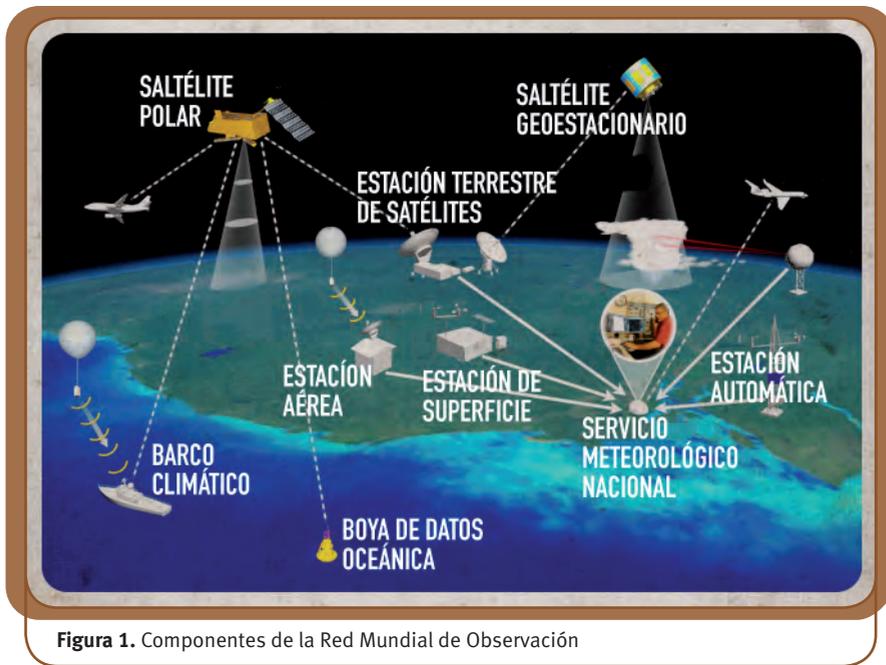


Figura 1. Componentes de la Red Mundial de Observación

9.2.4. ¿Por qué es importante medir el estado de la atmósfera?

La atmósfera es una capa gaseosa que rodea a la Tierra. Ella está íntimamente ligada a nuestra vida, de no existir la atmósfera, no podríamos oír el canto de las aves, no veríamos al cielo color azul (sin comer podemos sobrevivir unas pocas semanas, sin beber muy pocos días pero sin respirar apenas minutos). La vida en la Tierra se desarrolló en presencia de la atmósfera, pero nosotros olvidamos su existencia ya que no la olemos ni la tocamos y, casi siempre, es invisible pero existe y, tal vez, algunas moléculas del aire que ahora estamos respirando, ya las respiró una persona que murió hace cientos o miles de años.

Porque vivimos en la Tierra y sin su atmósfera no existiríamos, es necesario conocerla.

¿Cómo conocemos a la atmósfera?

Midiendo las variables que la describen.

¿Cuáles son dichas variables?

La temperatura, la presión, el viento, la humedad y la precipitación. Hay otras variables que también se observan como: la cantidad y tipo de nubes, la visibilidad, los fenómenos significativos (presencia de niebla, rocío, humo, tormenta con o sin actividad eléctrica, torbellinos, etc.), el estado actual del tiempo, entre muchas otras variables.

9.3. Mediciones locales

Estaciones en tierra manuales y automáticas

Estaciones en el mar: Boyas, plataformas y barcos

¿Cómo?

En el video se muestra un escenario principal: una estación que permite mostrar las observaciones meteorológicas de la red mundial de observación (puede ser Ezeiza, Aeroparque, Villa Ortúzar, entre otras, las cuales pertenecen al Servicio Meteorológico Nacional (Ministerio de Defensa)). Además de éstas existen dos estaciones meteorológicas de superficie en dos lugares apartados de la Argentina como La Quiaca y Lago Argentino (o Ushuaia). Existen numerosas estaciones distribuidas en el país, estos son sólo dos ejemplos. Se pueden observar boyas en el Río de la Plata, plataformas petroleras... Las partes y funcionamiento de los distintos instrumentos pueden ser verse en la misma estación meteorológica o en el Laboratorio del Departamento de Ciencias de la Atmósfera en la División Instrumental del Servicio Meteorológico Nacional.

9.3.1. La temperatura

a) Conceptos básicos. Diferencia entre calor y temperatura

Los conceptos de calor y temperatura son confundidos con frecuencia. La frase "día de calor" es justamente una expresión común donde el científico usaría el término "temperatura". Esencialmente, el calor es una forma de energía; es lo que hace que las cosas sean más calientes o más frías.

¿Qué es el calor?

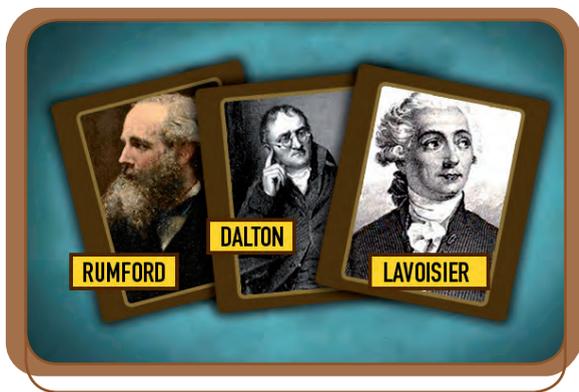
Los científicos, entre ellos, el gran químico francés Lavoisier, creían que el calor era un fluido ingrávido que llamaban calórico. Al introducir más calórico en una sustancia ésta se calentaba, hasta que finalmente el calórico rebosaba y fluía en todas direcciones. La teoría funcionaba bastante bien y muy pocos científicos la ponían en duda. Uno de los que sí dudó fue Rumford, preguntándose por qué el calórico salía del cañón. Los partidarios de la teoría del calórico contestaron que era porque el taladro rompía en pedazos el metal, dejando que el calórico contenido en éste fluyese hacia fuera. Rumford, escéptico, probó con uno desgastado. El taladro giró en vano sin hacer mella en el metal; pero en cambio sí produjo calor, entonces el calórico no se desprendía por la rotura del metal. Rumford propuso que el calor no era un fluido, sino una forma de partículas en movimiento.

El trabajo de Rumford quedó ignorado hasta que Dalton enunció su teoría atómica. Poco a poco, los científicos iban aceptando la existencia de los átomos.

Benjamín Thompson, más conocido como Conde de Rumford, estuvo al frente de una fábrica de cañones en Baviera. Los cañones se hacían vertiendo el metal en moldes y taladrando luego la pieza para formar el alma. Al taladrar, el cañón el taladro se calentaban y había que estar echando constantemente agua fría para refrigerarlos. Al sentir emanar el calor, Rumford se preguntó cómo se producía.

¿No sería, entonces, que las pequeñas partículas móviles de Rumford fuesen átomos o moléculas?

A mediados del siglo XIX, James Clerk Maxwell partió del supuesto de que las moléculas que componían los gases tenían movimientos aleatorios y, mediante análisis matemáticos, demostró que el movimiento aleatorio proporcionaba una explicación del comportamiento de los gases. Maxwell mostró cómo las partículas del gas, moviéndose al azar, creaban una presión contra las paredes del recipiente



que lo contenía. Además, esa presión variaba al comprimir las partículas o al dejar que se expandieran. Esta explicación del comportamiento de los gases se conoce por la **teoría cinética de los gases**. Al calentar una sustancia aumenta la velocidad de las partículas que la forman. El calor es esa energía que intercambian los cuerpos y que podemos medir fácilmente. Por lo tanto, la temperatura es una medida de la agitación de las moléculas de los cuerpos. Por ejemplo, una taza con agua hirviendo y una gran cacerola con agua hirviendo tienen la misma temperatura, 100 °C; sin embargo, la cacerola requirió una mayor cantidad de calor que la taza de agua hirviendo para calentarse hasta esa temperatura. Por otra parte, una taza de agua hirviendo obviamente está más caliente que una bañera llena de agua tibia, pero a la taza no se le entregó tanto calor. O sea, la cantidad de calor depende de la masa de material considerado; no así la temperatura.

El calor es una energía que fluye de los cuerpos que se encuentran a mayor temperatura a los de menor temperatura. Para que fluya se requiere una diferencia de temperatura. El cuerpo que recibe calor aumenta su temperatura, el que cede calor disminuye su temperatura. Por lo tanto los dos conceptos, calor y temperatura están relacionados, pero no son equivalentes.

Esquema de gases

<http://intro.chem.okstate.edu/1314Foo/Laboratory/GLP.htm>

<http://teleformacion.edu.aytolacoruna.es/FISICA/document/fisicaInteractiva/Calor/Temperatura/Temperatura.htm>

b) Medición de la temperatura

Por medio del tacto notamos la temperatura de un cuerpo con solo tocarlo, ya que unas terminaciones nerviosas situadas en la piel se encargan de ello. Vamos estudiar el comportamiento de un gas para tratar de asociar esta sensación a una magnitud (algo que podemos medir). La temperatura no depende del número de partículas que se mueven sino de su velocidad media: **a mayor temperatura mayor velocidad media**. No depende por tanto de la masa total del cuerpo. Si un cuerpo recibe energía calórica, aumenta la agitación de las partículas que lo forman y se pueden producir también cambios en la materia: dilatación, cambios de color, etc. Estos cambios se utilizan para diseñar un termómetro.

Los termómetros de mercurio se basan en la dilatación del mercurio con la temperatura. El primer termómetro fue diseñado por Galileo en 1593, el mismo no tenía escala y probó con distintas sustancias (agua salada, vino tinto y alcohol) para ver cuál se dilataba mejor. Se utiliza, principalmente, el mercurio ya que es un metal líquido que se dilata lo suficiente entre $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Generalmente, se coloca el metal dentro de un tubo fino para que al dilatarse avance por el tubo. La longitud de la columna entonces señala una relación entre la dilatación y el nivel de agitación de las moléculas del aire, es decir, con la temperatura.

Las temperaturas máximas y mínimas durante un día se miden con termómetros de líquido en vidrio, especialmente diseñados. El mercurio se usa en el termómetro de máxima, que tiene una estrechez en el tubo de vidrio justo sobre el bulbo. Al aumentar la temperatura el mercurio se expande y pasa a través de la abertura angosta. Cuando la temperatura cae, la estrechez impide el retorno del mercurio al bulbo y así queda registrada la temperatura máxima. El termómetro de mínima contiene un líquido de baja densidad, como el alcohol. Dentro del alcohol hay un índice metálico que es arrastrado hacia el bulbo cuando la temperatura disminuye. Las mediciones de

temperatura se realizan en forma horaria y la temperatura máxima y mínima se miden 2 veces por día (a las 00 y 12 UTC) y se informa el mayor y menor valor, respectivamente.

Los instrumentos que registran en forma continua la temperatura reciben el nombre de termógrafo, el órgano sensible es un bimetalico, compuesto por dos bandas delgadas de metal que son soldadas conjuntamente y tienen diferentes coeficientes de expansión térmica. Cuando cambia la temperatura, los dos metales se expanden o contraen desigualmente, cambiando la curvatura. Los cambios de curvatura del elemento bimetalico mueven un brazo con una pluma que registra la temperatura sobre una faja calibrada y ajustada sobre un cilindro rotante que funciona por un mecanismo de relojería.



Figuras 2-3. Arriba: termómetro de máxima (arriba) y mínima (abajo). Abajo: termógrafo en un abrigo meteorológico

Páginas con instrumentos registradores y termómetros

<http://www.ineter.gob.ni/Direcciones/meteorologia/Red%20Meteorologica/instrumentos.htm>

9.3.2. Presión atmosférica y viento

a) Conceptos básicos. Presión y viento

El aire es una mezcla de gases que presenta una distribución vertical, la figura 4 muestra cómo varía en contenido de aire a medida que nos alejamos de la superficie terrestre. De esta figura se destaca que el 50% del aire está entre la superficie y los 5,5 km, mientras el 99% está por debajo de los 32 km.

Como la presión atmosférica es **la fuerza que ejerce el peso de la columna de aire sobre la superficie del planeta**, cerca del suelo toda la columna de aire ejerce una fuerza proporcional a su peso, a medida que ascendemos dejamos aire por debajo, por lo cual es sencillo interpretar que la presión disminuye con la altura.

¿Cuáles son los cambios que se introducen cuando se incorpora la temperatura en este razonamiento?

Supongamos que hay dos volúmenes de aire a la misma presión y temperatura; una, apoyada sobre un suelo cubierto por pasto y, la otra, en uno cubierto por arena. El sol comienza a calentar la superficie de la tierra y, como el suelo con arena se calienta más rápido que el suelo con pasto, la masa de aire que se halla sobre la arena comienza a calentarse cerca de la superficie con mayor rapidez. Al calentarse el aire comienza a dilatarse, entonces, disminuye su densidad, aumenta su volumen y asciende la altura de masa de aire.

En ese momento, a nivel de superficie, ambos volúmenes de aire producen la misma presión, ya que si bien el aire sobre la arena es menos denso, **la cantidad total de aire sobre ese lugar no cambió, sólo se expandió en la vertical**. En niveles más altos (por ejemplo a 1.500 m), el volumen de aire más cálido (el que está sobre la arena) presenta un valor mayor de presión (en ese nivel) ya que por encima de dicho nivel, como ese aire se dilató, hay más aire que sobre el volumen de aire apoyado en el pasto cuya densidad no se alteró. Es decir que, una diferencia horizontal de temperatura ha producido una diferencia en la presión a niveles más altos en la atmósfera.

Veamos ahora qué ocurre cuando dos volúmenes de aire contiguos tienen **distinta presión en un nivel dado de la atmósfera**. Esa diferencia de presión hace que el aire, en ese nivel, se mueva desde donde hay más presión hacia donde hay menos; es decir, aparece una fuerza que moviliza al aire desde donde hay más presión hacia donde hay menos. Pero, ahora como el aire se ha movido desde el volumen de aire más cálido hacia el más frío, hay más cantidad de aire en el sector más frío y menos en el cálido, por lo tanto toda la columna de aire que está sobre el pasto tendrá mayor peso y, entonces, ejercerá sobre superficie una fuerza mayor que la que está sobre la arena o, lo que equivale decir que, en superficie, habrá más presión sobre el pasto que sobre la arena. Entonces, otra vez aparecerá una fuerza que mande el aire desde



Figura 4. Variación de la presión atmosférica con la altura

donde hay más presión hacia donde hay menos y, así, se completa el ciclo. Por lo tanto, para que se mueva una masa de aire se necesita que se produzca una variación horizontal de la fuerza de presión. El viento será más fuerte cuanto mayor sea la diferencia de presión y menor sea la distancia horizontal entre los puntos donde consideramos dicha variación.

