

Informe Final 2007 del Estudio "Implementación y Operación Diaria de Modelo de Pronóstico de Contaminación Atmosférica por MP10 en Temuco" preparado para la Comisión Nacional del Medio Ambiente-Dirección Región de la Araucanía.



**Fundación Centro Nacional del Medio Ambiente
CENMA - Universidad de Chile**



INFORME FINAL

**"Implementación y Operación
Diaria de Modelo de Pronóstico
de Contaminación Atmosférica
por MP10 en Temuco"**

**EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE
PRONÓSTICO**

VOLUMEN 2

Noviembre 2007

**PREPARADO POR EL CENTRO NACIONAL DEL
MEDIO AMBIENTE DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE
PARA**

**Comisión Nacional del Medio Ambiente
Dirección Región de la Araucanía**

Avenida Larraín 9975

F: 02-2994100

E-mail: comunicaciones@cenma.cl

Noviembre 2007

Informe Final 2007 del Estudio "Implementación y Operación Diaria de Modelo de Pronóstico de Contaminación Atmosférica por MP10 en Temuco" preparado para la Comisión Nacional del Medio Ambiente-Dirección Región de la Araucanía.

ANTECEDENTES

El presente documento corresponde al Informe Final del Estudio "Implementación y Operación Diaria de Modelo de Pronóstico de Contaminación Atmosférica por MP10 en Temuco", solicitado por la Comisión Nacional del Medio Ambiente, Dirección Región de la Araucanía.

**INFORME FINAL
Volumen 2**

CONTENIDO

1	EVALUACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE PRONÓSTICO, PERÍODO OTOÑO – INVIERNO DE 2007	3
1.1	RELACIÓN ENTRE PMCA OBSERVADO Y CONCENTRACIONES DE MP10.....	3
1.2	EVALUACIÓN DEL PRONÓSTICO DE PMCA A 24 HORAS	4
1.3	DISTRIBUCIÓN DE CATEGORÍAS DE PMCA OBSERVADO	4
1.4	EVALUACIÓN DE LOS MODELOS DE CALIDAD DE AIRE.....	8
1.5	CONCLUSIONES	14
2	ANEXOS.....	15
2.1	POTENCIAL METEOROLÓGICO DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA (PMCA)	15
2.2	CONFIGURACIONES ASOCIADAS A EPISODIOS.....	24

1 Evaluación de las herramientas de pronóstico, período Otoño – Invierno de 2007

1.1 Relación entre PMCA observado y concentraciones de MP10

El PMCA tipificado para la región de la Araucanía, se determinó utilizando como referencias el método propuesto por Rutllant-Garreud (1995), patrones generados por CENMA en 1997 para la región Metropolitana y para Temuco entre 2002 y 2006.

El MP10 está determinado por el valor máximo del promedio móvil de 24 horas, y corresponde a las concentraciones de MP10 medidas en la estación ubicada en la comuna de Temuco.

El valor del PMCA corresponde a una variable discreta y el MP10 a una variable continua.

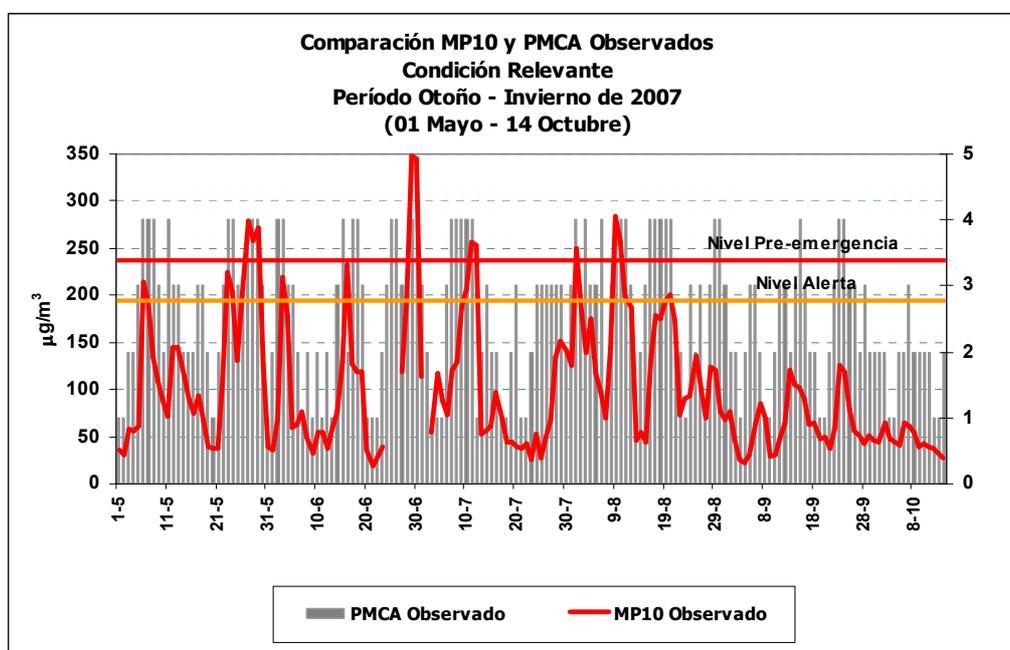


Figura 1 PMCA observado y concentraciones promedio de 24 horas de MP10 para el período, Otoño – Invierno 2007 en Temuco

Se observa, en general, una buena correspondencia entre los valores de MP10 y PMCA observados, especialmente desde el 01 de mayo y hasta la tercera semana de agosto. Hacia fines de Agosto y particularmente en Septiembre y Octubre el efecto de estacionalidad gradualmente toma preponderancia, observándose valores cada vez menores de MP10, para iguales categorías de PMCA.

