

CAPITULO 4. TEMPERATURA.

La temperatura, es la propiedad de los sistemas que determina si están en equilibrio térmico. El concepto de temperatura se deriva de la idea de medir el grado de caliente o frío relativo y de la observación de que las variaciones de calor sobre un cuerpo producen una variación de su temperatura, mientras no se produzca la fusión o ebullición. La sensación de calor o frío al tocar una sustancia depende de su temperatura, de la capacidad de la sustancia para conducir el calor y de otros factores. Cuando se aporta calor a una sustancia, se eleva su temperatura, así los conceptos de temperatura y calor, aunque están relacionados, son diferentes: la temperatura es una propiedad de un cuerpo y el calor es un flujo de energía producido por las diferencias de temperatura.

La temperatura es una de las variables básicas del tiempo y clima. Cuando preguntamos como está el tiempo afuera, casi siempre decimos algo sobre la temperatura, como hace frío o hace calor. De nuestra experiencia diaria, sabemos que la temperatura varía en diferentes escalas de tiempo en un mismo lugar, en periodos estacionales, diarios, horarios, etc., y varía también en el espacio.

En meteorología, la temperatura se registra en las estaciones meteorológicas, de las que existen miles en todo el mundo. En estas estaciones se miden, por ejemplo, datos de temperatura a determinadas horas fijas, valores de temperaturas máximas y mínimas o se toman registros continuos en el tiempo, llamados termogramas. Con estas mediciones se pueden hacer los cálculos estadísticos para descripciones climatológicas generales, tales como:

- temperaturas medias diarias, mensuales, estacionales o anuales,
- valores extremos (máximas y mínimas),
- amplitudes térmicas, que es la diferencia entre el valor máximo y mínimo,
- desviaciones estándar, etc.

Los valores medios de temperatura son útiles para hacer comparaciones diarias, mensuales, o anuales. Es posible oír en los informes del tiempo frases como “marzo fue uno de los meses más cálidos de los últimos 30 años”, o algo por el estilo, resultado que se obtiene de comparar el régimen de temperaturas de un mes determinado, en este caso marzo, con los valores climáticos.

Para analizar la distribución de temperatura sobre grandes áreas, se usan las *isotermas*, que son curvas dibujadas sobre un mapa que unen los puntos de igual temperatura. El cambio de temperatura en una dirección determinada del espacio, se llama *gradiente de temperatura* y se puede obtener del mapa de isotermas. Analizando los gradientes de temperatura en los mapas, se puede deducir que donde las isotermas están más juntas, el cambio de temperatura en la región considerada es grande, es decir el gradiente de temperatura es grande, y donde están más separadas el cambio o gradiente es pequeño.

4.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA TEMPERATURA.

El principal factor que produce cambios de la temperatura del aire sobre el planeta es la variación en el ángulo de incidencia de los rayos solares, que depende de la latitud. Este factor hace, por ejemplo, que las zonas tropicales sean cálidas y que la temperatura disminuya hacia los polos. Pero este no es el único factor, porque si no debiésemos esperar que todos los lugares ubicados en una misma latitud tengan idénticas temperaturas, y claramente este no es el caso. Por ejemplo, Concepción (36.8° S) y Chillán (36.5° S) ubicados aproximadamente en la misma latitud, tienen diferentes distribuciones de temperatura, como se ve en la tabla 4.1, donde se muestran los valores extremos, en grados Celsius, en los meses indicados, con valores de más de 35 años de datos de la estación meteorológica del Departamento de Física de la Atmósfera y del Océano de la Universidad de Concepción. Se observa que las temperaturas mínimas

son mayores en Concepción que en Chillán, pero las máximas son menores en verano y mayores en invierno en Concepción que en Chillán.

Tabla 4.1 Valores extremos de temperatura en Concepción y Chillán.

	Concepción (36.8° S)			Chillán (36.5° S)		
	Mínima	Máxima	Amplitud	Mínima	Máxima	Amplitud
Enero	12.8	23.7	10.9	11.1	29.4	18.3
Julio	6.8	14.1	7.3	4.6	12.0	7.4

Otros factores que influyen en la distribución de temperaturas de algún lugar determinado, y que analizaremos con algo más de detalle, son los siguientes:

1. Calentamiento diferencial de tierras y aguas.
2. Corrientes oceánicas.
3. Altura sobre el nivel del mar.
4. Posición geográfica.
5. Cobertura nubosa y albedo.

4.1.1 Calentamiento diferencial de tierras y aguas.

Ya sabemos que el aire es calentado desde la superficie terrestre. Por lo tanto para entender las variaciones en la temperatura del aire debemos conocer las variaciones en las propiedades del calentamiento de los diferentes tipos de superficie que se exponen al Sol: tierra, agua, bosques, arenas, hielo, etc. Las diferentes superficies absorben y reflejan cantidades diferentes de radiación solar, que a su vez producen diferentes temperaturas en el aire sobre ellas. Pero el mayor contraste se da entre las superficies de tierras y aguas: los suelos sólidos se calientan (enfían) más rápidamente y con temperaturas más altas (bajas) que las aguas, por lo

tanto las variaciones en la temperatura del aire son mayores sobre las superficies de tierras que de aguas.

También hay que considerar que el agua es muy móvil por lo que la temperatura en las superficies de agua aumenta y disminuye mas lentamente que la temperatura de las superficies de suelos. Cuando el agua se calienta, la convección distribuye el calor por el movimiento de grandes masas de agua. Se pueden producir cambios diarios de temperaturas hasta profundidades de 10 metros debajo de la superficie y cambios anuales hasta profundidades entre 200 - 600 metros, en los océanos y grandes lagos. Como resultado una capa de agua relativamente gruesa se calienta (enfía) moderadamente durante el verano (invierno).

Por el contrario, el calor no penetra profundamente dentro del suelo y rocas, sino que se acumula cerca de la superficie, además que aquí no se produce convección sino que el calor se transporta por conducción. En consecuencia, en el suelo los cambios diarios de temperaturas se producen solo hasta algunos 20 centímetros de profundidad, aunque para algún tipo de suelo puede llegar hasta profundidades de 1 metro. Para las variaciones anuales de temperatura se pueden alcanzar hasta 10 metros de profundidad. Como resultado una capa de suelo muy delgado se calienta (enfía), pero con temperaturas muy altas (bajas) durante el verano o el día (invierno o noche). Otros factores que contribuyen al calentamiento diferencial de tierras y aguas son los siguientes.

- a) Las aguas son transparentes, por lo tanto la radiación solar puede penetrar a varios metros de profundidad. En cambio los suelos sólidos son opacos, por lo que el calor es absorbido solo por la superficie y se calientan o enfrían mucho más que las aguas.
- b) La evaporación (que es un proceso de enfriamiento) desde las superficies de aguas es, obviamente, mayor que desde suelos, por lo tanto las superficies de agua se calientan menos que las de suelo sólido.