Además se incluyen otros efectos debido, principalmente, a que la Tierra está rotando. Esta rotación afecta al viento produciendo un desvío hacia la izquierda en el hemisferio sur. Es un efecto análogo al arrojar un papel desde una calesita. El niño que gira en la calesita ve cómo el papel se va hacia atrás mientras que los padres que esperan al niño en el banco, fuera de la calesita, observan que el papel cae sin desviarse.

Este efecto en la atmósfera, producido por la rotación de la tierra, se llama **Fuerza de Coriolis**. Finalmente, el viento en la atmósfera es el resultado de un balance de fuerzas (*las variaciones horizontales de la presión y Coriolis*). Si además consideramos al viento cerca del suelo actuará

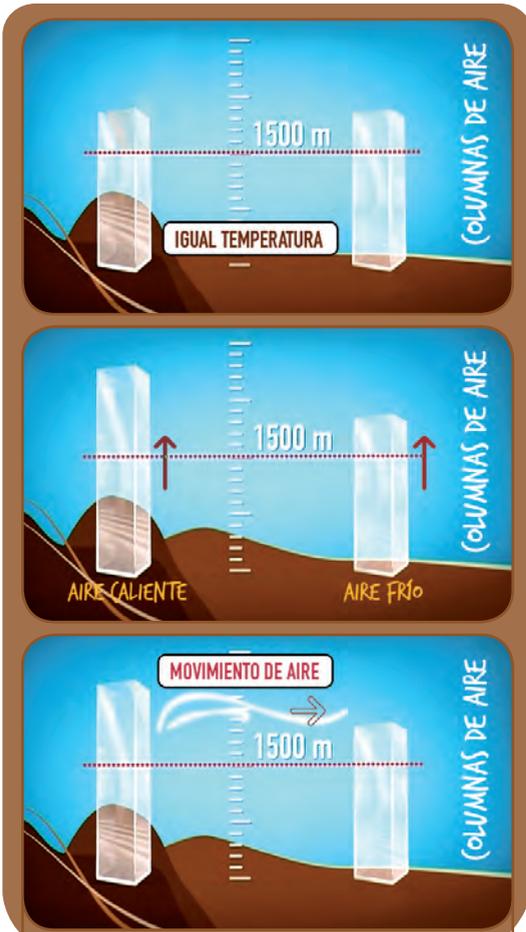


Figura 5. a) Dos zonas con igual presión y temperatura. b) Un cambio de la temperatura genera un aumento del volumen del aire en la zona 2, pero la presión se conserva en superficie. c) Establecimiento de una diferencia de presión alejado de la superficie y un movimiento de aire asociado

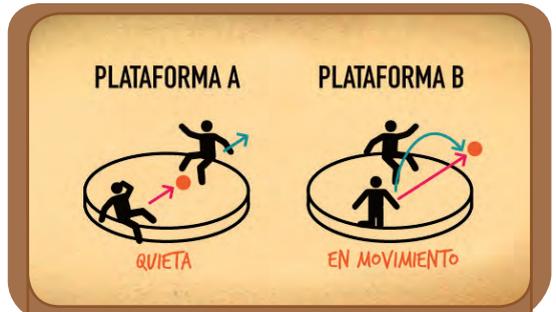


Figura 6. Camino aparente (azul) de una pelota en un plano rotante, generado por el desplazamiento del observador sentado sobre el disco en movimiento

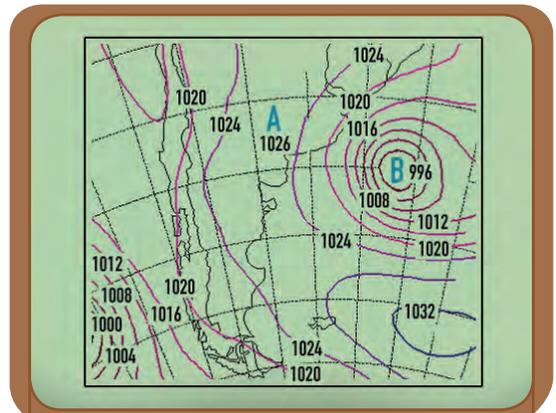


Figura 7. Mapa de presión y viento en superficie para la Argentina

otra fuerza que es la fricción que tenderá a frenarlo y, si las variaciones de la presión ocurren sobre una distancia curva, actúa también otra fuerza inercial llamada fuerza centrífuga. De esta forma explicamos cómo soplan los vientos cerca de la superficie.

Página con Coriolis

<http://es.wikipedia.org/wiki/Imagen:Corioliskraftanimation.gif>

[http://ww2010.atmos.uiuc.edu/\(Gh\)/guides/mtr/fw/crls.rxml](http://ww2010.atmos.uiuc.edu/(Gh)/guides/mtr/fw/crls.rxml)

Página de imágenes

<http://es.wikipedia.org/wiki/Imagen:Pascal1423.jpg>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Imagen:Libro367.jpg>

b) Medición de la presión atmosférica

A fin de medir la presión atmosférica se utiliza el barómetro. En 1634, Evangelista Torricelli diseñó el primer barómetro. Su barómetro era muy parecido al actual, consistió en un tubo de vidrio largo con un extremo cerrado y el otro abierto. Le quitó el aire contenido en el tubo y lo introdujo en un recipiente con mercurio. El metal ascendió por el tubo 76 cm sobre el nivel del mercurio del recipiente. La columna del mercurio en el tubo balanceó la presión ejercida por el aire sobre el metal del recipiente. Se utiliza mercurio en el barómetro en lugar de agua, ya que el agua es 13,6 veces menos densa, entonces la altura de la columna a nivel del mar sería mucho mayor (1034 cm en lugar de 76 cm a nivel del mar).



Figura 8. Barómetro de una estación meteorológica

Posteriormente a la medición de la presión atmosférica hecha por Torricelli, Pascal pensó que si el aire era como el océano y tenía peso, entonces la presión debía disminuir con la altura. Como vivía en París y estaba enfermo no pudo viajar a las montañas para verificar su teoría, en su lugar fue su yerno. Él midió la presión antes de subir la montaña y luego realizó varias mediciones al subir en distintas alturas cuyas lecturas indicaron que, cada vez, la presión era menor; repitió dichas lecturas al descender comprobando que, en ese momento, el valor de la presión era cada vez mayor, demostrando la teoría de su suegro.



Figura 9. Barómetro de Torricelli

Al igual que con la temperatura, hay un instrumento que permite obtener registros en forma continua de presión, este instrumento recibe el nombre de **barógrafo**: consta de una cápsula anerode unida a un brazo con una pluma que trabaja de la misma forma que el termógrafo.

La parte del instrumento sensible a los cambios de presión es la cápsula anerode, esta es metálica, de paredes delgadas herméticamente cerrada con vacío en su interior. Un aumento de la presión atmosférica aplasta a la cápsula y, por el contrario, cuando la presión disminuye la cápsula se abomba, estas deformaciones son las que mueven el brazo.

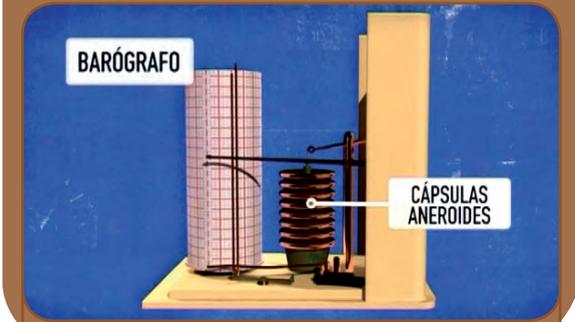
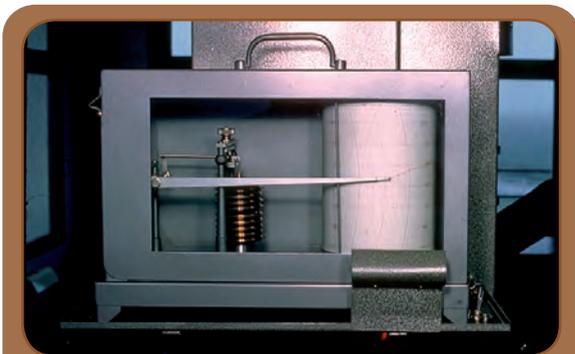


Figura 10. Arriba: foto de barógrafo con multicápsulas aneroides y aguja indicadora. Abajo: figura esquemática del funcionamiento del barógrafo

c) Medición del viento

El viento es una variable vectorial por lo tanto hay que medir su magnitud y su dirección. Para medir dos propiedades se requiere de dos instrumentos: **anemómetro** y veleta. El principio de funcionamiento del anemómetro de coperoles se basa en la diferencia de presión que produce el viento en un lado y el otro de la coperoles (ver figura 12) lo cual hace que la misma gire; la velocidad con que gira se relaciona con la velocidad del viento. En cuanto a la veleta, indica la dirección de donde viene el viento, posee una rosa de los vientos y una flecha cuya punta señala la dirección de donde sopla. Como el viento presenta oscilaciones en su dirección e intensidad, el valor que se informa es el promedio de 10 minutos previos a la hora de la observación.



Figura 11. Veleta

9.3.3. Presión atmosférica y viento

a) Conceptos básicos relacionados con el contenido de humedad en el aire

El agua es el único elemento presente en la atmósfera en forma natural en los tres estados. En estado gaseoso se lo denomina vapor de agua y es totalmente **INVISIBLE**. El concepto de humedad nos dice cuánto vapor de agua hay en

la atmósfera. Para la mayoría de las personas la idea que da la expresión de ‘día húmedo’ está directamente relacionada con el contenido de humedad, sin embargo hay más vapor de agua en el desierto de Sahara (aire muy cálido) que en el aire que proviene del Polo (aire muy frío).

Pero, **¿cómo podemos explicar esto?**

La respuesta es que depende de qué tipo de variable de medición de contenido de vapor de agua estemos hablando.

Antes de comenzar con el concepto de humedad debemos recordar que la evaporación se produce cuando algunas moléculas de agua en estado líquido logran escapar del agua y pasar al aire en estado gaseoso. Mientras ocurre esto, hay otras moléculas que pasan del aire al agua condensando. En la superficie límite entre el agua y el aire se producen estos intercambios de forma tal que, si pasan más moléculas de agua al aire hablamos de evaporación, caso contrario de condensación. Si hay equilibrio



Figura 12. Anemómetro

no hay intercambio **NETO** en ningún sentido y evapora tanto como condensa.

Consideremos un recipiente con agua en el cual se produce la evaporación (moléculas que dejan el agua y pasan al aire). Si se aumenta la temperatura del recipiente, aumentará el movimiento de las moléculas dentro del líquido y serán más las que logren escapar y pasar al estado gaseoso. Supongamos ahora que ponemos una tapa al recipiente, si la evaporación continúa llegará un momento en que el aire encerrado en el recipiente no podrá recibir más moléculas de vapor, entonces decimos que el aire ‘está saturado’. En esa situación, por cada molécula que evapora hay una que condensa, es decir es una situación de equilibrio en la que el aire contiene la **MÁXIMA** cantidad de vapor que **PUEDA** contener.

Hay varios conceptos que nos permiten estimar la cantidad de vapor de agua que contiene la atmósfera:

- **‘humedad absoluta’**: es la masa de vapor de agua que hay en un volumen de aire.
- **‘humedad específica’**: es masa de vapor de agua que hay en una dada masa de aire (nos independizamos de los cambios de volumen)
- en ambos conceptos, al decir aire, consideramos la mezcla de aire seco más vapor de agua.
- **‘relación de mezcla’**: es la relación que existe entre la masa de vapor de agua y la de aire seco.
- **‘humedad relativa’**: es la variable relacionada con la humedad que se informa en el reporte meteorológico, y por lo tanto, la más conocida. Pero qué nos informa realmente el valor de la humedad relativa: nos dice cuán cerca está el aire de alcanzar la saturación (sin modificar su presión ni su temperatura). Por lo tanto, nos dice si va a poder o no seguir recibiendo vapor de agua; pero, no nos dice si contiene mucho o poco vapor de agua. O sea, que un 50% de humedad relativa indica que el aire contiene la mitad del vapor de agua que podría contener y, si es del 100%, el aire está saturado y no podrá contener más vapor de agua. Es

por eso que, en verano, durante un día muy caluroso con alto valor de humedad relativa, es muy grande el disconfort que sentimos ya que no puede actuar el mecanismo natural que

posee nuestro cuerpo para regular la temperatura: transpirar, ya que el aire que nos rodea está saturado y no acepta más vapor de agua así que nuestra transpiración no evapora y, por lo tanto, no nos refresca. Altos contenidos de humedad relativa no significan mucha humedad ya que la misma está relacionada con la temperatura.

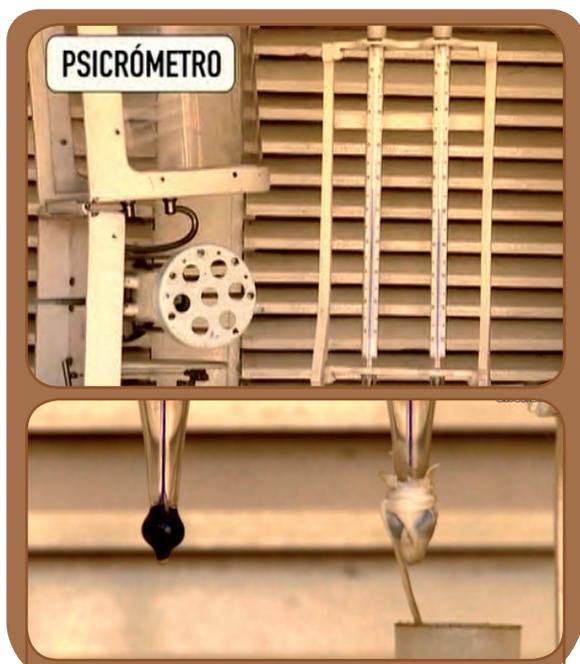


Figura 13. Psicrómetro de abrigo detrás del termómetro de máxima y mínima: pareja de termómetros seco, izquierda, y húmedo, derecha. El bulbo del termómetro húmedo está envuelto en una muselina húmeda conectada a un depósito con agua destilada

b) Medición de la humedad

Se realiza en forma indirecta utilizando el psicrómetro. Dicho instrumento está formado por dos termómetros de mercurio iguales, uno con el bulbo seco y, otro, con el bulbo rodeado por una muselina mojada (termómetro de bulbo húmedo). Al evaporarse el agua de la muselina toma calor del bulbo produciendo la disminución de la temperatura registrada en el termómetro de bulbo húmedo. Esta diferencia de temperatura entre ambos termómetros será mayor a mayor cantidad de agua que evapora, la cual depende del contenido de vapor de agua del aire, cuanto más seco el aire mayor la evaporación y, por ende, mayor la diferencia entre ambos termómetros. A partir de esa diferencia de temperatura se calcula la humedad relativa utilizando tablas, previamente, calculadas.