Durante el período otoño - Invierno 2007, es decir, entre Mayo a la tercera semana de septiembre, se produjeron un total de 20 episodios de alta contaminación por MP10; correspondientes a 10 días de Alerta, 8 de Preemergencias y 2 Emergencias.

1.2 Evaluación del Pronóstico de PMCA a 24 horas

Se comparó el valor de PMCA pronosticado con el valor observado de acuerdo al análisis de las 5 categorías contenidas en la Tabla 1-1.

Categoría de PMCA	Valor Asignado
Bajo	1
Regular/Bajo	2
Regular	3
Regular/Alto	4
Alto	5

Tabla 1-1.- Valores asignados a las categorías de PMCA

En términos generales, las categorías 1 y 2 están asociadas a buenas condiciones de ventilación. La categoría 3 a condiciones de ventilación regulares, y las categorías 4 y 5 a mala ventilación y condiciones favorables para la ocurrencia de episodios de alta contaminación atmosférica. Las configuraciones meteorológicas que se asocian a cada categoría se detallan en Anexos 2.1.

1.3 Distribución de categorías de PMCA observado

Tabla 1-2.- Ocurrencia de categorías de PMCA (Condición Relevante)

Categoría de PMCA	Nº Casos	Porcentaje %
1	32	19.2
2	47	28.1
3	49	29.3
4	39	23.4
5	0	0
Total	167	100

En la Tabla 1-2 se aprecia que las categorías de PMCA 1 y 2 correspondientes a un factor de ventilación Muy Bueno y Bueno alcanzan a un 19.2% y 28.1% del total de casos. La categoría PMCA 3 (Ventilación Regular) a un 29,3%, en tanto la categoría PMCA 4 (Mala ventilación) dio cuenta de un 23.4% de los días. No se constataron condiciones extremas de mala ventilación PMCA 5 (Críticas).

1.3.1 Evaluación del pronóstico de PMCA a 24 horas

La evaluación de las condiciones pronosticadas y observadas se resume en las Tablas de Contingencia que se presentan a continuación, incluyéndose un Skill-Score relativo a la persistencia. Este Score representa el mejoramiento del pronóstico emitido respecto a un pronóstico de referencia: persistencia, climatología u otro. Para efectos de este estudio, se

utilizó el pronóstico de persistencia que consiste en pronosticar la persistencia de las condiciones actuales en el período de pronóstico.

$$SS(\text{ref}) = \frac{(A - A_{\text{ref}})}{(A_{\text{perf}} - A_{\text{ref}})} \times 100$$

Donde A es el acierto del pronóstico, Aref es el acierto del pronóstico de referencia, y Aperf corresponde al acierto de un pronóstico perfecto.

SS(ref) >0, indica que el pronóstico evaluado es mejor que el pronóstico de referencia. El valor representa el porcentaje de mejoramiento.

SS(ref) =0, indica que no habría mejoramiento respecto al pronóstico de referencia, esto es, el desempeño del pronóstico evaluado sería igual al de referencia.

SS(ref) < 0, indica que el pronóstico evaluado es inferior al pronóstico de referencia.

Nota: Cuando el pronóstico de referencia (Aref) es la persistencia, y ésta se hace igual a 1 (100%), el Skill-Score queda indefinido ya que Aperf=1, quedando el denominador de la expresión (Aperf- Aref) igual a 0.

1.3.2 Tablas de Contingencia con Resúmenes de la Evaluación del PMCA

Tabla 1-2.- Evaluación PMCA Pronóstico a 24 horas

Mayo-Oct. 2007

PMCA	Observado						
Pronos 24	1	2	3	4	5	Total	% Acierto
1	31	3	0	0	0	34	91.2
2	1	40	5	1	0	47	85.1
3	0	1	40	3	0	44	90.9
4	0	3	3	32	0	38	84.2
5	0	0	1	3	0	4	0.0
Total	32	47	49	39	0	167	
%Acierto	96.9	85.1	81.6	82.1	----		
N° Aciertos	143						
%Acierto Total	85.6						
Skill-Score	77.6						

La Tabla 1-2 muestra un alto grado de acierto en el pronóstico de cada una de las categorías, alcanzando el acierto total un 85.6 %.