- c) El calor específico (que se define como el calor necesario para elevar la temperatura de un gramo de sustancia en 1°C , entre 14.5 y 15.5°C) es casi tres veces mayor para el agua que para tierras ($c_{\text{agua}} = 1 \text{ cal/g K}$, $c_{\text{agua}} = 3c_{\text{tierra}}$). Esto significa que se requiere mucho más calor para elevar la temperatura del agua, que de una misma cantidad de tierra, es decir una misma cantidad de radiación solar eleva mas la temperatura de los suelos que de las aguas.

Para ver las diferencias entre un lugar con influencia oceánica, de otro solo bajo influencia continental, se pueden comparar los datos de temperaturas extremas de Concepción y Chillán, mostrados en la tabla anterior, y en la figura 4.13 de temperaturas medias mensuales al final del capítulo. Concepción, que se define como una estación costera por estar cerca del mar, tiene una amplitud térmica anual menor que en Chillán, que se define como una estación continental, por estar en el interior del continente. La influencia marítima regula el clima de las zonas costeras, como en la ciudad de Tomé, en la octava región de Chile, (figura 4.1).

Figura 4.1 Clima costero de Tomé.



En una escala global, el hemisferio norte esta cubierto en un 61% por agua y un 39% por tierras, en cambio en el hemisferio sur el 81% es agua y solo el 19% es tierra. Además entre 45° N y 80° N hay más continentes que océanos, mientras que entre 40° S y 65° S casi no hay tierra. La influencia de los océanos tiene incidencia en las variaciones de temperaturas del hemisferio norte respecto del hemisferio sur, como se puede ver en la tabla 4.2. Los valores corresponden a las variaciones de temperatura media anual (diferencia entre la temperatura de verano e invierno) en las diferentes latitudes que se indican. Observar que en el hemisferio sur, dominado por océanos, las variaciones anuales de temperaturas son mucho menores que en el hemisferio norte, por lo que los contrastes de temperatura entre verano e invierno son menores que en el hemisferio norte.

Tabla 4.2 Variación anual de temperatura en ambos hemisferios.

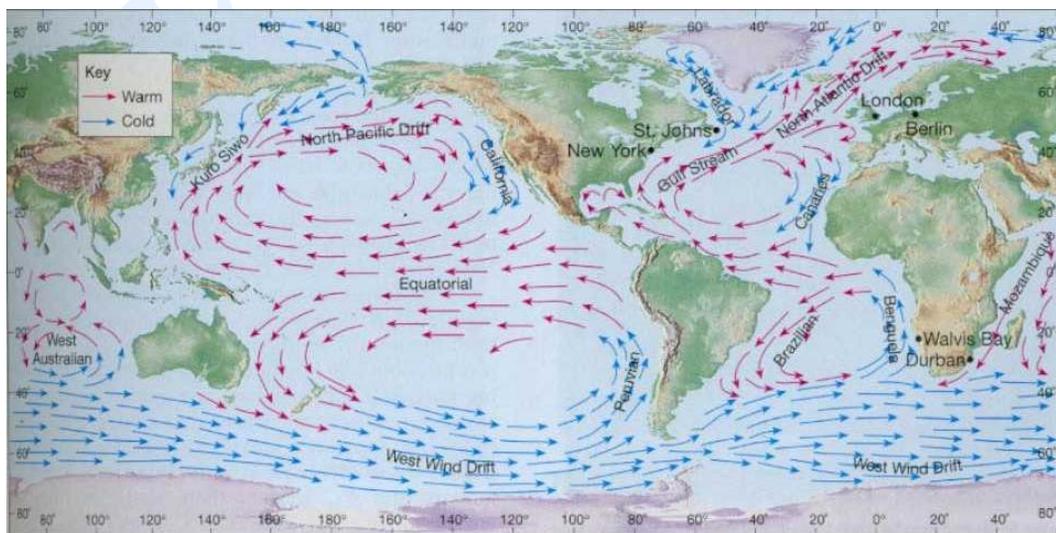
Variación anual de temperatura °C		
Latitud	HS	HN
0	0	0
15	4	3
30	7	13
45	6	23
60	11	30
75	26	32
90	31	40

4.1.2 Corrientes oceánicas.

Todos han oído hablar de la corriente de Humboldt, que fluye sobre el Pacífico sur oriental, desde el sur hacia el norte, frente a las costas de Chile. Un esquema de las grandes corrientes oceánicas se ve en la figura 4.2. Las corrientes superficiales son el símil oceánico de los vientos. En

las superficies de aguas, se transfiere energía desde los movimientos del aire al agua por fricción. Por este efecto, los movimientos del aire inducen movimientos en la superficie de los océanos, llamados corrientes. Entonces las corrientes están estrechamente relacionadas con la circulación de la atmósfera, la cual a su vez regula el desigual calentamiento sobre la tierra.

Figura 4.2 Corrientes oceánicas de escala global.



Las corrientes oceánicas tienen un importante efecto sobre el clima. A nivel global, la energía solar que llega es igual a la que pierde la superficie, pero esto no es así para latitudes individuales, ya que hay una ganancia de energía en latitudes tropicales y pérdida en latitudes altas. Así que los vientos y corrientes oceánicas tienden a igualar el desbalance de calor, transportándolo desde las zonas de exceso a las de déficit. La corriente de Humboldt por ejemplo, transporta aire fresco desde latitudes subpolares hacia las cálidas latitudes más bajas, regulando el clima de la zona norte de Chile, moderando los valores de temperatura en el verano.

4.1.3 Altura sobre el nivel del mar.

La temperatura disminuye 6.5°C/Km en la troposfera, por lo tanto debería esperarse que los lugares más altos tengan menores temperaturas. Pero la disminución no es en esa cantidad, ya que la superficie también se calienta, haciendo que en las tierras altas la disminución de temperatura sea menor. Además, con la altura también disminuye la presión y la densidad del aire, haciendo que las capas más altas de la troposfera tengan una menor absorción y reflexión de la radiación solar. Esto aumenta la intensidad de la radiación solar que llega a las tierras altas, produciendo un rápido y más intenso calentamiento durante el día, pero en la noche la menor cantidad de partículas atmosféricas hacen que la radiación terrestre escape al espacio con más facilidad, produciendo una mayor disminución de temperatura durante la noche. Por lo tanto los lugares más altos generalmente tienen una mayor amplitud diaria de temperatura que las tierras más bajas. Este contraste es notorio en ciudades como Calama ubicada a 2300 metros sobre el nivel del mar en la precordillera de Los Andes, comparada con Antofagasta ubicada en la costa del Pacífico, aproximadamente a la misma latitud (23°S) del norte de Chile.