Figura 14. Instrumento registrador de humedad relativa

También hay un instrumento registrador en forma continua de la humedad relativa, es el higrógrafo que, como todos los ya descritos, tiene un elemento sensible que mueve a un brazo con una pluma que grafica sobre una faja que se mueve por relojería. En este caso el instrumento sensible es el higrómetro. Posee un cabello humano rubio fijo en sus extremos y está sostenido en el medio por un ganchito que lo mantiene

tirante mediante un contrapeso o resorte. Como el cabello se elonga, o se contrae según el mayor o menor contenido de humedad del aire cuando el aire está más húmedo, los espacios

intercelulares y las células mismas absorben más vapor de agua y el cabello aumenta su longitud y su diámetro.

c) Tipos de precipitación

La mayoría de las personas consideran que la lluvia es cualquier tipo de precipitación de agua líquida pero, para los meteorólogos, el diámetro de la gota debe ser mayor o igual que 0,5 mm para considerarlo *lluvia*. Si el diámetro es menor a 0,5 mm estamos en presencia de *llovizna* (garúa es la llovizna en lenguaje coloquial). A veces cae directamente de las nubes gotas con el tamaño de la llovizna, otras veces son gotas con el tamaño de lluvia pero al atravesar aire no saturado, evaporan disminuyendo su tamaño y llegan al suelo como llovizna. Otras veces son totalmente evaporadas antes de llevar al suelo y se observa como si estuvieran colgadas del aire, en ese caso se la llama *virga*.

Existe también la posibilidad de precipitación en estado sólido: nieve, aguanieve y granizo. El *granizo* son trozos de hielo. Pueden ser redondos o de formas irregulares, llegó a registrarse la caída de un granizo de 757 g con un diámetro mayor que 14 cm pero, en general, son pequeños con diámetros que no superan 1 cm. La nieve está compuesta por cristales de hielo y presenta una estructura esponjosa.

d) Medición de la precipitación

La lluvia se mide con un pluviómetro que consta de un vaso cilíndrico con borde afilado y un embudo profundo para que, al caer las gotas, no reboten. De allí; las gotas pasan a otro recipiente por una boca muy estrecha para que no evapore. El vaso exterior está pintado de blanco para absorber menos calor. El agua colectada se mide con una probeta con escala. La lluvia se mide a las 9 de la mañana HOA (Hora Oficial Argentina) o 12 UTC en todo el planeta, y esa medición contiene el agua que llovió desde las 9 del día anterior hasta la 9 del día de la medición. Es decir que la precipitación se informa acumulada en 24 horas, también pueden realizarse mediciones parciales por algún interés particular de los observadores o investigadores.

¿Qué representa 1 mm de lluvia caída?

Ese milímetro equivale al agua caída colectada en un recipiente que tiene como superficie 1 m cuadrado, y como altura 1mm o lo que es lo mismo a 1 litro de agua. Los meteorólogos informamos la altura de la precipitación registrada pero, en realidad, esa altura es la altura de un volumen de agua cuya base es un cuadrado de 1 m de lado.

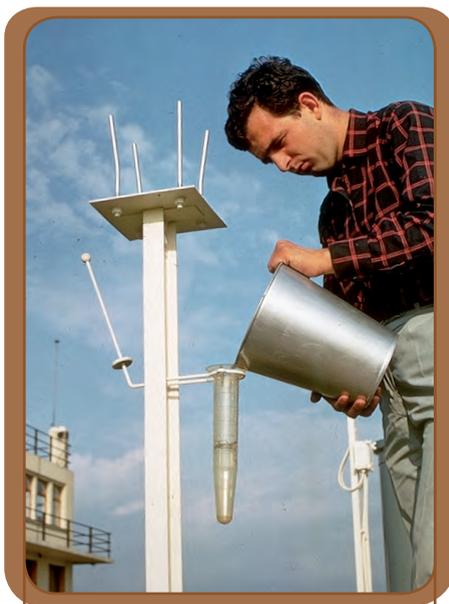


Figura 15. Personal de la estación midiendo en la probeta la cantidad de precipitación observada

Para saber la intensidad con que precipitó (cantidad de lluvia en un determinado tiempo) se utiliza el pluviógrafo. Hay varios tipos, uno de ellos es de sifón, el cual consta de un depósito cilíndrico que recibe el agua por un tubito que lo conecta con un embudo. Dentro del cilindro hay un flotador unido a un brazo con una pluma, a medida que el depósito se llena el flotador sube arrastrando el brazo hacia arriba y dejando una marca. En el fondo del depó-

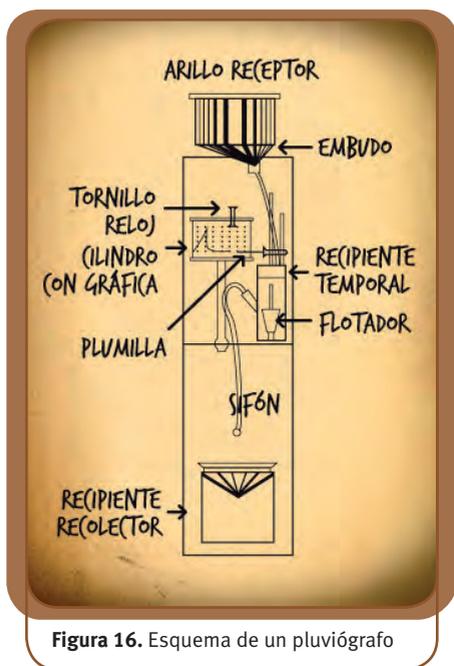


Figura 16. Esquema de un pluviógrafo

sito hay un tubo curvado con forma de sifón cuya rama ascendente llega hasta el nivel más alto del depósito (corresponde a 10 mm de lluvia). Cuando el depósito se llena y el agua alcanza dicho nivel, el sifón queda cerrado y descarga todo el depósito, bajando el flotador y, por ende, el brazo. La curva obtenida por este aparato tiene forma de zigzag con ramas ascendentes curvas e inclinadas (mide cuando se va llenando el recipiente) y descendentes rectas (indica cuando el recipiente se vacía). Como la faja tiene marcado el tiempo sabemos cada cuánto se vacía el depósito y por ende, la intensidad de la lluvia.

Página con instrumentos

- <http://www.practiciencia.com.ar/ctierrayesp/tierra/atmosfera/atmosfera/troposfera/fenomclim/instmeteo/pluviometro/index.html>
- <http://www.ineter.gob.ni/Direcciones/meteorologia/Red%20Meteorologica/pluviografo.htm>
- http://www.meteochile.cl/instrumentos/inst_conventional.html#i

9.3.4. ¿Dónde se coloca el instrumental?

El instrumental se coloca en la estación meteorológica. Para su instalación se escogerá un terreno llano, en el cual los obstáculos (edificios, arboladas, etc.) deben estar lo suficientemente lejos como para que su altura aparente sobre el horizonte no exceda los 10°. La estación consta de una oficina y un predio con pasto de 10 m x 6 m.

Dentro de la oficina se coloca el barómetro en la pared que mira al sur y a su lado el barógrafo. El anemómetro y la veleta se ubican en una torre a 10 m de altura. Dentro del predio se instalan el pluviómetro y el pluviógrafo a 1,5 m de altura sobre el suelo.

El abrigo es una caseta de madera pintada de blanco provista de celosía, a manera de persianas, para permitir la libre circulación del aire. Dentro de ella se colocan los instrumentos sensibles a la radiación solar; por ello, la puerta del abrigo debe estar del lado sur en el hemisferio sur. El termómetro horario, de máxima, de mínima, el psicrómetro, el higrógrafo y el termógrafo se ubican en el abrigo meteorológico a 1,5 m de altura.



Figura 17. Abrigo meteorológico y mediciones en la estación meteorológica

9.4. Mediciones remotas

9.4.1. Observaciones de satélites meteorológicos

a) Conceptos básicos. Radiación

Los satélites meteorológicos son plataformas de observación de las nubes en la Tierra desde el espacio. Este tipo de observaciones son extremadamente importantes ya que cubren cualquier región de todo el planeta sin importar si existe población o no en ese lugar. Dado que el planeta Tierra está un 70% cubierto de agua, este tipo de instrumental es de crucial importancia en vastas regiones donde hay pocas, o incluso, ninguna observación en superficie. La incorporación de los satélites meteorológicos fue vital en el pronóstico de fenómenos como los huracanes y las tormentas severas dado que los satélites permiten observar los sistemas atmosféricos mientras se desarrollan y desplazan siguiendo su trayectoria en el tiempo y posibilitando un pronóstico: y/o alerta anticipado para la población en casos de eventos extremos.

Los satélites meteorológicos son de dos tipos:

- primordialmente, uno de órbita geoestacionaria, es llamado de este modo, dado que tiene una órbita sincronizada con la Tierra y se encuentra posicionado sobre el Ecuador a una longitud fija. Los satélites geoestacionarios orbitan a 36.000 km de altura sobre la Tierra y transmiten una imagen del área observada con un intervalo de media hora alcanzando en las nuevas generaciones intervalos de 15 minutos.

¿CÓMO?

Mostrar con imágenes animadas el movimiento del satélite respecto al planeta Tierra y los distintos tipos de imágenes meteorológicas que se usan en el pronóstico. Los productos de los satélites pueden verse desde una PC cualquiera, tanto en el marco de la estación de Ezeiza o desde una oficina de la estación o desde cualquier computadora que tenga acceso a Internet. También es importante exhibir una animación que muestre cuáles son las frecuencias del espectro electromagnético que los satélites captan (consultar video).



- otro de órbita polar, gira alrededor de la Tierra, aproximadamente, sobre los meridianos; orbitan a una altura mucho menor que la anterior, cercana a los 850 km y, por ende, proveen una información más detallada de los objetos observados y obtiene una imagen de una misma área una o dos veces al día.

Los satélites meteorológicos han avanzado acorde con la fabulosa evolución de la tecnología en estos últimos 50 años. Inicialmente, en los 60' los primeros satélites lanzados al espacio (TIROS I) utilizaban cámaras de televisión a fin de obtener fotografías de las nubes. Actualmente, los satélites utilizan un instrumento denominado radiómetro el cual detecta la radiación electromagnética que emana o refleja cualquier objeto sobre la superficie de la Tierra. Los satélites más modernos lanzados a fines de los años 90' (serie MODIS) poseen, además del radiómetro convencional, sensores activos en la plataforma, los cuales emiten un pulso en el rango de las microondas y, luego, captan la respuesta de esa señal.

La ley de Stefan-Boltzmann propone que la energía máxima emitida es proporcional a una constante universal y a la temperatura elevada a la cuarta potencia ($E=\sigma T^4$).

El principio básico de los radiómetros de los satélites se basa en el espectro de radiación detectado, el cual alcanza desde el rango de la luz visible hasta el infrarrojo. Esta energía captada por el radiómetro es energía del sol reflejada por objetos que se encuentran sobre la Tierra o energía emitida por los mismos objetos sobre la superficie. Todos los cuerpos en el universo emiten una energía proporcional a la temperatura del mismo.



Figura 18. Órbita de los satélites geoestacionarios

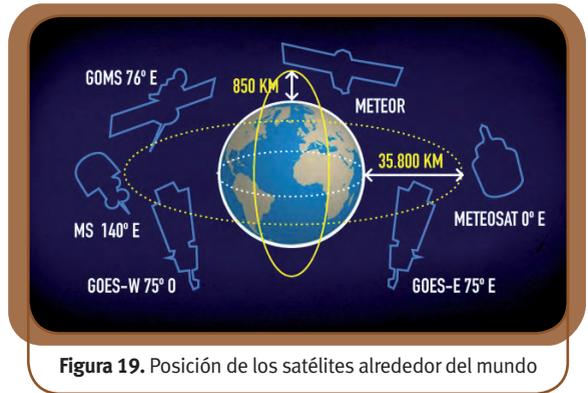


Figura 19. Posición de los satélites alrededor del mundo



Figura 20. Ventana de medición de los satélites de órbita geoestacionaria



Figura 21. Órbita del satélite polar

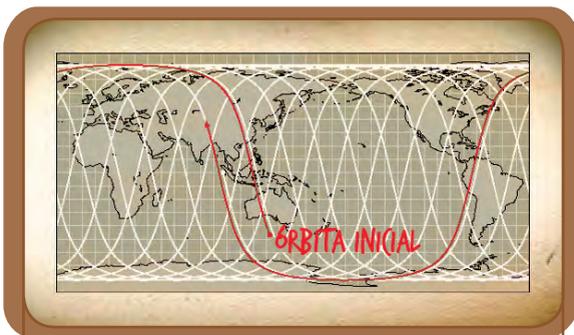


Figura 22. Ejemplos del camino seguido por un satélite de órbita polar durante un día

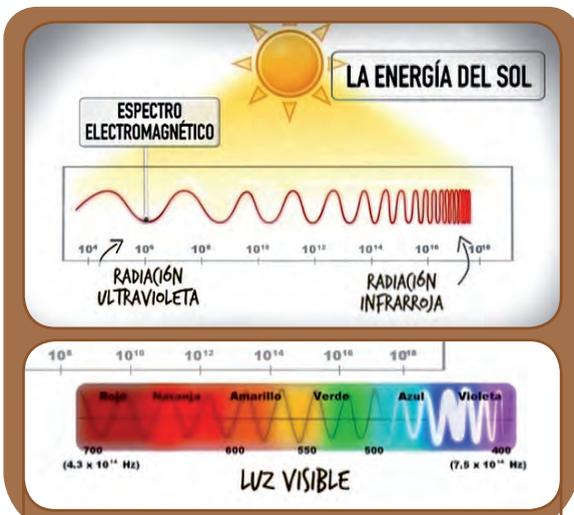


Figura 23. Energía emitida por el sol

La radiación del Sol y la Tierra presentan distintos espectros que pueden observarse en las figuras 23 y 24. La Tierra emite una energía proporcional a la temperatura de 288 K mientras el Sol alcanza, en su superficie, temperaturas cercanas a los 6.000 K (figura 24). Los satélites captan la energía reflejada y transmitida, especialmente, de las nubes en los distintos puntos del espectro que se compone, principalmente, de aquellas regiones del espectro donde la atmósfera no absorbe las emisiones de energía. Esas zonas donde la atmósfera presenta una absorción baja son llamadas “ventanas atmosféricas”, porque la radiación de la Tierra y los objetos sobre ella pueden observarse desde el espacio sin ser afectados por la atmósfera. En general, esas ventanas son utilizadas para observar las nubes y la superficie de la Tierra (figura 25).

b) Descripción de los radiómetros utilizados en los satélites de órbita polar y geostacionaria

AVHRR

Los radiómetros instalados en los satélites de órbita polar de la NASA se denominan AVHRR (de su sigla en inglés Advanced Very High Resolution Radiometer), los cuales están especialmente diseñados para órbitas de baja altura.