El valor del Skill-Score 77.6%, demostrando que el pronóstico emitido fue significativamente mejor que el pronóstico de referencia correspondiente a la persistencia.

1.3.3 Acierto pronóstico de PMCA en 2007

Tabla 1-3.- Categorías PMCA, Pronosticado y Observado

5 Categorías	2007
Acierto pleno a 24 horas (%)	85.6

Al considerar el pronóstico a 24 horas, se puede apreciar que el año 2007 tuvo un alto porcentaje de acierto, alcanzando un 85.6%.

1.3.4 Pronóstico considerando 2 categorías

Asociando las categorías 1, 2 y 3 del PMCA a condiciones de no episodios (0), y las condiciones 4 y 5 del PMCA a condiciones de episodios (1), se obtuvo el siguiente resultado:

Tabla 1-4.- Acierto considerando 2 categorías

2 categorías	Acierto
Acuerdo a 24 horas (todos los casos)	91.8%
Episodios 24 horas	83.3%
No Episodios a 24 horas	94.5%

El acierto por categorías a 24 horas presenta valores superiores al 80%, indicando que los pronósticos de las condiciones de ventilación durante el período otoño-invierno 2007 fueron mayoritariamente acertados.

1.3.5 Resumen mensual

Tabla 1-5.- Porcentaje de Acierto PMCA pronosticado a 24 y pronóstico por Persistencia

Mes	% Acierto 24	Persistencia 24
Mayo	74	39
Junio	87	20
Julio	87	45
Agosto	84	23
Septiembre	97	30
Octubre	86	57
Total	86	36

La Tabla 1-5 muestra en promedio un porcentaje de 86% de acierto total a 24 horas, destacando los aciertos alcanzados en los meses de Septiembre, Junio y Julio; el valor más bajo se registró en el mes inicial, correspondiente a Mayo. Los pronósticos por persistencia, en general presentan bajos aciertos a 24 horas, promediando durante la temporada un 36%.

Tabla 1-6.- Skill-Score relativo a la Persistencia

Mes	24 horas
Mayo	58
Junio	83
Julio	77
Agosto	79
Septiembre	95
Octubre	67
Total	77

La Tabla 1-6 registra el Skill-Score relativo al pronóstico de persistencia, que representa el porcentaje de mejoramiento que representa la metodología utilizada de pronóstico, respecto a usar un pronóstico de referencia (persistencia). Los resultados muestran que el pronóstico de PMCA a 24 es significativamente mejor que el de referencia, especialmente entre los meses de Junio a Septiembre de la temporada 2007.

1.4 Evaluación de los Modelos de Calidad de Aire

Desde el 01 de Mayo y hasta el 15 de Octubre CENMA operó el modelo oficial de pronóstico de calidad de aire por MP10 para Temuco.

Con los resultados entregados por el Modelo, se emitió un informe a las 12 horas del día 0, hoy, con el pronóstico del valor máximo del promedio móvil de 24 horas, previsto entre las 00 y 23 horas del día siguiente (día 1, mañana). En caso de observarse algún cambio en el PMCA pronosticado a las 12 horas; a las 18 horas en el Pronóstico Vespertino se emitió un segundo Pronóstico de Calidad de Aire.

Además del Porcentaje de Acierto, se incluyen otros indicadores:

- El porcentaje de Episodios No Alertados (ENA) que corresponde a la fracción de casos en que habiéndose pronosticado Nivel 0, se observó un Nivel 1, 2 o 3 respecto del total de casos en que se observó Nivel 1, 2 o 3.
- El porcentaje de Falsas Alarmas (FA) que representa el cociente entre el número de casos en que habiéndose observado el Nivel 0, se pronosticó Nivel 1, 2 o 3 y el total de casos en que se pronosticó Nivel 1, 2 o 3.

Las categorías están analizadas de acuerdo a los siguientes valores de ICAP:

Tabla 1-7.- Categorías de ICAP

Categoría	ICAP
0	Menor que 200
1	Mayor o igual a 200 y menor que 300
2	Mayor o igual a 300 y menor que 500
3	Mayor o igual a 500

1.4.1 Comparación entre Valores Observados, Valores Pronosticados por la Ecuaciones de los Modelos de Pronóstico de Calidad de Aire