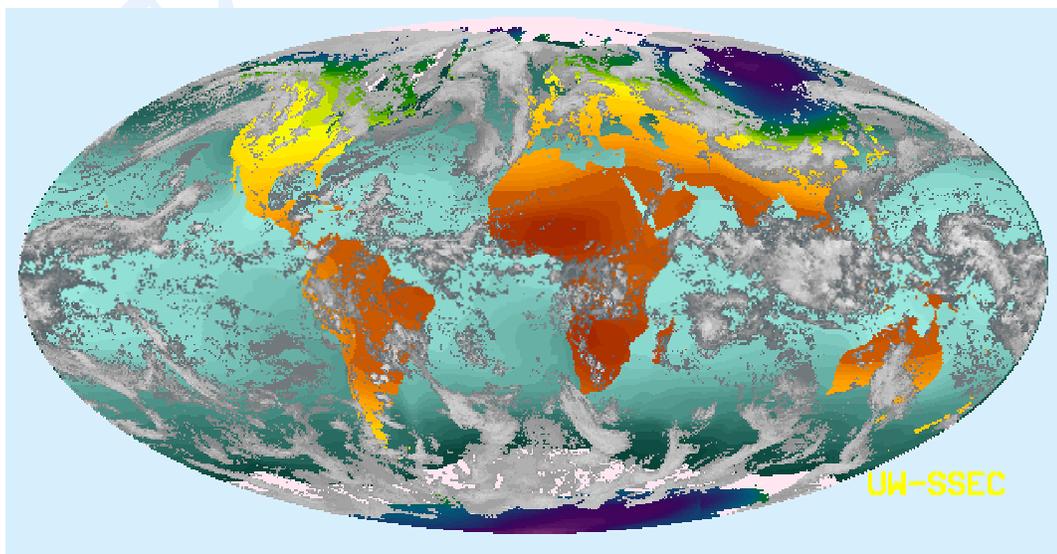
4.1.4 Ubicación geográfica.

Las regiones costeras sienten el efecto moderador del mar: cuando el viento sopla desde el mar hacia la costa, las regiones costeras tienen regímenes de temperatura con amplitudes diarias y anuales menores que las regiones continentales a la misma latitud. Por ejemplo en la costa de la zona central de Chile, por efecto del viento desde el mar hacia el continente, se regulan las temperaturas del aire tal que se tienen veranos más frescos e inviernos más cálidos que en regiones interiores. Si el viento sopla desde el continente hacia el mar en zonas costeras el efecto no es notorio ya que el aire se mueve sobre una superficie común, por ejemplo la costa de Argentina.

4.1.5 Cubierta de nubes y albedo.

Las observaciones de satélites revelan que casi la mitad del planeta está cubierto de nubes en cualquier instante (figura 4.3), entonces la cobertura nubosa tiene un efecto sobre la distribución de temperatura de un lugar.

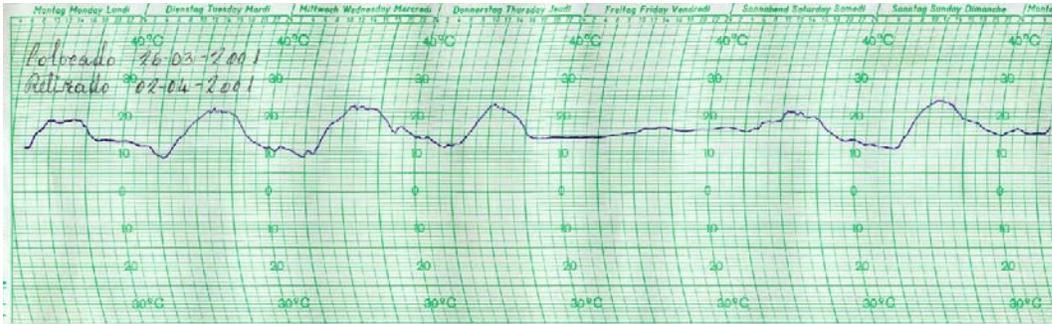
Figura 4.3 Imagen global de satélite.



Las nubes pueden tener un alto albedo y reflejar una gran cantidad de radiación solar incidente, esto reduce la cantidad de radiación solar que llega a la superficie, disminuyendo la temperatura de las capas bajas durante el día. En la noche el efecto es opuesto, porque las nubes absorben la radiación terrestre y la reemiten a la superficie, manteniendo una cantidad de calor cerca de superficie, aumentando la temperatura respecto a noches despejadas. El efecto de la cubierta de nubes es reducir la amplitud diaria de temperatura de un lugar, disminuyendo los máximos en el día y aumentando los mínimos en la noche, como se observa en la figura 4.4, correspondiente a un termograma semanal de Concepción, y en la figura

4.14 de temperatura horaria para el solsticio de invierno del año 2000 en Concepción, mostrada al final del capítulo.

Figura 4.4 Termograma semanal de Concepción.



4.2 DISTRIBUCIÓN MUNDIAL DE TEMPERATURA.

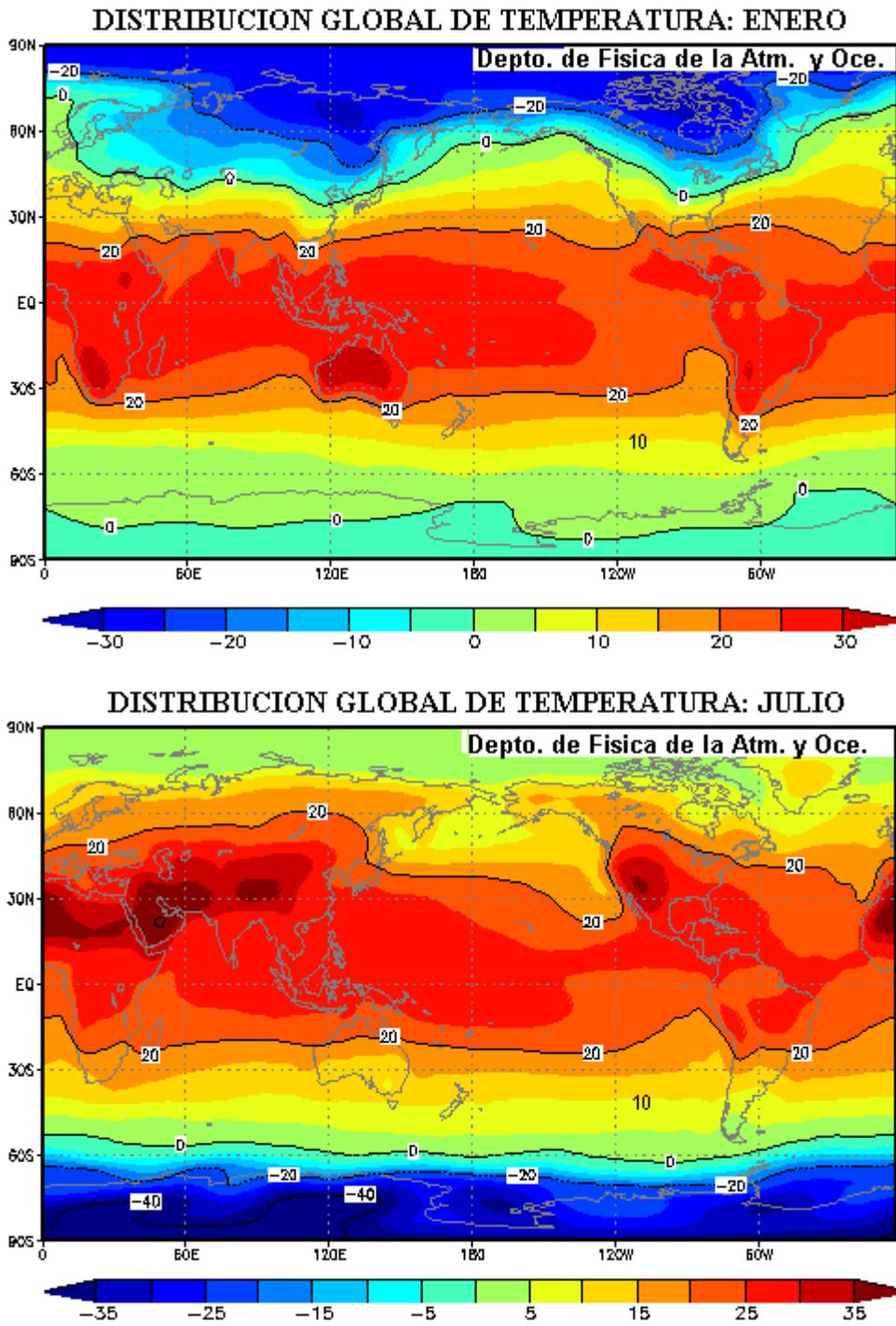
Analizaremos la distribución global de temperatura sobre mapas de isotermas estacionales, tomando los meses de Enero y Julio, representativos de las estaciones de verano e invierno del hemisferio sur, que se muestran en las figuras 4.5 superior e inferior, respectivamente. Los gráficos fueron realizados en el Departamento de Física de la Atmósfera y del Océano, usando los 51 años de datos de reanálisis. En estos mapas se puede ver el efecto de los factores que controlan la temperatura, en particular la variación latitudinal, la distribución de tierras - océanos y las corrientes oceánicas. Los valores de temperatura han sido reducidos al nivel del mar para eliminar alteraciones producidas por la altura. De los mapas se observan las siguientes características generales:

- ♦ La orientación predominante de las isotermas es en sentido zonal, disminuyendo sus valores desde el ecuador hacia los polos. Esto ilustra uno de los aspectos fundamentales de la distribución mundial de temperatura: que la radiación solar que llega a la superficie de la Tierra es una función de la latitud.

- ◆ Existe una variación estacional producida por el movimiento de los rayos verticales del Sol durante el año.
- ◆ Se nota el efecto continental, con los continentes más cálidos (fríos) que los océanos en verano (invierno).
- ◆ Se produce una mayor variación de las isotermas sobre los continentes que en los océanos, ya que en los océanos cambia menos la temperatura durante el año.
- ◆ Las isotermas del hemisferio sur son mucho más regulares, especialmente en las grandes áreas oceánicas, que las del hemisferio norte.
- ◆ El verano (invierno) del hemisferio sur es más fresco (templado) que el del hemisferio norte, a pesar de que la Tierra está más cerca (lejos) del Sol en enero (julio). Esto es porque el hemisferio sur es mucho más oceánico que el hemisferio norte.
- ◆ Las isotermas revelan la presencia de las corrientes oceánicas. Las corrientes frías (cálidas) desvían a las isotermas hacia el ecuador (polos), como se observa, por ejemplo, frente a las costas de Chile.
- ◆ La amplitud de temperatura anual aumenta hacia los polos, la variación anual es mucho mayor en los continentes que en los océanos.
- ◆ Los gradientes de temperatura son mayores entre los océanos y los continentes, o cerca de zonas costeras de los hemisferios.

La distribución de temperatura en regiones determinadas más pequeñas sobre el planeta es en general diferente, ya que está afectada por los otros factores locales, como la ubicación geográfica, altura sobre el nivel del mar, tipo de suelo, etc.

Figura 4.5 Verano HS, superior; invierno HS, inferior.



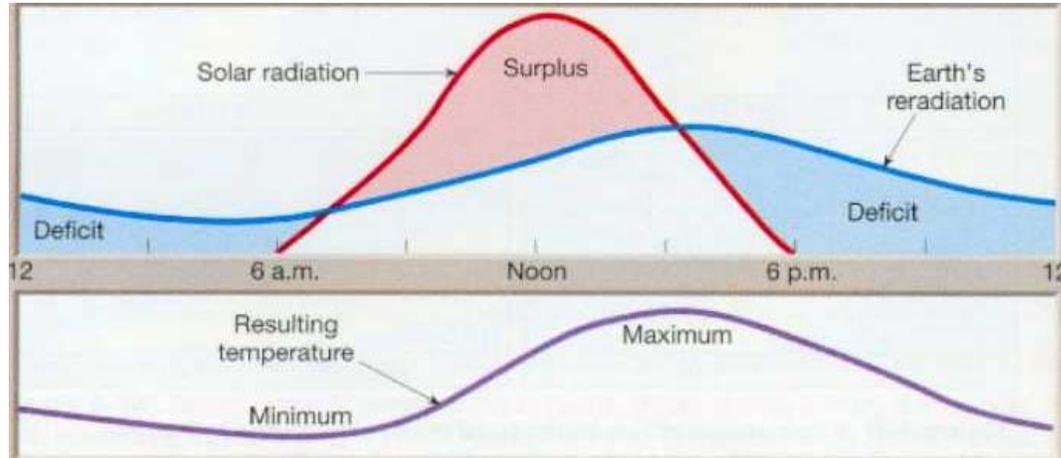
4.3 CICLOS DE TEMPERATURA DEL AIRE.

4.3.1 Marcha diaria de temperatura.

Durante un día la temperatura cambia desde valores bajos a altos por efecto de la rotación de la Tierra. La inclinación de los rayos solares aumenta desde el amanecer aumentando también la intensidad de la luz solar, alcanzando un máximo pasado el mediodía y luego disminuye gradualmente a cero hacia la noche, produciendo las variaciones diarias de temperatura. Este ciclo se llama marcha diaria de temperatura.

En la figura 4.6 se muestran las variaciones diarias en la radiación solar y la radiación terrestre y la curva de temperatura típica que resulta para una estación de latitudes medias. Se observa que la curva de radiación solar es simétrica respecto al mediodía. De la curva de radiación terrestre se observa que durante la noche la superficie de la Tierra y su atmósfera pierden energía, produciéndose un déficit de calor que genera las mínimas temperaturas cerca de la hora amanecer. Cuando sale el Sol, comienza a entregar calor al suelo, el cual a su vez calienta el aire. La máxima temperatura no coincide con el máximo de radiación solar, sino que se produce aproximadamente tres horas después, porque aunque al suelo le empiece a llegar menos energía del Sol, la tierra se mantiene caliente hasta ese momento y el aire se calienta desde tierra, no por el sol. Cuando empieza el déficit de radiación, es decir la Tierra empieza a perder mas energía que la que recibe del Sol, la temperatura comienza a descender. Con cielos despejados, la temperatura mínima se produce al amanecer, cerca de la hora de salida del Sol. Luego que sale el Sol, la temperatura comienza otra vez a aumentar, repitiéndose el ciclo diario. Es recomendable comparar esta figura esquemática con los valores reales de temperaturas de Concepción, que se muestran en el termograma semanal de la figura 4.4.

Figura 4.6 Variación diaria de la radiación solar, radiación terrestre y marcha diaria de temperatura.