El mismo posee 6 canales de recepción de información que son detallados en la siguiente tabla:

CANAL	LONGITUD DE ONDA	USO TÍPICO
1	0,58 - 0,68	Nubes durante el día
2	0,725 - 1,00	Bordes entre Tierra y agua
3A	1,58 - 1,64	Detección de hielo y nieve
3B	3,55 - 3,93	Nubes durante la noche y temperatura de la superficie del mar
4	10,30 - 11,30	Nubes durante la noche y temperatura de la superficie del mar
5	11,50 - 12,50	Temperatura de la superficie del mar

Las imágenes obtenidas por este instrumento posibilitan una imagen de un ancho de 3.000km y resoluciones de los objetos representados de 1km en el espectro del visible y 4km en el espectro del infrarrojo.

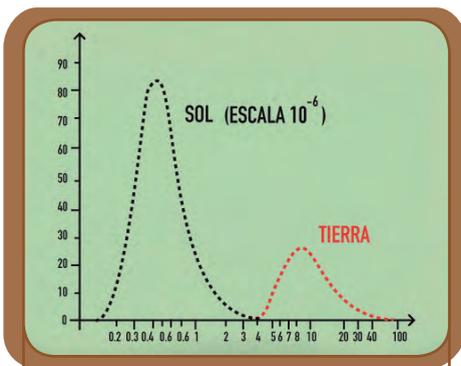


Figura 24. Comparación entre la energía emitida por el Sol y la Tierra

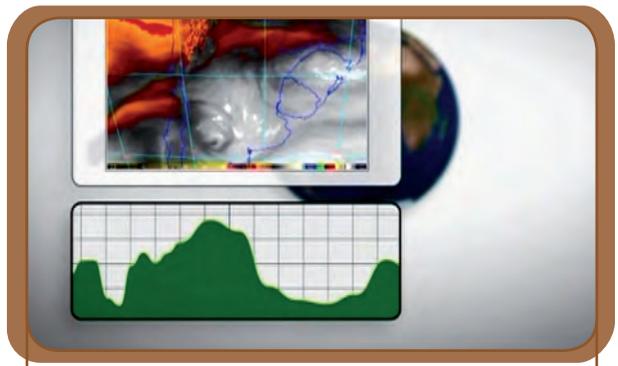


Figura 25. Absorción de la atmósfera del espectro electromagnético de varias longitudes de onda, se muestran las ventanas utilizadas por los satélites

VAS - VISSR

El radiómetro VISSR de su sigla en inglés Visible and Infrared Spin Scan Radiometer, fue instalado en los primeros satélites de la generación GOES (Geostationary Operational Environmental Satellites) de órbita geoestacionaria por la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, agencia de los EE.UU. dedicada a la investigación y desarrollo en temas de meteorología y oceanografía). Este sistema de observación permite escanear el disco completo de la Tierra luego de un barrido que dura aproximadamente 18 minutos. Posee 5 canales de observación y la nueva generación de GOES (entre ellos el GOES 12) permite agregar 2 canales más e imágenes cada 15 minutos. Este radiómetro permite obtener imágenes en el espectro del visible con 1 km de resolución, mientras que en el espectro del IR la resolución es de 4 km.

CANAL	LONGITUD DE ONDA	USO TÍPICO
1	0,52-0,72	Visible
2	3,78-4,03	Infrarrojo de onda corta
3	6,47-7,02	
4	10,2-11,2	Infrarrojo de onda larga
5	11,5-12,5	

Los satélites geoestacionarios incorporaron también un sistema de comunicaciones denominado Weather Facsimile (WEFAX) el cual permite la transmisión de imágenes satelitales en muy baja resolución; y mapas del tiempo convencionales considerando estaciones de muy bajo costo. Esto permitió el acceso de la información meteorológica a un amplio espectro de usuarios del mundo entero, especialmente, a los buques en alta mar y los aviones.

A partir de los años 80', los satélites del sistema GOES incluyeron la posibilidad de obtener perfiles verticales de temperatura y humedad de la atmósfera adicional a las imágenes tradicionales, esto se realizó a partir de la implementación de los radiómetros VAS (de su sigla en inglés VISSR Atmospheric Sounder).

Previo a la introducción de los satélites, los meteorólogos eran forzados a hacer inferencias de las regiones desprovistas de información. Hoy en día, cada km² del planeta está supervisado por los satélites, reportando información cada media hora. Las nubes y los patrones nubosos pueden ser vistos en animaciones que permiten seguir sus trayectorias y estimar una evolución futura. Un número muy importante de descubrimientos fueron realizados a partir de la incorporación de los satélites geoestacionarios como:

- 1) regiones de mayor frecuencia de iniciación de los huracanes,
- 2) regiones de mayor desarrollo de tormentas severas,
- 3) evolución y estructura de los complejos grandes sistemas nubosos,
- 4) pronóstico y evolución de las nieblas, entre otros

Cuadro comparativo entre los satélites de órbita geoestacionaria y polar

GEOESTACIONARIA	POLAR
<ul style="list-style-type: none"> - Observa la evolución de los fenómenos, cálculos de velocidad de los sistemas - Repetición de la cobertura ($\Delta t = 15$ a 30 minutos) - Disco completo de la Tierra centrado en una longitud - Mejor observación en los trópicos - Diferente iluminación del sol a medida que pasa el día - Imagen visible 1 km de resolución IR 4 km de resolución - Un canal visible - Radiómetros multiespectrales: forman imágenes en un número reducido de bandas anchas del espectro - Sensores pasivos: mide la energía emitida por una fuente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Logra captar los posibles efectos involucrados con las nubes - Repetición de la cobertura dos veces al día ($\Delta t = 12$ horas) - Cobertura global de la Tierra, pero con un ancho de 2.000 km en cada imagen - Mejor observación en los polos - Iluminación del sol en forma constante - Imagen visible e IR 1 km de resolución - Múltiples canales en luz visible, índice verde - Radiómetros Hiperespectrales: forman imágenes en un gran número (cientos) de bandas contiguas y estrechas del espectro - Sensores pasivos y activos: mide la energía emitida por una fuente y algunos satélites disponen de un sensor activo que mide la señal de retorno de un pulso de energía emitido por el mismo sensor.



Figura 26. Arriba: satélite geostacionario. Abajo: satélite polar

c) Diferentes tipos y aplicaciones de las imágenes satelitales.

Imagen visible

La imagen visible (VIS) representa la radiación del sol reflejada por las nubes o la superficie de la Tierra, esto hace posible monitorear las condiciones del océano, tierra y nubes. Porciones de alta reflectividad son visualizadas en forma brillante y las de baja reflectividad oscuras. En general las superficies cubiertas con nieve, hielo y nubes son muy brillantes, ya que, al ser objetos blancos, reflejan la luz del espectro visible. Las superficies cubiertas de agua, como mares y lagos, presentan muy baja reflectividad, ya que la luz penetra en el agua y no es reflejada por la superficie. Este tipo de imagen posibilita mostrar la sombra de las nubes sobre la superficie terrestre. En los satélites de órbita geostacionaria, durante las horas nocturnas, la imagen se observa totalmente negra, ya que no hay luz reflejada

del sol. Por el contrario, en los satélites de órbita polar, mantienen durante todo el tiempo, la misma posición respecto al sol y sus imágenes pueden ser utilizadas durante todo el día, por eso, también reciben el nombre de sincronizados con el sol.

Las imágenes en el espectro del visible, permiten distinguir entre nubes que ocupan un mayor o menor espesor de la atmósfera, entre nubes bajas o altas, apreciar la altura del tope de la nube, detectar la presencia de nieblas o humo, entre otras aplicaciones.

Imagen infrarroja (IR)

La imagen infrarroja (IR) representa una distribución de temperaturas de las fuentes sobre la Tierra que puede ser observada tanto de día como de noche. Este tipo de imágenes son vitales para observar y seguir las nubes y fenómenos en la superficie de la Tierra. Las mismas pueden observarse en blanco y negro o utilizando escalas de colores especiales, las cuales reciben el nombre de falso color. Las imágenes en falso color muestran el campo de temperaturas del tope de las nubes y, en general, reciben el nombre de “Topes nubosos”. En las imágenes en blanco y negro las regiones más blancas indican aquellos objetos más fríos, mientras las más negras, las más calientes, las escalas de colores dependen absolutamente del proveedor de la imagen.

Estas imágenes permiten seguir la vida e historia de los sistemas, tanto durante el día como en la noche, mostrando los mismos con intervalos de 15 min en los satélites geoestaciona-

rios de última generación. Permite estimar la temperatura de la superficie de la Tierra libre de nubes, tanto tierra como agua, esta aplicación es de vital importancia dado que el 70% del planeta está cubierto de agua y el conocimiento de las variables meteorológicas es crucial para el pronóstico. Otra aplicación comúnmente utilizada es la estimación de la altura de las nubes, la cual considerando un radiosondeo en el área permite estimar la altura del tope de la nube y esto ayuda en el pronóstico.

Imagen de vapor de agua

Las imágenes de vapor de agua también representan la distribución de temperatura. Al igual que en las imágenes de IR, las porciones de baja temperatura son visualizadas brillantes mientras que las regiones con temperaturas más altas más oscuro. En las imágenes de vapor de agua, la absorción del vapor de agua contenido en la atmósfera, es dominante y, esto, da como resultado el contenido de vapor de agua en los niveles medios y altos de la atmósfera. Una atmósfera común puede ser dividida en tres capas: baja, media y alta. La tasa de absorción y re-emisión de la radiación infrarroja del vapor de agua es esquematizada en la figura 27.

Mientras la temperatura es alta y una gran porción de vapor de agua se encuentra cerca del suelo, la tasa de emisión en el espectro del infrarrojo es muy grande. Pero la mayoría de esta

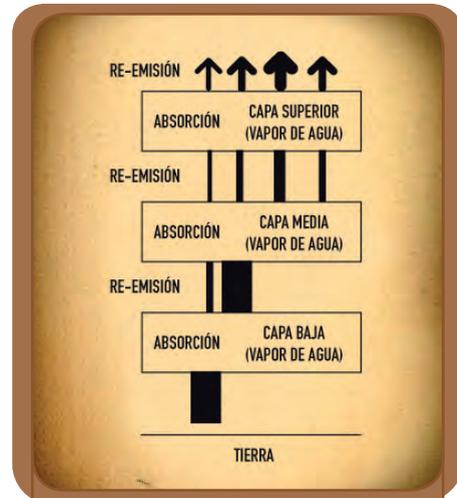


Figura 27. Diagrama esquemático de la radiación en la imagen de vapor de agua

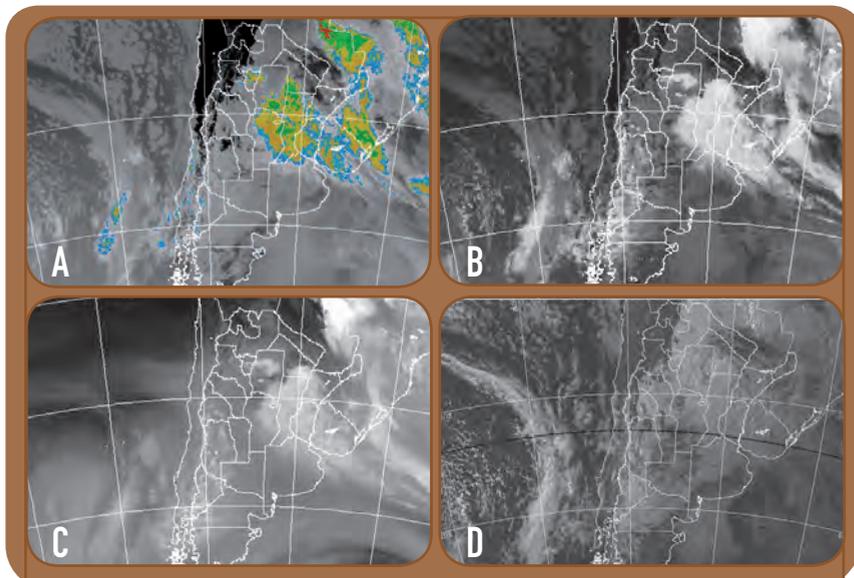


Figura 28. a: Topes nubosos. b: Infrarrojo. c: Vapor de agua. d: Visible

radiación es absorbida por el mismo vapor de agua de los niveles medios de la atmósfera y, así, una pequeña porción llega al satélite (a y b, en la figura). A medida que la altura aumenta, la temperatura disminuye pero la tasa de emisión es mayor, dado que la cantidad de vapor de agua es menor y la mayoría de la energía llega al satélite (c y d).

En regiones muy secas, la imagen va a ser completamente negra dado que se está observando el aporte de los niveles muy bajos de la atmósfera.

Las imágenes de vapor de agua muestran el contenido de vapor, pero presentan también una importante utilidad en el estudio del movimiento del aire. Dada la falta de nubosidad en sus imágenes es posible observar cuñas, vaguadas, vértices y estructuras de corriente en chorro.

d) Sensores activos. Nueva generación de observaciones

La nueva generación de satélites meteorológicos busca, primordialmente, investigar la estructura y evolución de los sistemas de nubes que generan importantes tasas de precipitación, a fin de implementar un buen pronóstico a corto y mediano plazo. Considerando que la actividad convectiva puede desarrollar pequeñas celdas que poseen ciclos de vida menores a una hora, hasta sistemas de gran tamaño que pueden alcanzar varios días, el impulso está centrado en obtener sensores remotos que provean una alta resolución temporal y espacial. La nueva generación de satélites se basa en sensores activos que transmiten una señal en el rango de las microondas

y, posteriormente, esa señal es recibida por el satélite. Estos sensores son instalados en la nueva generación de satélites de órbita polar bajo la estructura de distintos proyectos, entre ellos se puede mencionar: NOAA KLM, el Programa Satelital de Defensa Meteorológica de la NOAA (DMSP), programa AQUA – TERRA, programa QuickScat, entre otros. Cada uno de los grupos de satélites mencionados disponen numerosos sensores los cuales poseen diversas aplicaciones que se centran en conocer perfiles verticales de temperatura y humedad más confiables que el VAS, una descripción de los sistemas generadores de precipitación con mayor detalle y confiabilidad y conocer la estructura del viento principalmente en los mares.