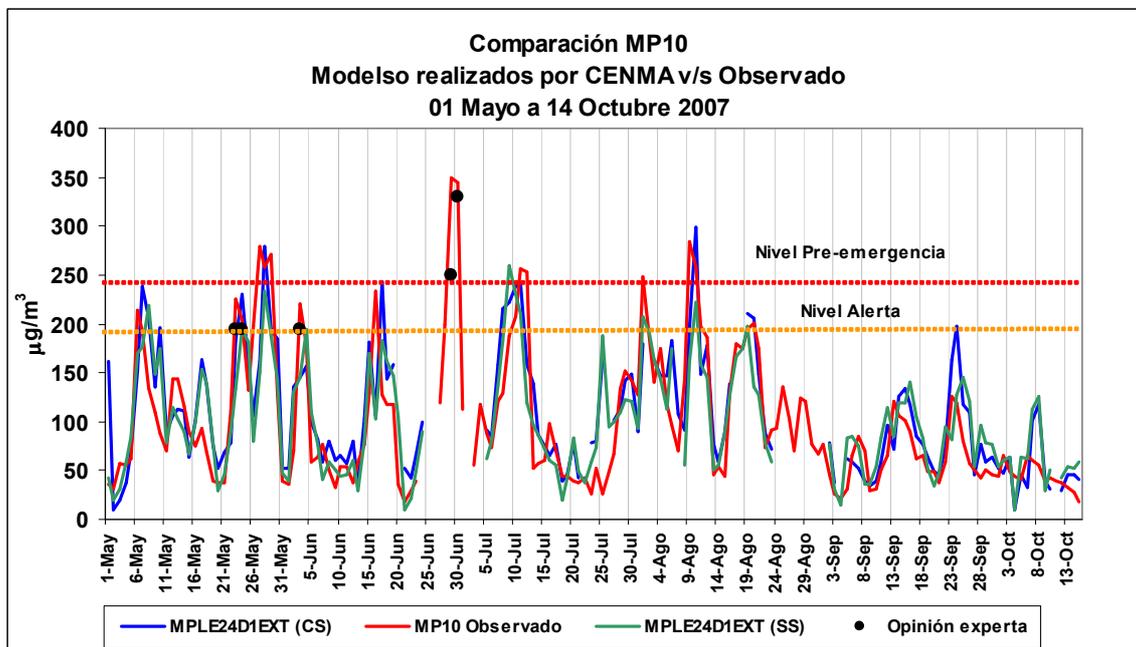


Figura 2 Concentraciones de MP10 pronosticadas por la Ecuaciones con sonda y sin sonda generadas por CENMA, y el valor observado, entre el 01 de Mayo y 14 de Octubre 2007.

La Figura 2 muestra una buena correspondencia entre los valores observados y pronosticados por la ecuaciones, apreciándose desfases ocasionales entre lo modelado y observado durante la temporada otoño –invierno 2007.

Comentarios:

- Las condiciones medias de dispersión en este período habrían sido más desfavorables que en años anteriores, debido en parte al predominio de la condición climatológica correspondiente al IOS (Índice de Oscilación del Sur). Durante el presente año se observó una condición neutra evolucionando hacia un evento frío La Niña.
- En cuanto a precipitaciones, este invierno hasta el 15 de octubre en la zona sur del país, específicamente en Temuco, se presentaba un déficit de 11%.
- Durante el período abril a octubre, en la comuna de Temuco se observaron 20 casos de superación del nivel de Alerta, de los cuales en 8 de ellos se alcanzó valores de Preemergencia y 2 de Emergencias. En la comuna de Padre Las Casas se presentaron 2 días Preemergencia, coincidentes al episodio que asocia las Emergencias en Temuco.
- Durante este período se dieron mayoritariamente episodio Tipo A(t), y minoritariamente Tipo BPF(t).

- En algunos días del período de estudio se presentaron problemas técnicos en las mediciones de MP10 y meteorología, en Temuco y/o para Padre Las Casas. Para aquellos días sin información disponible en la estación de Temuco, se usaron datos obtenidos sobre la base de un ajuste lineal obtenido con valores históricos de Temuco y Padre Las Casas. Con esta metodología se pudo correr el Modelo para Temuco y hacer un pronóstico de las probables concentraciones que se registrarían al día siguiente, con resultados razonablemente satisfactorios.

1.4.2 Tablas de Contingencia con Resúmenes de los Pronósticos de Calidad de Aire

La evaluación que sigue para todo el período, incluye el Porcentaje de Acierto, el Porcentaje de Episodios No Alertados (ENA) y el Porcentaje de Falsas Alarmas (FA). El ENA corresponde a la fracción de casos en que habiéndose pronosticado Nivel 0 se observó un Nivel 1, 2 o 3 respecto del total de casos en que se observó Nivel 1, 2 o 3. FA representa el cociente entre el número de casos en que habiéndose observado el Nivel 0 se pronosticó Nivel 1, 2 o 3 y el total de casos en que se pronosticó Nivel 1, 2 o 3.

Tabla 1-8.- Modelo ajustado con sonda para Temuco

Ecuación ajuste a valores extremos con sonda
Mayo-Octubre 2007

TEMUCO Pronosticado	Observado	0	1	2	3	Total	% Acierto
0	115	6	4	0	125	92.0	
1	7	3	1	0	11	27.3	
2	1	0	3	0	4	75.0	
3	0	0	0	0	0	-----	
Total	123	9	8	0	140		
%Acierto	93.5	33.3	37.5	-----			

Nº Aciertos	121
%Acierto Total	86.4
ENA	58.8
FA	53.3

Tabla 1-9.-Modelo ajustado sin sonda para Temuco

Ecuación ajuste a valores extremos sin sonda
Mayo-Octubre 2007

TEMUCO	Observado					
Pronosticado	0	1	2	3	Total	% Acierto
0	126	7	4	0	137	92.0
1	3	2	4	0	9	22.2
2	1	0	0	0	1	0.0
3	0	0	0	0	0	-----
Total	130	9	8	0	147	
%Acierto	96.9	22.2	0.0	-----		