4.3.2 Magnitud de la variación diaria de temperatura.

La magnitud de los cambios diarios de temperatura es variable y está influenciada por la ubicación de la estación o por condiciones locales del tiempo o ambas. Algunos ejemplos comunes son:

1. Las variaciones del ángulo del sol son relativamente más grandes durante el día en latitudes medias y bajas que en altas latitudes, lo que produce mayores variaciones de temperaturas diarias en latitudes medias y bajas. Por ejemplo, en la tabla 4.3 del final del capítulo, comparar la amplitud térmica de Copiapó con la de Punta Arenas.
2. Durante el día la temperatura del océano cambia menos 1°C , como resultado el aire sobre el mar cambia levemente su temperatura. Esto produce menor variación diaria de temperatura en costa desde donde sopla el viento que en el interior de los continentes. Por ejemplo, en la tabla 4.3 del final del capítulo, comparar la amplitud térmica de Valparaíso con la de Santiago.

3. Las nubes regulan el cambio diario de temperatura disminuyendo la amplitud térmica respecto a días despejados, ya que durante el día reducen el calentamiento al no dejar pasar la radiación solar y en la noche evitan la pérdida de radiación desde el suelo y el aire y la reemiten hacia la superficie, reduciendo el grado de enfriamiento.

4.3.3 Marcha anual de temperatura.

Es similar a la marcha diaria. Cada año los meses más cálidos y más fríos no coinciden con los períodos de máxima y mínima radiación solar, que se produce en los solsticios de verano e invierno, sino que aproximadamente un mes y medio después, a principios de febrero y de agosto en el hemisferio sur. Esto es por el desbalance entre la radiación solar y la terrestre, ya que en verano (invierno) la máxima radiación solar se produce en el solsticio, pero la Tierra continua calentándose (enfriándose) después de esta fecha hasta un valor máximo (mínimo).

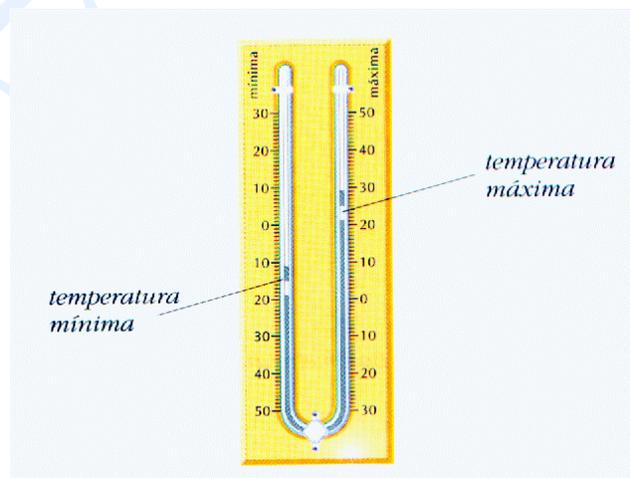
4.4 MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA.

Los cambios de temperatura se miden a partir de los cambios en las otras propiedades de una sustancia, con un instrumento llamado termómetro, de los cuales existen varios tipos. El termómetro mecánico se basa en la propiedad de dilatación con el calor o contracción con el frío de alguna sustancia. Por ejemplo, el termómetro de mercurio convencional mide la dilatación de una columna de mercurio en un capilar de vidrio, ya que el cambio de longitud de la columna está relacionado con el cambio de temperatura. Se distinguen los siguientes medidores de temperatura:

- ◆ Termómetro de mercurio para medir temperaturas en el rango que se encuentran comúnmente en la atmósfera.
- ◆ Termómetro de máxima para medir la máxima diaria, es de mercurio. Los termómetros que miden la temperatura del cuerpo son de máxima.

- ◆ Termómetro de mínima para medir la mínima diaria. Como el mercurio se congela a -39°C , para asegurarse de medir temperaturas menores que estas, se usan los termómetros de alcohol, que se congela a -130°C . Estos termómetros muestran en la figura 4.7 y en el interior de la garita de instrumentos de la figura 4.10.

Figura 4.7 Termómetros de mínima y de máxima.

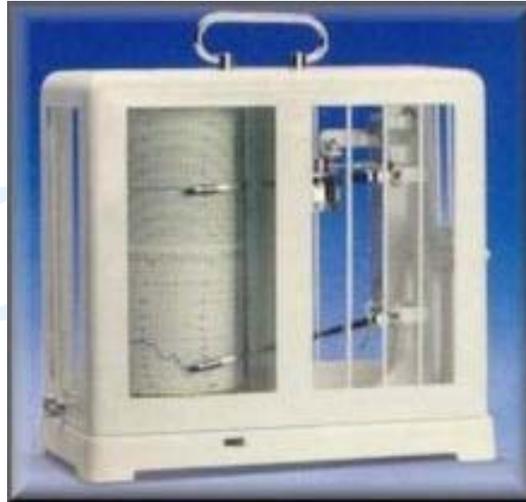


- ◆ Termógrafo: instrumento que registra en forma continua la temperatura, se muestra en la figura 4.8; el registro se llama termograma. La medición de temperatura se realiza a través de un elemento sensible bimetalico que está conectado a un sistema de transmisión y amplificación el cual posee un brazo inscriptor con una plumón de tinta en su extremo registrando los cambios de temperatura sobre el termograma. Un ejemplo de este registro, se muestra en la figura 4.4.

Se sabe también que si se suministra calor a un gas ideal contenido en un recipiente de volumen constante, la presión aumenta, y el cambio de temperatura puede determinarse a partir del cambio en la presión. También existen termómetros eléctricos, basados en cambios del flujo de co-

riente con las variaciones de temperatura, llamados termistores. Estos se usan comúnmente en los radiosondas, que se lanzan con globos para realizar mediciones de temperatura en la vertical.

Figura 4.8 Termógrafo.



Estos instrumentos deben ser ubicados en lugares que aseguren una correcta medición de la temperatura, por ejemplo no deben estar expuestos directamente al Sol, debido a que el aparato absorbe mas eficientemente la radiación solar que el aire. En una estación meteorológica, los termómetros se ubican en la *garita* de instrumentos (figura 4.9), que es una caseta pintada de blanco, con paredes de celosías a manera de persianas, que permiten la circulación libre del aire y protege los instrumentos del Sol, la lluvia, el viento, etc; el fondo de la caseta esta formado por un doble piso de madera. Para evitar el calor directo desde la tierra, se ubica a 1,5 m del suelo y para eliminar cualquier influencia que pudiera alterar las mediciones, se instala en lugares lo mas libre posible de irregularidades topográficas, bosques, construcciones, etc. y pensando que estas condiciones se van a mantener a lo largo del tiempo en el futuro, de modo que las mediciones sean representativas del lugar y no se alteren por los

cambios del entorno. La ubicación de la garita es estándar en todo el planeta, en el hemisferio sur la puerta debe abrirse hacia el sur. En la figura 4.10 se ven los instrumentos en el interior de la garita.

Figura 4.9 Garita de instrumentos meteorológicos



Figura 4.10 Interior de la garita meteorológica.