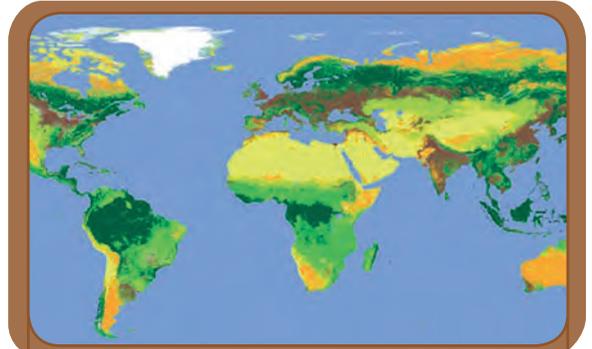


Figura 29. Clasificación de ecosistemas

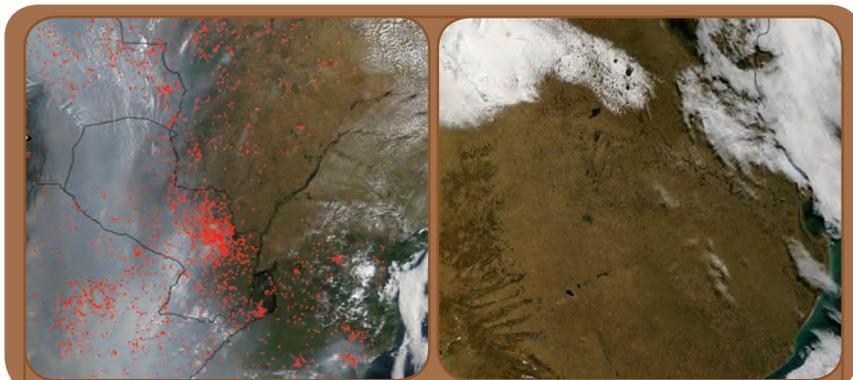


Figura 30. Índice verde

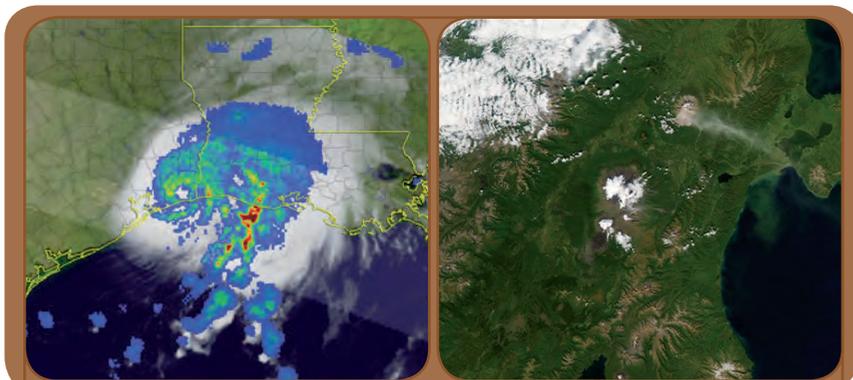
e) Otras Aplicaciones

Los satélites también son usados en un gran número de aplicaciones que no son, necesariamente, utilizadas al pronóstico del tiempo, como detección de incendios, monitoreo de la calidad del aire, monitoreo de cosechas, mapeo de inundaciones, cálculo de viento en distintos niveles de la atmósfera, temperatura de la superficie del océano, detección de espesor óptico de distintos aerosoles, clasificación del tipo de suelo, cobertura de hielo y seguimiento de icebergs, entre muchas otras.

Ejemplos de algunas aplicaciones



Figuras 31-32. Izquierda: Fuegos en el Paraguay que generaron humo en Buenos Aires. Derecha: cobertura excepcional de nieve en el centro del país, 10 de julio de 2007. Ambas tomadas por los satélites AQUA y TERRA



Figuras 33-34. Izquierda: detección de áreas convectivas de sistemas precipitantes. Huracanes. Derecha: erupción ocurrida el 3 de agosto de 2007 en Kamchatka - Rusia



EJEMPLOS DE ANIMACIONES

<http://www.meted.ucar.edu/>
(suscribirse es gratuito)

Módulo: Satellite Meteorology

- Producto: An Introduction to POES Data and Products animaciones de los satélites de órbita polar
- Producto: Satellite Meteorology: GOES Channel Selection Animaciones de los satélites de órbita geoestacionaria
- Producto: Microwave Remote Sensing: Microwave resources. Animaciones de satélites de órbita polar. Animaciones de sensores activos y pasivos.

9.4.2. Radar

¿Cómo?

Se puede observar la animación computada del funcionamiento del radar. Filmación del radar de Ezeiza perteneciente al SMN.

El radar (Radio detection and ranging) es vital para el pronóstico ya que posibilitan la medición de hidrometeoros en regiones remotas, cuando por hidrometeoros se entiende cualquier tipo de nube que contenga gotas en estado líquido o sólido. Los científicos que estudian la atmósfera usan los radares meteorológicos a fin de investigar la estructura interna de las nubes, como los médicos utilizan los rayos X para investigar el cuerpo humano.

El principio de la utilización del radar es un producto de la Segunda Guerra Mundial, como una

herramienta militar, aunque su principio físico (en el cual se basan todos los radares) fue propuesto por Hertz en 1886 cuando encontró que ondas del espectro electromagnético, en su caso ondas de radio, podían ser reflejadas por ciertos objetos al igual que la luz del sol. La Segunda Guerra Mundial es considerada como un hito en la meteorología asociada a los radares ya que se instalaron numerosos radares en toda Europa y se detectó que las nubes que generan precipitaciones moderadas a intensas, presentaban ecos muy importantes en las pantallas de los operadores y eran un fuerte inconveniente para los propósitos militares. Rápidamente, las observaciones de radar se volvieron una herramienta de inmenso valor en las

tácticas militares, dado que el instrumento se volvió vital en el pronóstico del tiempo a muy corto plazo.

El radar cubre una región alrededor del punto de localización de 450km de radio. Utilizando este instrumento se observa la posición, tamaño y evolución de las gotas que conforman la nube permitiendo, así, un pronóstico eficaz de la precipitación y, principalmente, de las tormentas severas. Dado que el radar está instalado en un punto fijo permite obtener imágenes continuas de los fenómenos detectados con intervalos aproximados de 5 minutos. Fundamen-

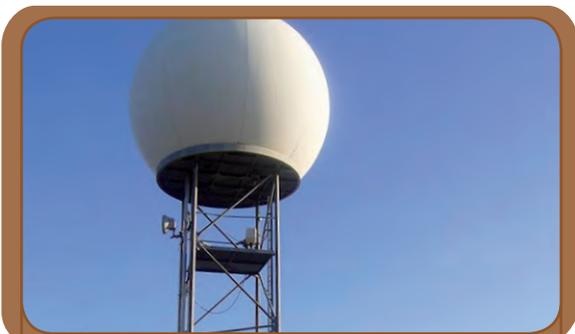


Figura 35. Imagen de un radar instalado en una estación meteorológica

talmente, el radar meteorológico permite conocer las regiones de la atmósfera donde se observan las gotas que componen las nubes distinguiendo la distribución vertical de las mismas y pronosticando a muy corto plazo el momento que las mismas alcancen la superficie terrestre.

En particular, es posible detectar las áreas donde la precipitación se encuentra en estado sólido y detectar eventual caída de granizo. El uso del radar es una herramienta vital en el pronóstico de ocurrencia de granizo, descendentes, tornados, entre otros fenómenos severos.

Existen algunos radares que permiten también medir la velocidad con la que se mueve un objeto detectado facilitando, de este modo, conocer la velocidad de aproximación que está alcanzando una tormenta sobre un punto determinado. Estos radares consideran el efecto Doppler para este cálculo, ya que los mismos son capaces de medir la velocidad horizontal de las gotas que están cayendo y se mueven con el viento hacia o desde la antena. La medición de la velocidad radial hacia o desde el radar permite conocer las áreas con fuertes cambios horizontales en la dirección del viento y se utiliza, especialmente, para detectar tornados y frentes de ráfagas.

Los radares meteorológicos funcionan utilizando la transmisión de una señal de microondas que se encuentra dentro del rango de 1 a 20 cm. Cuando la señal emitida encuentra un objeto, una fracción de la energía es dispersada y el resto rebota hacia el receptor. La señal de retorno es captada por un receptor que la amplifica y la muestra en una pantalla. El tiempo empleado entre la transmisión de la señal y la recepción indica la distancia a la que se encuentra del radar. El radar gira sobre sí mismo emitiendo la señal y cubriendo los 360 grados que lo circundan.

dBZ	PRECIPITACIÓN (MM/HORA)
65	40
60	20
55	10
52	6,25
47	3,125
41	1,25
36	0,625
30	0,25
20	Traza

Los radares poseen múltiples bandas de emisión y pueden ser usados para incontables usos, en particular en meteorología los radares que se utilizan son los de banda S y C, asociados a frecuencias de 2 a 4 ghz (7,5 -15 cm de longitud de onda) y 4 a 8 ghz (3,75-7,5 cm de longitud de onda) respectivamente.

Existe un gran número de productos que pueden generarse para los usuarios a partir de la información del radar: campos de reflectividad, estimaciones de precipitación con la utilización de más de un radar sobre una misma área, estimaciones del viento en toda la atmósfera, entre otros productos. El campo más utilizado es el de reflectividad, este campo provee información en dBZ (decibeles) de la intensidad de los diferentes ecos medidos durante cada una de los escaneos del radar. La reflectividad es la tasa de energía que regresa hacia el radar y, por ende, a mayor energía que retorna mayor es la concentración de partículas de agua que posee el eco. Al haber una mayor concentración de agua uno puede utilizar este campo como estimador de la precipitación, considerando que, a mayores dBZ mayor será la intensidad de la precipitación.

Los radares que miden la velocidad del desplazamiento de los objetos para un instante determinado se basan en el efecto Doppler: se basa en el cambio de frecuencia de la onda que ocurre cuando un objeto se aleja o se acerca respecto de otro.

Muchas veces la pantalla del radar se ve inundada de ecos falsos, una de las principales fuentes de error en los radares meteorológicos está dada por la presencia de aves, en general, cuando son muy numerosas durante las migraciones pueden confundirse con ecos de nubes. Pero, también, deben considerarse los ecos del terreno, en el caso que el radar esté emplazado cerca de la montaña o de las ciudades donde los edificios producen pequeños ecos en la zona cercana al radar.

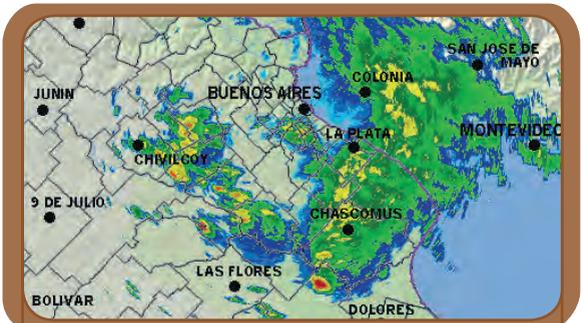


Figura 36. Barómetro de una estación meteorológica

Animaciones

<http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Radarops.gif>

9.4.3. Radiosondeo. Mediciones de altura

¿Cómo?

La atmósfera es un volumen de aire que rodea la tierra. Entonces las mediciones que se hacen en superficie nos describen, solamente, las condiciones de la atmósfera cerca del suelo, por lo tanto, es necesario medir a diferentes niveles para conocer cómo es su estado en todo el volumen.

Las mediciones de altura se hacen con una 'radiosonda', el cual es un dispositivo con sensores que miden la temperatura, la humedad y la dirección e intensidad del viento en distintos niveles de la atmósfera y transmite dicha información a un receptor en tierra. El dispositivo se ata a un globo que se llena con helio o hidrógeno (con un gas más liviano que el aire para que pueda ascender y llegar hasta unos 30.000 m donde el globo explota por falta de presión del aire externo, aproximadamente unos 10hPa).

La radiosonda fue inventada por el meteorólogo ruso Molchanov en 1928 y representó una revolución de gran importancia en el sistema de sondeo del aire en altura.



Figura 37. Lanzamiento de un radiosondeo

La radiosonda consiste, esencialmente, en un pequeño barómetro anerode, un termómetro bimetalico y un higrómetro. Todo esto se coloca en una caja protectora que permite el paso del aire. La caja contiene, también, un pequeño transmisor de radio. Este conjunto se sujeta a un globo



Figura 38-39. Izquierda: lanzamiento de un radiosondeo desde un barco. Derecha: lanzamiento de un radiosondeo en la Antártida

meteorológico que se eleva y es transportado por el viento. Con un receptor situado en la superficie es posible conocer la presión, la temperatura y la humedad atmosférica. El viento en altura puede determinarse observando el movimiento del globo con un teodolito. Algunos modelos actuales llevan acoplado un GPS y se puede saber, en todo momento, su posición y, considerando que el globo se desplazó por efecto del viento, se puede estimar la dirección e intensidad del mismo dominante en las distintas capas.