N° Aciertos	128
%Acierto Total	87.1
ENA	64.7
FA	40.0

Las tablas 1-8 y 1.9 muestran los resultados de los modelos para la comuna de Temuco, en ellas se puede ver que la evaluación no contempla todos los eventos producidos en el período Otoño- Invierno 2007, específicamente la evaluación no incluye 1 día de Alerta y las 2 Emergencia correspondiente a los días del 28 al 30 de junio. Esto se debe que durante este episodio la estación monitorea de MP10 en Temuco presento fallas de medición, situación que no hizo posible la corrida de los modelos para Temuco en estos días. Sin embargo, se hicieron estimación en base a los datos de PLC que no son incluidos dentro de la evaluación (por ser una metodología diferente).

En las tablas de contingencia se puede apreciar, que el modelo que incluye sonda tiene una mayor sensibilidad a la captura de los eventos de alta contaminación por MP10, a pesar que sí miramos estos aciertos del punto de vista del acierto total, el modelo sin sonda presenta un acierto ligeramente mayor que el modelo con sonda.

Modelo ajustado con sonda para Padre Las Casas

Ecuación ajuste a valores extremos con sonda
Mayo-Octubre 2007

PLC	Observado					
Pronosticado	0	1	2	3	Total	% Acierto
0	128	0	1	0	129	99.2
1	0	0	1	0	1	0.0
2	0	0	0	0	0	-----
3	0	0	0	0	0	-----
Total	128	0	2	0	130	
%Acierto	100.0	-----	0.0	-----		

N° Aciertos	128
%Acierto Total	98.5
ENA	50.0
FA	0.0

Modelo ajustado sin sonda para Padre Las Casas

Ecuación ajuste a valores extremos sin sonda
Mayo-Octubre 2007

PLC	Observado					
Pronosticado	0	1	2	3	Total	% Acierto
0	128	0	1	0	129	99.2
1	2	0	0	0	2	0.0
2	0	0	1	0	1	0.0
3	0	0	0	0	0	-----
Total	130	0	2	0	132	
%Acierto	98.5	-----	50.0	-----		

N° Aciertos	129
%Acierto Total	97.7
ENA	50.0
FA	66.7

Las tablas anteriores muestran los resultados de los modelos ajustados por CENMA para la comuna de Padre Las Casas. En las tablas de contingencia, los mejores resultados en la captura de eventos de contaminación se dan en el modelo ajustado sin sonda. En cuanto al modelo con sonda se puede destacar que presenta un acierto general alto, sin embargo, no capturara los días de episodios.

1.4.3 Condición pronosticada respecto al total de casos observados coincidentes con el pronóstico para cada categoría.

Pronóstico de la Categoría 0, Bueno a Regular ($200 \geq \text{ICAP} > 0$)

Modelo	% Acierto
Ecuación con sonda Temuco	94
Ecuación sin sonda Temuco	97
Ecuación con sonda PLC	100
Ecuación sin sonda PLC	99

Pronóstico de la Categoría 1, Alerta ($300 \geq \text{ICAP} > 200$)

Modelo	% Acierto
Ecuación con sonda Temuco	33
Ecuación sin sonda Temuco	22
Ecuación con sonda PLC	---
Ecuación sin sonda PLC	---

Pronóstico de la Categoría 2, Preemergencia ($500 \geq \text{ICAP} > 300$)

Modelo	% Acierto
Ecuación con sonda Temuco	38
Ecuación sin sonda Temuco	0
Ecuación con sonda PLC	0
Ecuación sin sonda PLC	50

A pesar de que en el período de otoño-invierno se alcanzó en dos oportunidades niveles de Emergencia ($\text{ICAP} > 300$), en este lapso de tiempo los modelos no pudieron ser corridos de forma operacional por falta de información producto de fallas técnicas en el equipo de medición de la estación de Temuco. Sin embargo, con el almacenamiento de los datos en el datalogger se pudo constatar los niveles de Emergencia posterior al evento.

1.4.4 Resultado Modelo considerando Episodio y No Episodio

La Tabla de Contingencia que sigue contiene los aciertos de los Modelos con y sin sonda en Temuco considerando No Episodios ($200 \geq \text{ICAP} > 0$) y Episodios ($\text{ICAP} > 200$).