4.4.1 Escalas de temperatura.

Aunque, si se procede con cuidado, es posible comparar las temperaturas relativas de dos sustancias mediante el tacto, es imposible evaluar la magnitud absoluta de la temperatura a partir de reacciones subjetivas. Cuando se aporta calor a una sustancia, no sólo se eleva su temperatura, con lo que proporciona una mayor sensación de calor, sino que se producen alteraciones en varias propiedades físicas que se pueden medir con precisión. Al variar la temperatura, las sustancias se dilatan o se contraen, su resistencia eléctrica cambia y, en el caso de un gas, su presión varía. La variación de alguna de estas propiedades suele servir como base para una escala numérica precisa de temperaturas.

En la actualidad se emplean diferentes escalas de temperatura, entre ellas están la escala Celsius, la escala Fahrenheit, la escala Kelvin, la escala Rankine o termodinámica internacional. En la escala Celsius, también conocida como escala centígrada, el punto de congelación del agua equivale a 0°C y su punto de ebullición a 100°C , esta escala se utiliza en todo el mundo. La escala Fahrenheit se emplea en los países anglosajones para medidas no científicas y en ella el punto de congelación del agua se define como 32°F y su punto de ebullición como 212°F . En la escala Kelvin, la escala científica de temperaturas, el cero se define como el cero absoluto de temperatura, es decir, $-273,16^{\circ}\text{C}$. La magnitud de su unidad, llamada Kelvin, K, se define como igual a un grado Celsius. Otra escala que emplea el cero absoluto como punto más bajo es la escala Rankine, en la que cada grado de temperatura equivale a un grado en la escala Fahrenheit. En la escala Rankine, el punto de congelación del agua equivale a 492°R y su punto de ebullición a 672°R . Las relaciones entre estas escalas, excluida la Rankine, son las siguientes:

$$T_F = 1.8T_C + 32, \quad T_C = (T_F - 32)/1.8$$

$$T_K = T_C + 273.16, \quad T_C = T_K - 273.16$$

En 1933, científicos de treinta y una naciones adoptaron una nueva escala internacional de temperaturas, con puntos fijos de temperatura adicionales basados en la escala Kelvin y en principios termodinámicos. La escala internacional emplea como patrón un termómetro de resistencia de platino para temperaturas entre -190°C y 660°C . Desde los 660°C hasta el punto de fusión del oro (1.064°C) se emplea un termopar patrón: los termopares son dispositivos que miden la temperatura a partir de la tensión producida entre dos alambres de metales diferentes. Más allá del punto de fusión del oro las temperaturas se miden mediante el llamado pirómetro óptico, que se basa en la intensidad de la luz de una frecuencia determinada que emite un cuerpo caliente.

En 1954, un acuerdo internacional adoptó el punto triple del agua, es decir, el punto en que las tres fases del agua (vapor, líquido y sólido) están en equilibrio, como referencia para la temperatura de $273,16\text{K}$. El punto triple se puede determinar con mayor precisión que el punto de congelación, por lo que supone un punto fijo más satisfactorio para la escala termodinámica. En criogenia, o investigación de bajas temperaturas, se han obtenido temperaturas de tan sólo $0,00001\text{K}$ mediante la desmagnetización de sustancias paramagnéticas. En las explosiones nucleares se han alcanzado momentáneamente temperaturas evaluadas en más de 100 millones de Kelvin.

4.5 DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA EN CHILE.

En la figura 4.11, se muestra la marcha anual de temperatura máxima (curva superior) y mínima (curva inferior) para distintos lugares de Chile. De los gráficos, se puede observar el efecto de los diferentes factores que controlan la distribución de temperatura de un lugar, y en general los factores que regulan el clima de Chile. Estos factores son la altura sobre el nivel del mar impuesta por la cordillera de los Andes, cuyo efecto se nota claramente en Calama, que muestra grandes amplitudes mensuales de temperatura, y que se clasifica como una estación de altura. El efecto

oceánico, que se puede ver en Isla de Pascua, con una pequeña amplitud de temperatura, clasificada como una estación oceánica. El efecto regulador la corriente fría de Humboldt, se nota en Valparaíso, con temperaturas máximas menores que en Santiago y temperaturas mínimas mayores que allí, clasificada como una estación costera. El efecto latitudinal, se puede ver al comparar la estación de Arica en el norte con la de Punta Arenas en el sur, ambas estaciones costeras. El clima de Chile es además regulado por el anticiclón subtropical del Pacífico sur y el cinturón de bajas presiones subpolares (como se verá en el Capítulo 8), cuyo efecto se nota principalmente en las estaciones de la zona central de Chile, por ejemplo en Santiago, clasificada como una estación continental, donde la amplitud térmica es mayor que en una estación costera.

4.5.1 Distribución vertical de temperatura en Chile.

En la figura 4.12 se muestra la distribución vertical de la temperatura media mensual, a lo largo de un corte meridional norte – sur que pasa cerca de la costa de Chile continental, para los meses de enero y julio. Los datos usados son los valores medios mensuales de 50 años de reanálisis, correspondientes a una grilla global de 2.5x2.5 grados de latitud por longitud, de los cuales se ha seleccionado los puntos entre el ecuador y el polo sur, en la longitud 72.5° W, aproximadamente sobre la costa de Chile. Los gráficos fueron realizados en el Departamento de Física de la Atmósfera y del Océano de la Universidad de Concepción. Las isotermas se dibujan cada 10° C, en el eje vertical se representa la altura en valores de presión, en hPa, y en el eje horizontal la latitud. Se observa la disminución de temperatura con la altura y es clara la diferencia entre el régimen térmico de verano e invierno; también es posible observar la altura de la tropopausa para diferentes latitudes.

Cap. 4 Temperatura

Figura 4.11 Temperaturas extremas en estaciones chilenas.