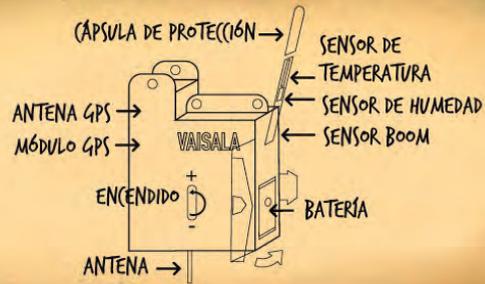


Figura 40. Componentes de una radiosonda

9.5. Pronóstico del tiempo

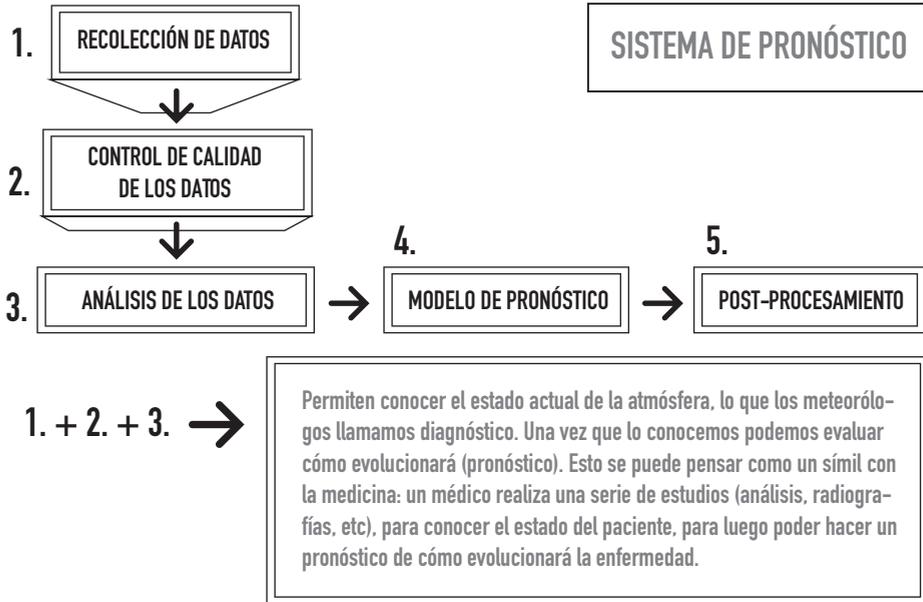
Mostrar distintos tipos de diseños y estructuras de modelos y sus aplicaciones en función del usuario final utilizando las distintas páginas de los centros disponibles en Internet.



Figura 41. Foto de una radiosonda actual

Contenido científico: Un modelo de pronóstico numérico requiere de un sistema apropiado de leyes físicas expresadas en su forma matemática, condiciones iniciales (estado de la atmósfera a la hora de la observación) y de contorno (método numérico adecuado para resolver el sistema de ecuaciones espacial y temporalmente con una computadora conveniente). Estos modelos permiten obtener previsiones de las variables meteorológicas hasta 10 días de pronóstico.

Al escuchar la frase pronóstico del tiempo, el público se imagina el tipo de información que recibe desde los medios de comunicación (el estado de las condiciones del tiempo para los próximos días: temperatura, humedad, viento, lluvia). Sin embargo para llegar a “producir” esa información se ha recorrido un largo camino. En meteorología ese camino, actualmente, lleva el nombre de **Sistema de Pronóstico**. Con este nombre se sintetizan todos los componentes que intervienen en la elaboración del pronóstico. El siguiente esquema sintetiza todas las componentes que incluyen al sistema y que serán desarrolladas a continuación:



9.5.1. Recolección de los datos

Todo lo que tiene que ver con este primer eslabón del sistema de pronóstico fue descrito en el texto precedente (datos de superficie, radiosondeos, satélite, radares). A modo de ejemplo se muestran las siguientes figuras donde se puede observar un día y una hora determinada la cantidad de información de superficie, altura (radiosondeos) y satélite que ingresan al sistema global de información.

¿Qué información satelital es utilizada como dato observado?

Por ejemplo, los datos de radianza captados por los radiómetros pueden ser convertidos a temperatura. Otro dato importante que se puede derivar de las imágenes de los satélites geostacionarios es una estimación de la velocidad del viento, pero esto sólo es posible en zonas con nubes. Básicamente, la técnica estima la velocidad del viento a partir del desplazamiento de las nubes entre dos imágenes consecutivas.

Si observamos detenidamente la distribución de los datos en el Hemisferio Sur, mostrados en la figura 42, vemos que, los datos derivados a partir de las observaciones satelitales, son muy



Figura 42. Datos observacionales que entran en el Sistema de Pronóstico para un día determinado (esta figura se puede actualizar y mostrar la del día que se tome como ejemplo para la realización del corto, el problema es que esta info no se archiva, hay que obtenerla en tiempo casi real)

importantes ya que son la única forma de aumentar la cantidad de observaciones disponibles, principalmente, sobre las regiones cubiertas por agua (aproximadamente el 80% en el Hemisferio Sur),

9.5.2. Control de calidad de los datos

Una vez que los datos son transmitidos hacia los Servicios Meteorológicos y los centros mundiales, antes de ser utilizados como una cadena en la elaboración del pronóstico del tiempo, deben pasar por un control de calidad (consistencia de la información).

¿Cuáles pueden ser las posibles fuentes de errores en los datos?

Error al codificar la información, error al transmitir, error grueso en la observación y, en el caso de las estaciones automáticas, puede ocurrir cuando se daña un sensor.



Figura 43. Control de calidad de la información. Ejemplo de dato erróneo en la observación de la temperatura

Este control de calidad, para cada una de las variables observadas, no es una tarea sencilla, y, básicamente, consiste en el chequeo de errores gruesos: comparación con valores extremos (sabemos que la presión no podría ser mayor a 1060 hPa, por ejemplo), se las compara con las observaciones anteriores, se hace un chequeo con puntos vecinos. Por ejemplo, la figura muestra las observaciones de temperatura en estaciones de superficie. Evidentemente, el dato de 70 °C está equivocado, debería ser 7 °C. Entonces, en comparación con los datos vecinos este dato se puede corregir.

Estas correcciones, algunas veces, se realizan en forma manual y, otras, en forma automática (o sea con programas computacionales). La información mala a veces se corrige y otras se la desecha. Por ejemplo, en la figura 43, aparecen en naranja los datos observados que no pasaron el control de calidad.

9.5.3. Análisis de los datos

Una vez que toda la información pasa el control de calidad, comienza una etapa fundamental en el sistema de pronóstico: **realizar un diagnóstico de la atmósfera, para después pronosticar cómo evolucionará.**

En este punto, es bueno hacer un poco de historia. Antes de la era computacional, los datos recolectados eran volcados manualmente sobre mapas y, sobre ellos, se trazaban también manualmente, por



Figura 44. Meteorólogo en una central de pronóstico en la década del 60'

ejemplo, isotermas (líneas que unen puntos con igual temperatura), isobaras (líneas que unen puntos con igual presión); se marcaban las zonas donde se observaban lluvias, entre otras cosas. A modo de ejemplo se muestra la siguiente foto de un meteorólogo en una central de pronóstico en la década del 60'. A partir de estos mapas que daban una idea del diagnóstico de la atmósfera, el pronosticador realizaba el pronóstico. O sea que el pronosticador, conociendo las leyes físicas que gobiernan los procesos en la atmósfera, evaluaba cómo esos procesos modificarían el estado de la atmósfera desde su condición "actual" hasta una condición "futura" (pronóstico). Este pronóstico, elaborado por una persona, se denomina pronóstico subjetivo.

Pero, el avance tecnológico, en particular de las computadoras, hizo posible el avance en el pronóstico numérico. Estos modelos de pronóstico numérico del tiempo necesitan, como

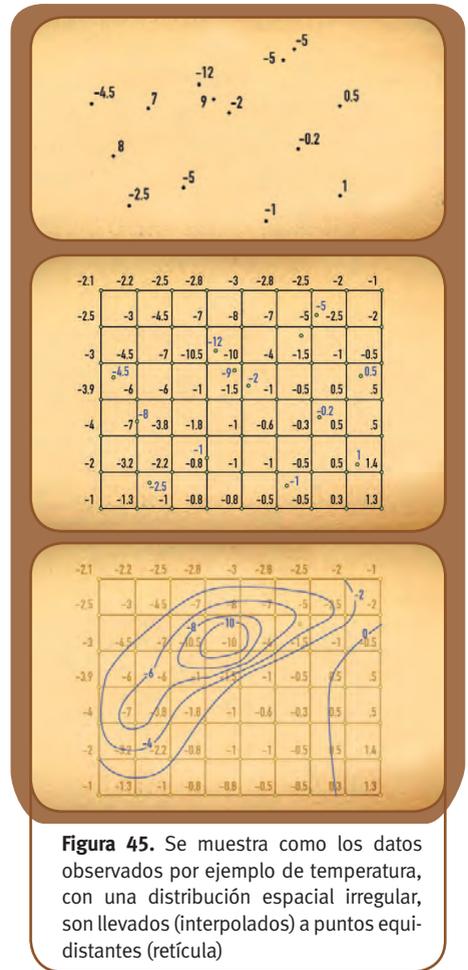


Figura 45. Se muestra como los datos observados por ejemplo de temperatura, con una distribución espacial irregular, son llevados (interpolados) a puntos equidistantes (retícula)

primer paso, que la información recolectada por las observaciones (figura 46) sean llevados a puntos equidistantes entre ellos, o sea a una retícula. Esta nueva representación de los datos se denomina análisis.

El avance de los medios computacionales también permite la generación de gráficos que permiten la visualización conjunta de diferentes observaciones. Por ejemplo la siguiente figura muestra una imagen de satélite IR, que tiene superpuesta las observaciones de superficie y las isobaras. Este tipo de figuras le permiten al meteorólogo comprender, en forma más rápida, el estado de la atmósfera (diagnóstico). Como la información observada se comparte en forma global, este tipo de gráficos se puede realizar no solamente en los centros mundiales, sino en cada lugar del mundo que pueda tener acceso a Internet, para poder acceder a la información y al software apropiado para realizar este tipo de gráficos.

9.5.4. Modelo de pronóstico

En esta etapa del sistema de pronóstico, el avance tecnológico ha marcado una mejora importante en la calidad de los mismos. Tal como comentamos en el punto anterior, hasta la década del 60' - 70', el pronóstico se hacía en forma totalmente subjetiva: es decir era el pronosticador quién a partir de su conocimiento y experiencia evaluaba la forma en que se iban a modificar las condiciones del tiempo. En la actualidad, el pronosticador, suma a su conocimiento y experiencia, los resultados provistos por los pronósticos numéricos.

Los pronósticos numéricos del tiempo están basados en la solución de un conjunto de ecuaciones matemáticas muy complejas que describen los procesos más importantes que tienen lugar en la atmósfera (ver figura 48). La estructura matemática de estas ecuaciones es muy compleja y no existe una solución analítica que determine el estado futuro de la atmósfera con exactitud. Sin embargo, se pueden resolver en forma aproximada con métodos numéricos.

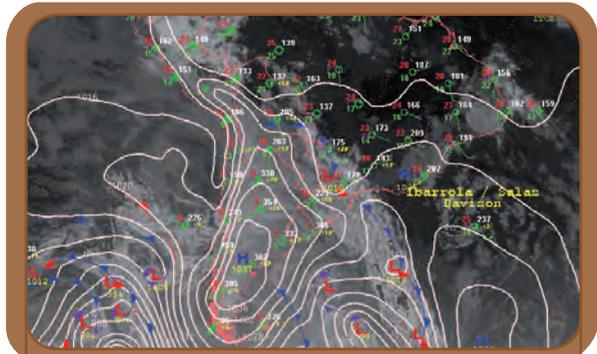


Figura 46. Imagen GOES IR, observaciones de superficie (en colores) e isobaras. Además están señalados los centros de alta y baja presión y la posición de los frentes fríos y calientes. (información elaborada por la NOAA, particularmente la en la oficina del South American Desk)

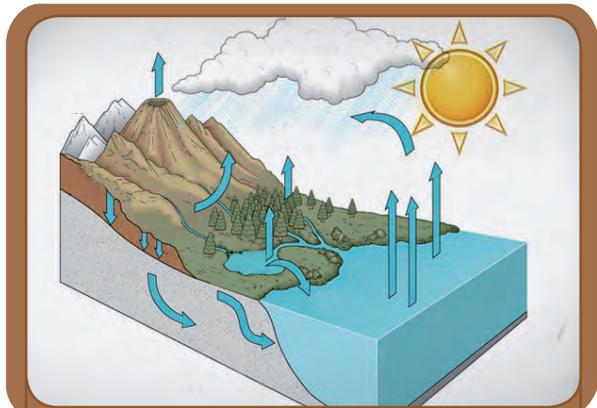


Figura 47. Figura esquemática mostrando los procesos más importantes que están representados en los modelos de pronóstico numérico del tiempo

$$\frac{\Delta A}{\Delta t} = F(A)$$

Básicamente, lo que está representando el modelo de pronóstico es lo siguiente: si con A se está representando a la variable que queremos pronosticar (por ejemplo la temperatura), el lado izquierdo de esta ecuación está representando la variación de A en un tiempo t. En el lado derecho de la ecuación, F(A) está representando todos los procesos que pueden producir cambios en la variable A. Si bien aquí lo estamos presentando en forma muy simplificada, las ecuaciones matemáticas son muy complejas y no tienen solución exacta.

Para resolver estas ecuaciones es necesario dividir la atmósfera en cajas donde ya se conoce la condición inicial (análisis, sección 4.3). Los cambios en la atmósfera se evalúan a partir de los procesos representados por las ecuaciones en cada uno de estos puntos. Cuanto mayor sea la cantidad de puntos, en general, las condiciones de la atmósfera estarán mejor representadas, pero esto también implica que la cantidad de operaciones (cuentas) que se necesita resolver también sea muy compleja. Evidentemente, el avance tecnológico en el ámbito computacional permitió avanzar en este sentido.

Pero ahora es interesante hacer un poco de historia en lo relativo al pronóstico numérico del tiempo (PNT):

En 1904 el noruego V. Bjerknes (llamado el padre de la meteorología moderna) sugirió que el estado del tiempo se puede pronosticar, cuantitativamente, a partir de las ecuaciones hidrodinámicas y termodinámica, una vez analizados el estado actual de la atmósfera. Pero la falta de capacidades teóricas y prácticas para desarrollar cualquier predicción cuantitativa, lo llevó a iniciar una aproximación cualitativa que se conoció como la “escuela noruega”.