Ecuación ajuste a valores extremos con sonda
Mayo-Octubre 2007

TEMUCO	Observado			
Pronosticado	0	1	Total	% Acierto
0	115	10	125	92.0
1	8	7	15	46.7
Total	123	17	140	
%Acierto	93.5	41.2		

N° Aciertos	122
%Acierto Total	87.1
ENA	58.8
FA	53.3

Ecuación ajuste a valores extremos sin sonda
Mayo-Octubre 2007

TEMUCO	Observado			
Pronosticado	0	1	Total	% Acierto
0	126	11	137	92.0
1	4	6	10	60.0
Total	130	17	147	
%Acierto	96.9	35.3		

N° Aciertos	132
%Acierto Total	89.8
ENA	64.7
FA	40.0

1.5 Conclusiones

- El Porcentaje de Acierto del Potencial Meteorológico de Contaminación Atmosférica para Temuco durante el período Otoño–Invierno 2007 fue de 86% a 24 horas.
- El Modelo de Calidad de Aire para Temuco que incluye sonda superó al modelo ajustado que no lo incluye, en cuanto al acierto en episodios de alta contaminación en la Región de la Araucanía.
- Respecto al acierto total, la ecuación sin sonda obtuvo un acierto ligeramente superior. Los episodios no alertados (ENA) y falsas alarmas (FA) en ambos modelos, presentan porcentajes similares.
- Se presentaron 2 días con Emergencia, 8 Preemergencias y 10 días con Alerta, mayormente asociada a configuraciones tipo A (t).
- La opinión experta fue emitida en términos de condiciones de ventilación previstas, constituyendo un apoyo a la toma de decisiones, interpretando el resultado de los Modelos de pronóstico de Calidad de Aire para el día siguiente.

2 Anexos

2.1 Potencial Meteorológico de Contaminación Atmosférica (PMCA)

Definición

El PMCA es una medida netamente meteorológica, siendo su valor inversamente proporcional al factor de ventilación después del mediodía (Rutllant y Salinas, 1983), entendiéndose por factor de ventilación al producto del espesor de la capa de mezcla superficial por el viento medio dentro de la capa. La definición del PMCA para Temuco integra las condiciones meteorológicas a escalas sinóptica, regional y local, asociadas a diferentes factores de ventilación y condiciones de dispersión

Tipificación de condiciones sinópticas asociadas a distintos valores PMCA

Para efectos operacionales, y sobre la base de las condiciones observadas y analizadas entre 2002 y 2006, CENMA efectuó para Temuco una tipificación de distintas categoría de PMCA sobre la base de configuraciones sinópticas y regionales; y de variables meteorológicas y de calidad de aire de escala local.

Se definieron cinco categorías de Potencial Meteorológico de Contaminación Atmosférica. (PMCA), que se resumen como sigue:

1.- PMCA BAJO

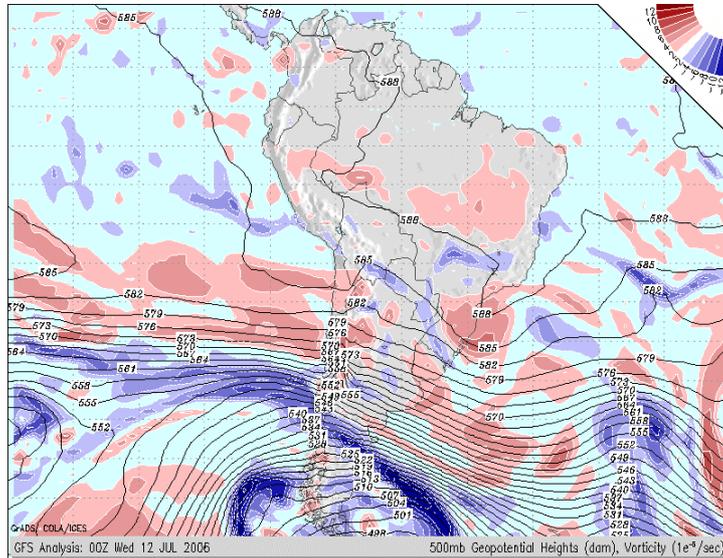
Representa una situación muy favorable en términos de dispersión de contaminantes. Se asocia a presencia de sistemas frontales activos y de rápido desplazamiento, precipitación y/o vientos moderados a fuertes y ausencia de inversión térmica

En el radiosondeo de Puerto Montt la presión de superficie es del orden de 1000 hPa y no se observa inversión de subsidencia. En el nivel de presión 925 hPa a una altura aproximada de 700 m, la temperatura está en el rango 5 a 8°C y la velocidad del viento entre 10 y 15 m/s. Altura de 500 hPa del orden de 5450 m.