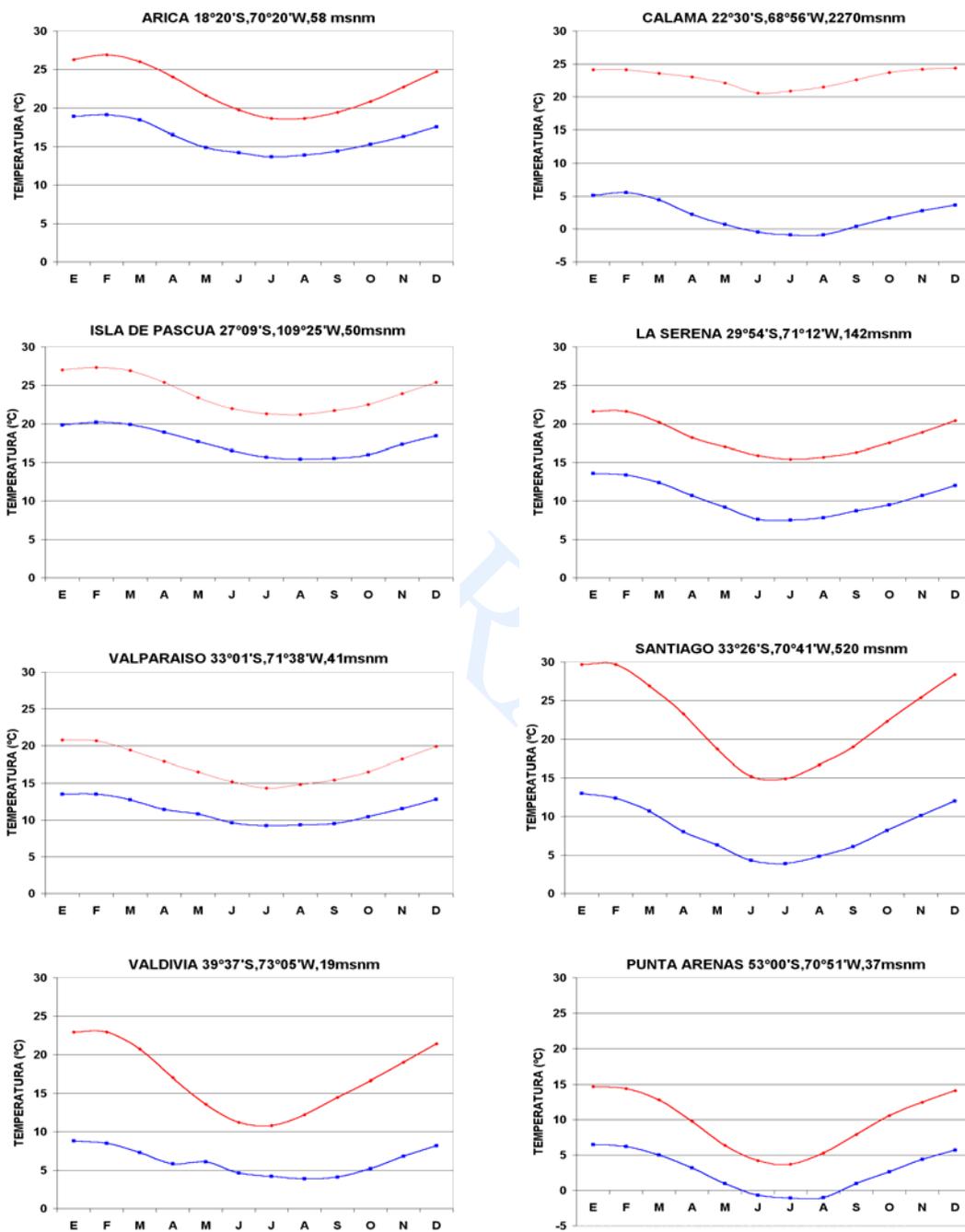
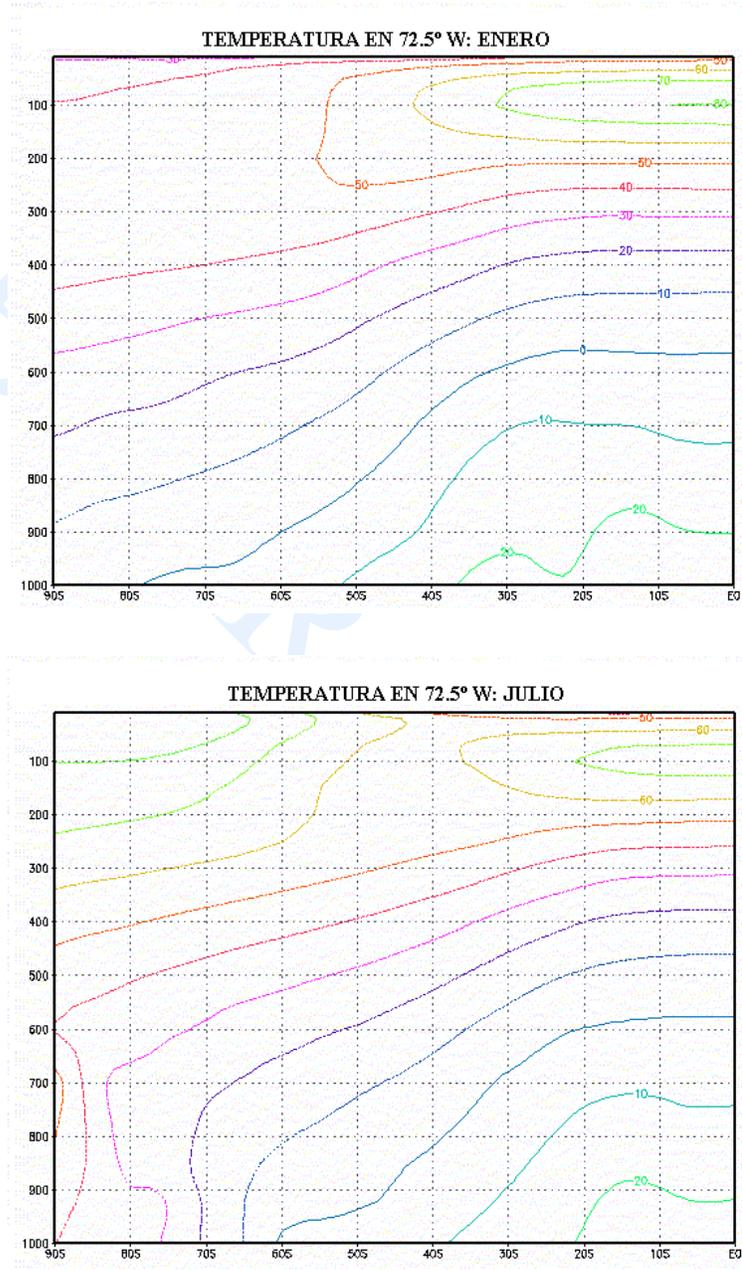


Figura 4.12 Distribución vertical de temperatura en 72.5° W en el HS.

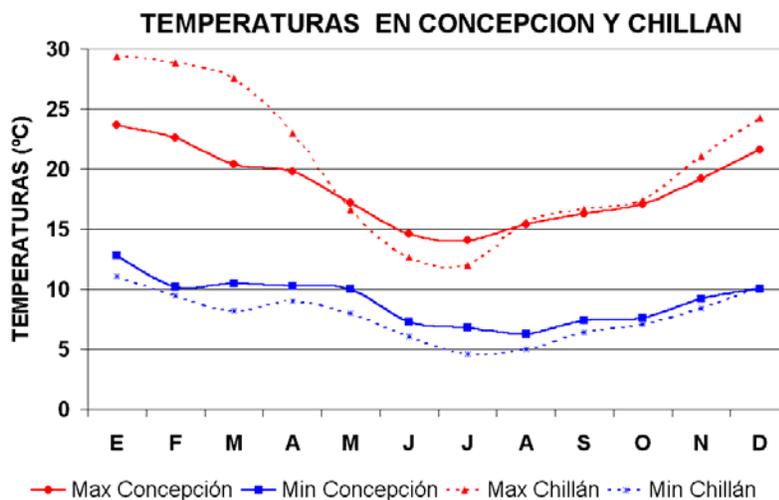


4.6 TEMPERATURAS EN CONCEPCION.

4.6.1 Marcha anual.

Para observar las diferencias entre un lugar con influencia marítima, de otro bajo influencia continental, se pueden comparar los datos de temperaturas medias mensuales de Concepción y Chillán. En la figura 4.13, se observa que las temperaturas máximas en Concepción son menores en verano y mayores en invierno que en Chillán y las mínimas son siempre mayores en Concepción que en Chillán. Como las masas de aire formadas sobre el mar tienen una menor variación de temperatura durante el año, el efecto del océano Pacífico sobre el régimen de temperaturas de Concepción es regular los contrastes térmicos, reduciendo la amplitud de temperatura durante el año, disminuyendo los valores máximos en verano y aumentando los valores mínimos en invierno. Chillán, a pesar de que a escala global está relativamente cerca del Pacífico, tiene un régimen térmico continental, con grandes amplitudes anuales (y diarias): en verano el continente se calienta mas que los océanos, produciendo temperaturas mas altas en Chillán que en Concepción y lo contrario ocurre en invierno.