Lewis Richardson, un matemático inglés, estuvo durante tres años desarrollando las técnicas y procedimientos propuestos por Bjerknes. Con sólo una regla de cálculo y una tabla de logaritmos, pronosticó el cambio de la presión en un punto determinado para un período de 6 horas. El cálculo le llevó **6 semanas** y sus resultados no fueron realistas pero, a pesar de esto sus esfuerzos, fueron un destello para el futuro del pronóstico del tiempo. Otro dato curioso respecto de Richardson fue que imaginó una “fábrica de pronóstico”. Calculó que, aproximadamente, **64.000 computadoras “humanas”**, cada una responsable de una pequeña parte del globo, podrían pronosticar

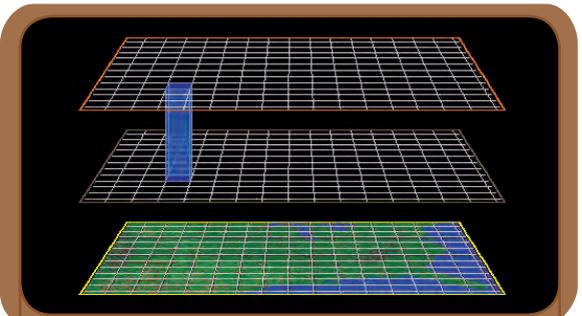


Figura 48. Esquema que muestra una retícula horizontal y vertical en que se “divide” la atmósfera para poder resolver las ecuaciones



Figura 49. Vilhelm Bjerknes fue profesor de mecánica aplicada y física-matemática de la Universidad de Estocolmo

las condiciones del tiempo. Estas computadoras “humanas” estarían alojadas en una habitación circular (semejante a un teatro), con galerías y un mapa pintado en las paredes y el techo. Un “conductor” posicionado en el centro coordinaría los cálculos (ver dibujo). Esto nunca se sustentó, pero Richardson fue un visionario al imaginar el pronóstico del tiempo a nivel global.



Figura 50. Esquema que muestra una retícula horizontal y vertical en que se “divide” la atmósfera para poder resolver las ecuaciones

Muchas décadas pasaron desde el esfuerzo inicial de Richardson respecto del PNT. Durante ese tiempo, las observaciones meteorológicas, las investigaciones y la tecnología fueron avanzando. En 1937, en Estados Unidos se lanzó el primer radiosondeo. Durante la 2da Guerra Mundial, los pilotos americanos “sintieron” la presencia de la corriente en chorro (viento muy fuerte en niveles altos de la troposfera), de la cual, hasta el momento, había solamente evidencias teóricas de su existencia. Por esa época, además, se estableció la red mundial de observaciones de altura y se comenzaron a utilizar los radares para la meteorología. La tecnología en las comunicaciones creció considerablemente, lo que permitió que los cientos de observaciones meteorológicas que se tomaban en esa época en todo el globo, pudieran difundirse. Uno de los pasos más importantes fue que hacia el final de la 2da Guerra Mundial, se desarrolló la primera computadora electrónica. Entonces, las

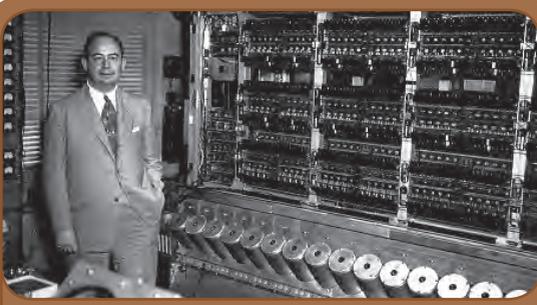


Figura 51. John von Neumann y la computadora ENIAC

64.000 computadoras “humanas” imaginadas por Richardson, pudieron reemplazarse por una sola máquina que ocupaba una habitación de aproximadamente 10x16 metros.

A mediados de la década del 40, se inventaron las computadoras electrónicas y, en 1946, John von Neumann organizó el Electronic Computer Project en el Institute for Advanced Studies, en Princeton, Nueva Jersey. El objetivo del proyecto era el del diseño y construcción de una computadora electrónica más potente que las desarrolladas hasta ese momento. En 1949 se sumó al proyecto un grupo de meteorólogos teóricos, liderado por Jule Charney, quienes desarrollaron un duro trabajo simplificando el sistema de ecuaciones para aplicarlo al pronóstico del tiempo. El grupo realizó un modelo matemático simplificado para la atmósfera y demostró que el PNT era posible. El primer pronóstico numérico del tiempo a 24 h (es decir, a partir de las condiciones iniciales, se pronosticaron las próximas 24 horas) fue realizado en abril de 1950, tardando más de un día de integración en ENIAC (de su sigla en inglés Electronic Numerical Integrator And Computer) ya que ésta se “cayó” varias veces en esas 24 h. ENIAC es reconocida como la primera computadora electrónica para múltiples propósitos. Pero, aunque cuando el primer pronóstico estuvo listo ya era

“viejo”, ya que había pronosticado lo que pasaría en las 24 horas previas. El valor científico de este paso fue enorme, ya que los resultados fueron más que alentadores. Ese PNT fue muy superior al desarrollado en forma subjetiva y la comunidad meteorológica comprobó que el PNT era posible.

No sólo el avance en la computación en las próximas décadas mejoraría la calidad de los pronósticos sino, también, el avance en el conocimiento del comportamiento de la atmósfera. Alrededor de 1955, los modelos numéricos y el avance computacional, permitieron pensar, tanto en Europa



Figura 52. Computadora IBM 701. Esta computadora la primera que se usó para producir pronósticos numéricos en forma operativa.

ya como en Estados Unidos, la posibilidad de considerar estos modelos de pronóstico diariamente en los servicios meteorológicos. En la jerga meteorológica esto se llama utilizar los modelos en forma operativa (se ejecutaban diariamente para obtener los pronósticos numéricos a partir de sus resultados). Esto permitió comenzar a evaluar la performance de los PNT, es decir, detectar problemas (dónde y por qué fallaban los pronósticos) y tratar de solucionarlos. Ya durante la década del 60' los PNT habían mejorado bastante, pero el salto más importante en su performance lo tuvieron cuando se comenzaron a incorporar los datos de satélite en el análisis. La década del 70' fue

la que dio el comienzo a la denominada era satelital. Una mejora sustancial en las condiciones iniciales de los PNT y, por consiguiente, en sus pronósticos se evidenció a partir de la inclusión de datos derivados de las observaciones satelitales. Pero además, la mejora en la tecnología de los sensores a bordo de los satélites y de los métodos de cálculo de las variables derivadas de esas observaciones, hizo que los PNT mejoraran su performance en el Hemisferio Sur, principalmente.

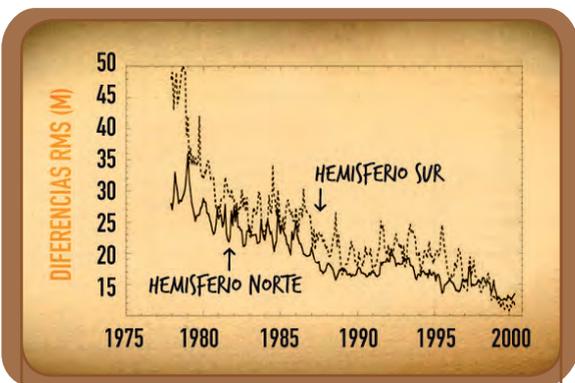


Figura 53. Error cuadrático medio en el pronóstico a 6 horas de la superficie de 500 hPa para el hemisferio Norte y Sur.

y como en Estados Unidos, la posibilidad de considerar estos modelos de pronóstico diariamente en los servicios meteorológicos. En la jerga meteorológica esto se llama utilizar los modelos en forma operativa (se ejecutaban diariamente para obtener los pronósticos numéricos a partir de sus resultados). Esto permitió comenzar a evaluar la performance de los PNT, es decir, detectar problemas (dónde y por qué fallaban los pronósticos) y tratar de solucionarlos. Ya durante la década del 60' los PNT habían mejorado bastante, pero el salto más importante en su performance lo tuvieron cuando se comenzaron a incorporar los datos de satélite en el análisis. La década del 70' fue

Un largo trecho se ha recorrido hasta la actualidad. Evidentemente, la generación de pronósticos numéricos depende, fuertemente, de los medios computacionales con los que se cuenta.

Para citar un ejemplo, el modelo de pronóstico numérico a nivel global más consultado es el desarrollado desde el NCEP (National Centers for Environmental Prediction, de Estados Unidos), de acceso gratuito. Éste brinda pronósticos para todo el globo, con datos cada 0,5 grados de latitud por 0,5 grados de longitud

(esto quiere decir una retícula de 361 x 721 puntos) y 64 capas en la vertical. Es decir, que proporciona datos de variables pronosticadas para 16.657.984 puntos. Si consideramos que para cada uno de

estos puntos se deben resolver al menos 7 ecuaciones, todos estos cálculos se pueden realizar en un tiempo razonable, únicamente, en supercomputadoras. El NCEP utiliza una IBM RS/6.000 SP, la que tarda aproximadamente 12 minutos para realizar un día de pronóstico (lo que equivaldría a resolver 84.000.000.000, ochenta y cuatro billones, de cuentas). Un cambio más que importante desde el primer pronóstico, allá por el año 1950.

Por ejemplo, el Servicio Meteorológico Nacional, ejecuta 2 veces al día (00 y 12 UTC) un modelo de PNT pero, solamente, para la región sudamericana, región definida entre 14 y 65° latitud Sur y 30 y 91° longitud Oeste, sobre una retícula de 25 km y 38 niveles en la vertical. Es decir que proporciona datos de variables pronosticadas para 1.872.792 puntos. Para realizar la corrida de los modelos numéricos, el Servicio Meteorológico Nacional cuenta actualmente con un Sistema Origin 2.400 de SGI (Silicon Graphics) con 16 procesadores R12.000 y R14.000. El modelo tarda 6 horas para realizar un día de pronóstico.

En la actualidad, los Centros Mundiales generan 4 veces al día (para las 00, 06, 12 y 18 UTC) pronósticos globales (es decir, ejecutan los modelos numéricos sobre retículas que cubren todo el globo, o sea, aquello que había imaginado Richardson). Los resultados de esos pronósticos están disponibles vía Internet.

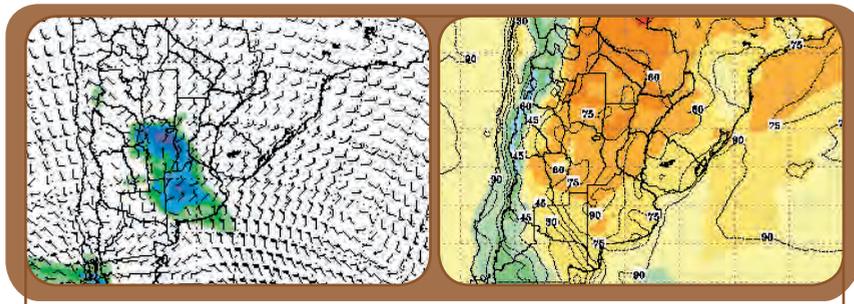
9.5.5. Post-procesamiento

Este es el último componente del sistema de pronóstico. Se puede dividir en dos partes:

- a) se trata de convertir los datos crudos de los resultados del modelo de pronóstico en un formato útil para los pronosticadores y también para usuarios y
- b) tiene que ver con la verificación de los resultados del PNT.

a) Generación de productos para los pronosticadores

En este punto, cada uno de los lugares donde se operan con modelos de PNT puede generar gráficos según sea el requerimiento de los pronosticadores. A modo de ejemplo se muestran algunos de los gráficos elaborados por el SMN.



Figuras 54-55. Izquierda: viento y lluvia (sombreado), acumulado entre las 21 y 24 h de pronóstico. Derecha: temperatura a 2 metros (sombreado) y humedad relativa (líneas) para el pronóstico a 24 h

b) Verificación del PNT

Esta etapa es fundamental y se puede, a su vez, dividir en dos partes:

- b.1) tiene que ver con la verificación que realizan los pronosticadores respecto de la performance del modelo de modo de identificar errores sistemáticos
- b.2) este punto es algo más complicado ya que es donde intervienen los “modeladores” (los científicos que desarrollan cada una de los componentes de los modelos de PNT), que deben identificar deficiencias para poder mejorar algunas de las componentes del modelo, por ejemplo mejorar la forma en que se “modelan” las nubes.

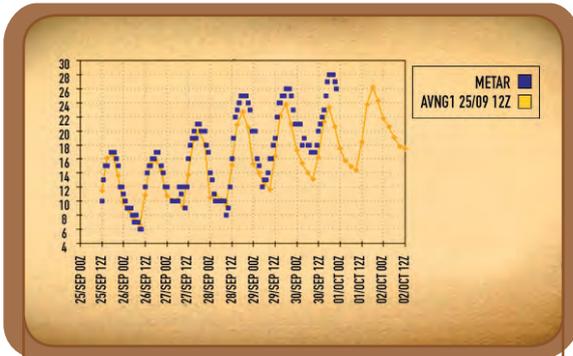


Figura 56. Ejemplo de una verificación automática de los pronósticos de temperatura para un punto cercano a Ezeiza provistos por un modelo de pronóstico numérico (líneas amarillas). Los puntos azules representan el dato observado. Para este caso en particular se observa cómo a medida que avanza el plazo de pronóstico, los errores son mayores. (extraído de la página web de la Universidad de San Pablo, Brasil, http://www.master.iag.usp.br/ind.php?inic=oo&prod=graf_phplot)

Por error sistemático se entiende cuando siempre el error en el pronóstico tiene el mismo signo, como por ejemplo, el pronóstico de temperatura para la ciudad de Córdoba es siempre 2° más fría que el observado). Entonces, si el pronosticador reconoce errores sistemáticos, los puede corregir en el momento de emitir el pronóstico (por ejemplo, debe pronosticar una temperatura 2° más alta para la ciudad de Córdoba).

9.6. Análisis de la información, generación y valor del pronóstico meteorológico

¿Cómo?

Actividad de rol: Generación de cartas con los datos observados, un grupo de pronosticadores, reúne toda la información y los resultados de los modelos de pronóstico numérico, entonces, en base a su experiencia toma decisiones respecto de los eventos a ocurrir en los próximos días. Emisión del pronóstico, alertas y avisos. Generación y presentación de pronósticos elaborados para los diferentes usuarios: actividades al aire libre, agropecuarios, aviadores, incendios, entidades gubernamentales, defensa civil, entre otros. Esta actividad puede realizarse en la oficina central del Servicio Meteorológico Nacional sita en 25 de Mayo y Viamonte, Cap Fed. O por Internet para aquellos que no puedan acercarse a la oficina del servicio meteorológico.

Contenido científico y tecnológico: el experto, junto con sus conocimientos y el aporte de los datos y la información numérica, elabora un diagnóstico y pronóstico del tiempo, del mismo modo que un médico elabora el diagnóstico de una enfermedad y pronostica su evolución.

A partir de los 80', donde la evolución tecnológica dio su gran salto, se fueron incorporando al sistema de pronóstico numerosas actualizaciones. Por Ej., con el aumento y calidad de las observaciones se han mejorado las condiciones iniciales, el avance computacional ha permitido modelos de PNT más sofisticados y, por consiguiente, una mejora en la calidad de sus pronósticos.