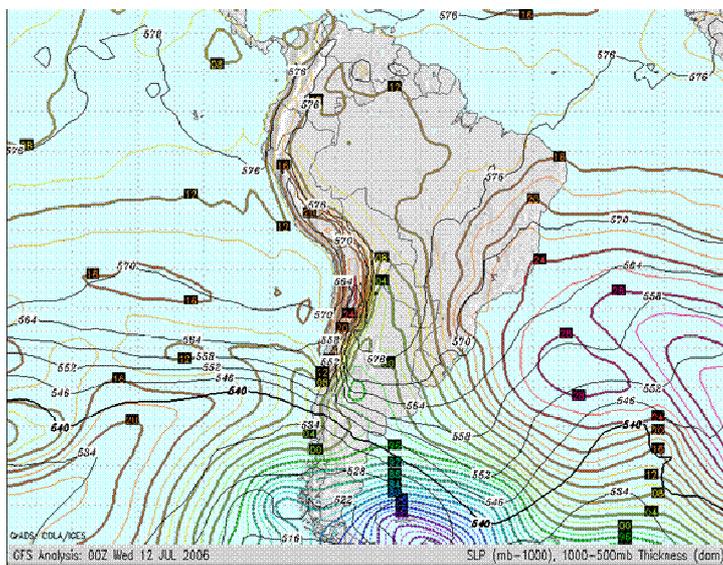
En la estación de Las Encinas, se observa poca oscilación térmica diurna, las temperaturas mínimas se presentan del orden de 6°C a 9°C, y máximas del orden de 10°C; la humedad relativa presenta valores cercanos a la saturación (100%); la velocidad del viento medio del día es del orden 3 a 4 m/s. La presión atmosférica media del día es del orden de 990 a 1000 hPa, alcanzando valores equivalentes a los presentados por el radiosondeo.

Las concentraciones de MP10 presentan generalmente valores promedio del día entre 20 y 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con máximos horarios del orden de 50 a 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. El máximo del promedio móvil de 24 horas muestra valores entre 25 y 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Ejemplo PMCA 1: Situación sinóptica observada entre los días 11 y 12 de Julio de 2006 asociada a un sistema frontal activo.



Carta de 500 hPa día 11 de julio 2006 en la noche. Muestra una vaguada en altura bien definida sobre la zona (área azul) asociada a un sistema frontal activo en superficie.



Carta de presión superficial (espesor 500-1000 hPa) día 11 de julio de 2006 en la noche. Muestra la posición del frente en superficie y un centro de baja presión al sureste de la zona.

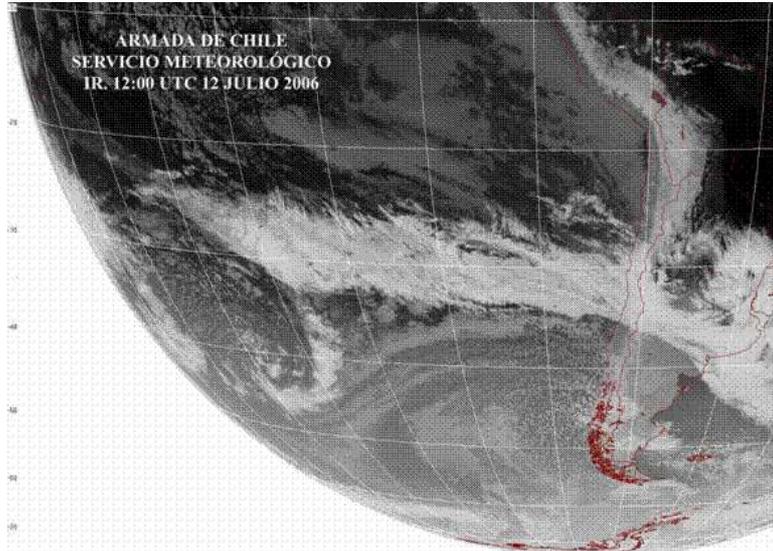
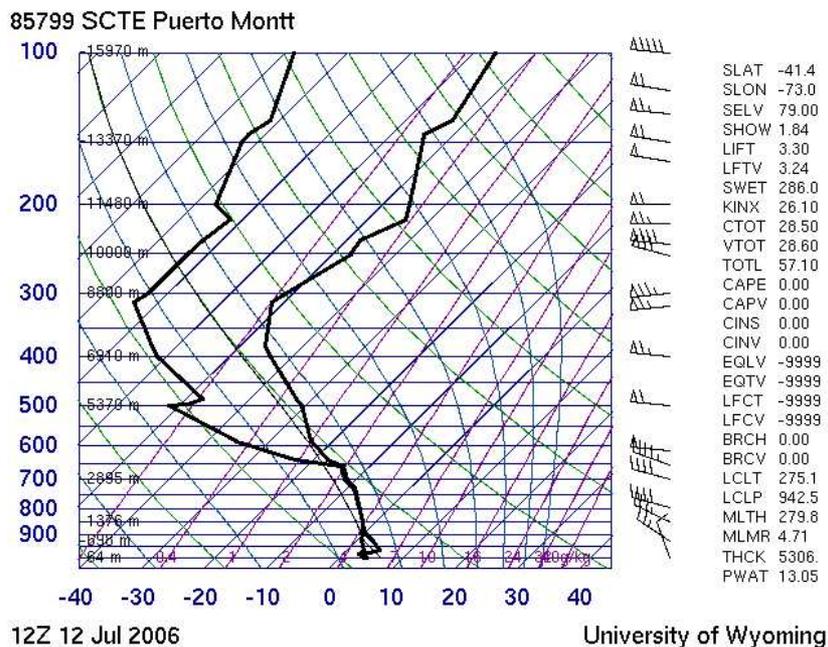


Imagen IR 12 de julio 2006 en la mañana. Se aprecia la presencia de un sistema frontal activo.