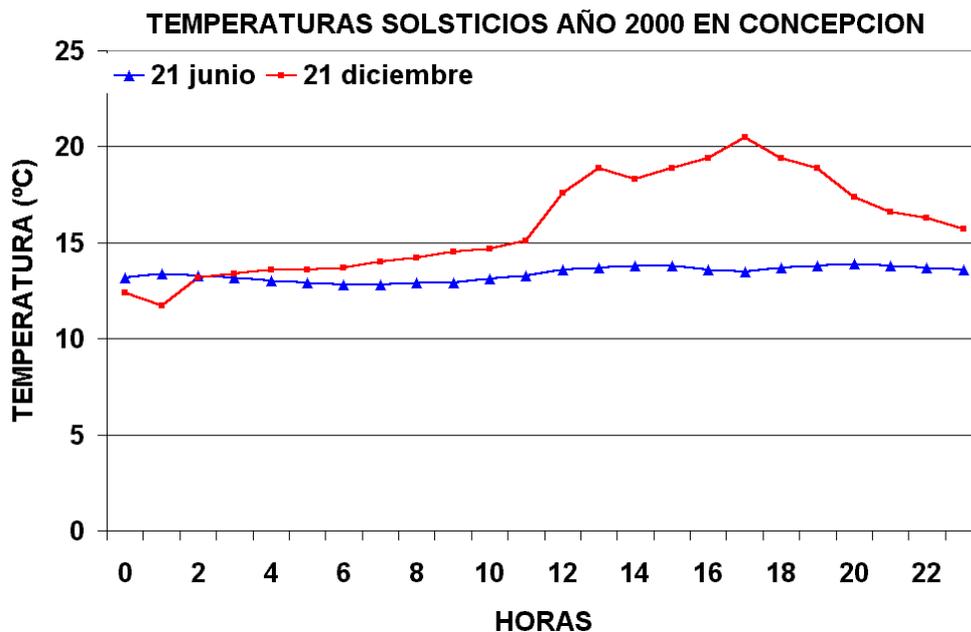
Figura 4.13



4.6.2 Marcha diaria.

Respecto a la marcha diaria de temperaturas en Concepción, en la figura 4.14 se observan los datos de los solsticios de invierno y de verano del año 2000. En verano el máximo de temperatura se produce cerca de las 17 horas (correspondiente al horario de invierno en Chile, 18 hora de verano), tres horas después del máximo de radiación solar que se produce a las 14 horas (15 hora de verano, ver figura 3.15 de radiación solar del capítulo 3). En el solsticio de invierno, se observa este año en particular, que la variación de temperatura a lo largo del día es muy pequeña. Este comportamiento de la temperatura es típico de días cubiertos y con precipitación (dejamos pendiente esta situación para el tema de precipitación), ya que la cubierta de nubes reduce la amplitud térmica diaria. Durante el día cubierto llega muy poca radiación solar a superficie y durante la noche las nubes evitan que la radiación terrestre escape al espacio y la remiten hacia la superficie de la Tierra.

Figura 4.14



PREGUNTAS.

1. ¿Qué son las isotermas? ¿Cuál es su uso? ¿Qué es el gradiente de temperatura?
2. ¿Qué factores regulan el comportamiento térmico de la atmósfera global?
3. Explicar el efecto de las corrientes oceánicas en el comportamiento térmico de la atmósfera global.
4. Explicar el efecto de la topografía en el comportamiento térmico de la atmósfera global.
5. Explicar como es la amplitud anual de temperatura en las diferentes zonas latitudinales de escala global.
6. Concepción, Santa Rosa y Mar del Plata están ubicadas aproximadamente a la misma latitud, pero en distintas longitudes. Bosquejar en un mismo gráfico de la marcha diaria de temperatura en esos lugares.
7. Bosquejar en un mismo gráfico la marcha anual de temperatura de Arica, Concepción y Punta Arenas, ubicados en diferentes latitudes.
8. Bosquejar en un mismo gráfico de la marcha anual de temperatura de Isla de Pascua, San Pedro de Atacama y Termas de Chillán, lugares ubicados en diferentes puntos geográficos.
9. Describir el comportamiento de la temperatura media, en superficie y altura, para el verano y el invierno del hemisferio sur.
10. Usando la información del termograma de la figura 4.4 en Concepción, hacer una tabla de valores de a) temperaturas mínima y máxima diarias, b) temperaturas en las horas sinópticas 00, 06, 12 y 18 TUC,

c) amplitud térmica diaria, d) calcular los correspondientes valores medios de esa semana, e) comparar el comportamiento de la temperatura de los días martes y miércoles con días viernes y sábado. Hacer los gráficos que corresponda.

11. Hacer el gráfico con los valores de temperaturas extremas para distintas ciudades de Chile, que se indican en la tabla 4.3. Los datos, en °C, corresponden al equinoccio del HS, obtenidos en el DEFAO. Hacer un análisis detallado del comportamiento térmico obtenido.

Tabla 4.3

FECHA	21 septiembre de 2001		21 de marzo de 2002	
CIUDADES	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima
Arica	15.3	18.5	20.7	25.8
Iquique	13.8	18.1	18.4	24.2
Calama	3.0	21.0	7.6	25.2
Antofagasta	12.6	16.5	19.0	23.4
Copiapó	10.4	21.3	14.0	27.2
Vallenar	9.0	19.0	14.0	23.0
La Serena	6.8	13.9	15.0	22.4
Valparaíso	11.0	15.6	15.0	19.2
Santiago	7.4	24.6	12.8	29.2
J. Fernández	11.6	15.8	18.3	22.7
Curicó	6.0	19.5	12.2	26.8
Chillán	4.5	20.0	8.7	25.0
Concepción	4.3	16.6	8.1	22.0
Temuco	2.4	17.7	8.8	21.5
Valdivia	3.4	16.2	13.1	21.6
Osorno	-0.2	15.0	14.2	20.4
Puerto Montt	0.5	14.0	13.3	19.8
Coyhaique	3.2	9.2	8.5	15.8
Balmaceda	1.7	9.3	7.7	14.2
Punta Arenas	2.4	7.7	7.8	15.7