A partir de dicha información, sumado a la experiencia del pronosticador, se elaboran los pronósticos para diferente tipo de usuarios.

¿Qué elementos tiene en cuenta un pronosticador al momento de elaborar un pronóstico del tiempo?

- Información sobre las condiciones actuales de la atmósfera (dadas por el conjunto de observaciones que forman parte del Sistema Global de Observaciones)
- Resultados de los PNT

9.6.1. Para los medios de comunicación

Para los medios lo que se difunde es el pronóstico en texto claro: el valor de las temperaturas máximas y mínimas, se estima la velocidad y dirección del viento, se informa sobre la posibilidad de lluvias y sobre la cantidad de nubosidad.



Figura 57. Ejemplo de pronóstico generado para el público

9.6.2. Pronóstico para actividades deportivas

Este tipo de pronóstico, evidentemente, depende de la actividad en particular. Por ejemplo, para en el caso de la actividad náutica en el río, lo fundamental es la dirección y la intensidad del viento durante el tiempo que dure esta actividad. En este caso se necesita la información con la mayor frecuencia posible. Para esto es fundamental la información que se pueda derivar de los PNT, ya que se puede tener pronósticos horarios sobre los cambios pronosticados en el viento, por ejemplo.

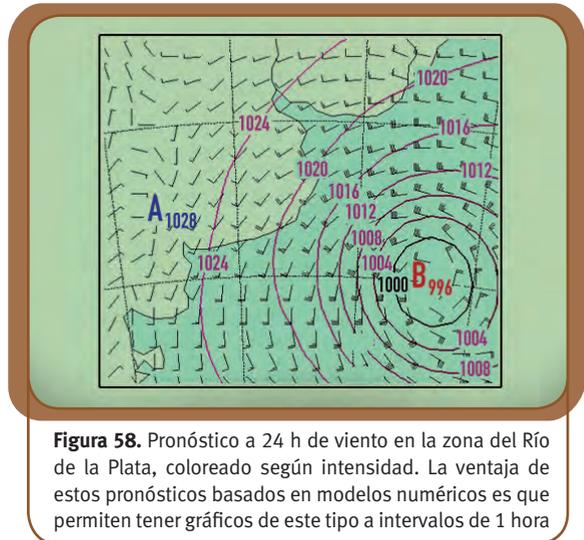


Figura 58. Pronóstico a 24 h de viento en la zona del Río de la Plata, coloreado según intensidad. La ventaja de estos pronósticos basados en modelos numéricos es que permiten tener gráficos de este tipo a intervalos de 1 hora

Tanto en este punto como en el anterior, a los elementos utilizados por el pronosticador al momento de elaborar el pronóstico, se le debe sumar la información proveniente de los radares meteorológicos. Esta información es de suma importancia para el pronóstico a muy corto plazo (para las próximas horas), ya que permite distinguir celdas de tormentas y, eventualmente, estimar la cantidad de precipitación y la caída de granizo.

9.6.3. Pronóstico para la actividad agropecuaria

En este punto también depende del cultivo y de la época del año. Por ejemplo, en la época de cosecha, es importante saber dónde y cuándo lloverá ya que si las lluvias son demasiado intensas, la cosecha no se puede realizar. Por lo tanto, lo que necesita la persona de campo es un pronóstico de lluvia. Otra información importante es la relativa al tema de las heladas, ya que según la etapa de desarrollo del cultivo, éstas lo pueden afectar de manera dramática. En lo

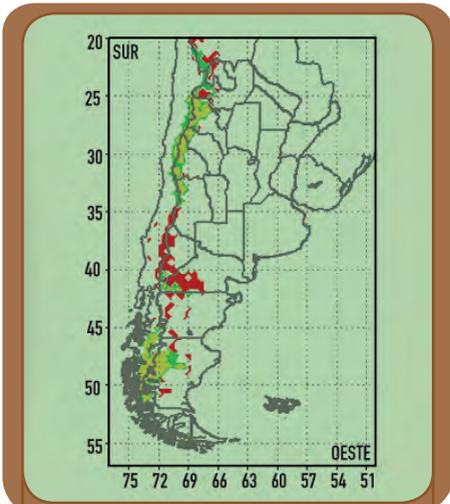


Figura 59. Mapa de riesgo de heladas para las 21 horas de pronóstico

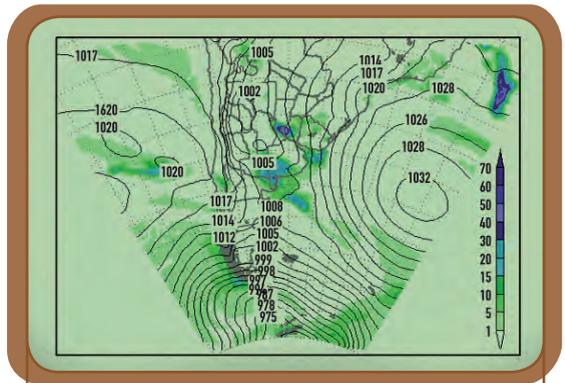


Figura 60. Precipitación acumulada en todo el período de pronóstico (entre las 12 UTC 30 de septiembre y las 12 UTC del 4 de diciembre)



Figura 61. Evolución de la calidad de los pronósticos numéricos y subjetivos a 3 y 5 días

relativo a este tema, el pronóstico es fundamental ya que existen algunos mecanismos de lucha contra la helada, pero la puesta en marcha de cualquiera de ellos implica una inversión importante del agricultor; así es como el buen pronóstico cobra un importante valor.

Podemos concluir, finalmente, que las mejoras en los pronósticos numéricos del tiempo redundan en mejoras en los pronósticos elaborados por los pronosticadores. Para ejemplificar esto, la figura 62 (extraída de Kalnay, 2003) muestra cómo los pronósticos subjetivos mejoran “de la mano” de los modelos de pronóstico numérico.

9.7. Actividades

9.7.1. Actividad 1: Construir un barómetro

Materiales:

- botella de gaseosa mediana,
- agua,
- aceite,
- fuente de cocina.

Procedimiento:

- 1º- llenar parcialmente la botella con agua,
- 2º- colocarla verticalmente y boca abajo en la fuente llena con agua hasta la mitad,
- 3º- poner un poco de aceite sobre el agua de la fuente.

OBSERVAR: Los cambios en la altura del agua de la botella se relacionan con las variaciones de presión

Preguntas:

- ¿Por qué hay que poner aceite sobre el agua de la fuente?
- ¿Qué debemos hacer para asegurarnos que realmente este “aparato” funcione como un barómetro?

Escribir: Una conclusión sobre lo observado

Para evitar la evaporación del agua
Debemos asegurarnos que la temperatura del aire se mantenga constante ya que varían las variaciones de temperatura producen variaciones de presión.

Respuestas:

9.7.2. Actividad 2: Dormir como un faquir

Materiales:

- una madera de 50 cm x 25cm,
- 25 clavos,
- un rectángulo de plastilina o masa del mismo tamaño que la madera y de 3 cm de espesor

Procedimiento:

- 1º- clavar los clavos en la madera separados aproximadamente 1 cm,
- 2º- apoyar el cuerpo de plastilina sobre la madera con los clavos.

Pregunta:

1. ¿Por qué no lo traspasan los clavos?
2. ¿Qué piensan ustedes que ocurriría si solamente se apoya sobre 4 clavos. Los clavos se hundirían más en la plastilina o no se observarían cambios?
3. ¿Por qué puede dormir un faquir sobre una cama de clavos?

Escribir: Un ensayo contando tu parecer

1. Porque la presión es la fuerza ejercida sobre la superficie, como el área con clavos es grande, la fuerza ejercida por la plastilina se distribuye sobre una gran superficie.
2. Si apoyamos la plastilina sobre 4 clavos la presión sería muy grande y los clavos se hundirían, o al menos la pincharán más profundamente.
3. Por la misma razón.

Respuesta:

9.7.3. Actividad 3: Responder a las siguientes preguntas asociadas al instrumental de temperatura, humedad y viento. Marcar con X

1. ¿Qué instrumento mide sólo velocidad del viento?

- a. Anemómetro
- b. Velea
- c. Radiosondeo
- d. Manga de viento

Respuesta: a

2. ¿Cuál de los siguientes instrumentos NO se usa para obtener información de viento?

- a. Satélites
- b. Rosa de los vientos
- c. Globo piloto
- d. Radar

Respuesta: b

3. ¿Se puede medir la temperatura máxima con un termómetro de mínima?



Respuesta: Si, se puede pero deberíamos estar mirando constantemente dicho termómetro ya que no queda marcada.

4. ¿Cuál de los siguientes instrumentos corresponde a un termómetro de líquido en vidrio?

- a. Radiómetro
- b. Termómetro de resistencia eléctrica
- c. Termógrafo
- d. Termómetro de mínima

Respuesta: d

5. ¿Cuándo es mejor momento para batir el termómetro de mínima a fin de comenzar un nuevo proceso de lectura?

- a. Justo después de leer la temperatura mínima
- b. Justo después de leer la temperatura máxima
- c. Al mediodía
- d. Después de la salida del sol

Respuesta: b

6. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones NO es correcta?

- a. La longitud de cabello humano cambia de acuerdo con los cambios de la humedad relativa,
- b. La humedad relativa se mide en forma indirecta,
- c. Al evaporarse el agua de la muselina del termómetro de bulbo húmedo toma calor del bulbo y desdican la temperatura,
- d. En un día muy caluroso y con baja humedad relativa, no puede evaporar la transpiración de nuestro cuerpo y, entonces, no nos refrescamos.

Respuesta: d

9.7.2. Actividad 4: Construir un pluviómetro

Materiales:

- dos vasos plásticos iguales que encastran uno sobre otro,
- un embudo que quepa en el vaso seleccionado,
- un trozo de maguera,
- jarra graduada.

Procedimiento:

- 1º- Perforar el fondo de uno de los vasos,



- 2°- colocar la manguera en el pico del embudo,
- 3°- insertar el embudo en el vaso con el orificio,
- 4°- calzar el vaso sin orificio debajo del vaso perforado.

Calibración del pluviómetro

Un milímetro de precipitación equivale a una altura de 1 mm de precipitación en un metro cuadrado. Esta cantidad de agua equivale a un litro de agua. Un pluviómetro consta de un recipiente de colección sobre el que está colocado un embudo. Para calibrar el instrumento es necesario medir la superficie de la boca del embudo y considerar que:

$$\text{COEFICIENTE} = 0,1 \text{ cm} * A$$

donde A es el valor de la superficie del embudo.
 Por lo tanto, la precipitación obtenida es en mm
 PP = valor medido en la jarra en cm^3 / COEFICIENTE

Instalación del pluviómetro

Colocar el instrumento bien atado sobre un poste o tarima, a aproximadamente 1,5 m de altura, en una zona libre de obstáculos y paredes cercanas (por ejemplo en el medio del patio, cerca de una cancha de fútbol). Atar o fijar el instrumento a la tarima o poste a fin de que no se vuele con el viento.

Realizar una observación diaria a las 9 de la mañana. Volcar el agua contenida en el pluviómetro en la jarra graduada, transformar los valores en cm^3 a mm de precipitación y comparar el valor obtenido con el valor de la estación meteorológica más cercana (www.smn.gov.ar)

Escribir una conclusión

9.7.5. Actividad 5: Responder a las siguientes preguntas asociadas a los satélites meteorológicos y radares

Elija la respuesta correcta

1. Los radares meteorológicos proveen información de la precipitación presente en las nubes dado que miden:
 - a. energía emitida por los elementos que forman a la nube,
 - b. energía reflejada hacia el transmisor,
 - c. tasa de energía solar dispersada,
 - d. Tasa de energía solar reflejada por la nube.

Respuesta: b



2. Los satélites meteorológicos pueden:

- a. monitorear la cantidad de nieve,
- b. monitorear las nubes,
- c. monitorear todo lo que se encuentra debajo.

Respuesta: b

3. Los satélites meteorológicos miden en su plataforma la:

- a. energía electromagnética emitida y reflejada por los cuerpos debajo,
- b. energía electromagnética dispersada por los cuerpos debajo,
- c. energía electromagnética emitida por los cuerpos debajo.

Respuesta: a

4. Los satélites de órbita polar:

- a. que observan a la Tierra una o dos veces al día desde una altura de 850 km,
- b. se localizan sobre el polo constantemente,
- c. pasan por el polo una vez al día.

Respuesta: a

5. Los satélites de órbita geoestacionaria:

- a. observan a la Tierra desde una altura de 850 km,
- b. observan a la Tierra desde un punto fijo sobre el Ecuador,
- c. observan un punto en la Tierra una vez al día.

Respuesta: b

9.7.6. Actividad 6: Responder a las siguientes preguntas asociadas al pronóstico del tiempo

6.1 Los modelos atmosféricos:

- a. muestran mediante una secuencia de fotos el desarrollo de un sistema de tormentas,
- b. usan ecuaciones matemáticas para describir el comportamiento de la atmósfera,
- c. describen las condiciones de la atmósfera sobre un planisferio,
- d. muestran los últimos avances alcanzados en relación a la meteorología.

Respuesta: b

6.2 El análisis es:

- a. una carta que presenta las condiciones de la atmósfera un tiempo determinado, basa-

- da en las observaciones,
- b. una carta pronosticada que muestra el estado de la atmósfera un tiempo futuro,
- c. un método que se utiliza para determinar el grado de acierto de un pronóstico,
- d. un método de pronóstico utilizado para pronósticos a muy largo plazo,
- e. todas la anteriores.

Respuesta: a

6.3 ¿Cuál/es de las siguientes posibilidades continúa siendo un problema en los pronósticos numéricos?

- a. Hay regiones de la tierra donde no hay observaciones o las mismas son muy dispersas.
- b. La distancia entre puntos de retícula en algunos modelos de pronóstico numérico son demasiado grandes como para representar completamente el comportamiento de la atmósfera.
- c. Los modelos de pronóstico numérico asumen condiciones de la atmósfera que no siempre son correctas.
- d. Todas las anteriores.

Respuesta: d

6.4 Un pronóstico que dice que “40% de probabilidad de lluvia para la región X”, quiere decir que:

- a. hay un 40% de probabilidad que no llueva en la región X,
- b. lloverá sobre el 40% de la región X,
- c. lloverá durante el 40% del tiempo en la región X,
- d. hay un 40% de probabilidad que llueva en algún lugar de la región X.

Respuesta: d