Perfil vertical temperatura, punto de rocío y viento Radiosondeo Puerto Montt 12 de julio 2006. Muestra saturación desde superficie hasta aproximadamente 750 hPa (temperatura del aire iguala a la Temperatura de punto de rocío).

2.- PMCA REGULAR/BAJO

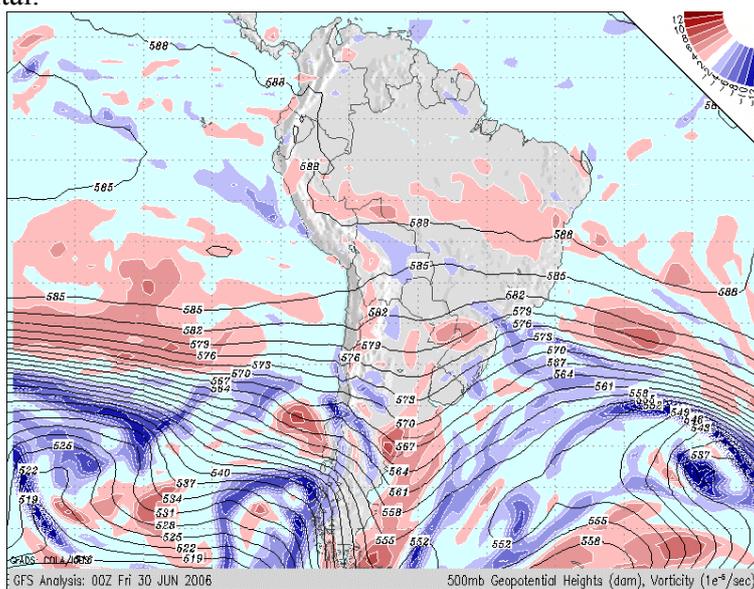
En general, se observan buenas condiciones de ventilación y dispersión de contaminantes. Se asocia a sistemas frontales de actividad regular a débil, con precipitación acumulada durante el evento menor a 10 mm.

El radiosonda de Puerto Montt presenta una inversión térmica de subsidencia débil o elevada, con presión en superficie entre 1000 y 1005 hPa. A 925 hPa se observan alturas entre 710 a 770 m, temperaturas en el rango 5 a 8°C, intensidad del viento del orden de 10 m/s. En nivel de 500 hPa se observan valores del orden de 5500 m.

En la estación de Las Encinas, al igual que en PMCA BAJO, se observa poca oscilación térmica diurna, con valores similares a los observados en la Categoría 1; presión media del día del orden 1000 a 1003 hPa; humedad relativa con valores entre 70 y 90%; velocidad del viento promedio del día de 1 a 3 m/s.

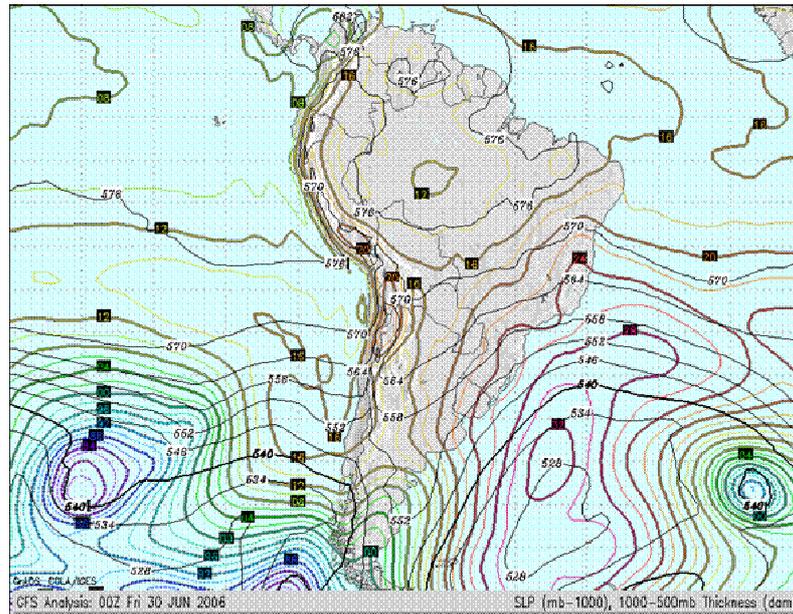
Las concentraciones máximas horarias de MP10 presentan valores entre 80 y 130 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, promedio del día entre 30 y 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. El máximo promedio móvil de 24 horas muestra valores entre 30 y 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Ejemplo PMCA 2: Situación sinóptica observada entre 29 y 30 de Julio de 2006, asociada a un sistema frontal.



Carta 500 hPa día 29 julio de 2006 en la noche. Muestra la presencia de una vaguada débil en altura asociada a un sistema frontal en superficie .

Informe Final 2007 del Estudio "Implementación y Operación Diaria de Modelo de Pronóstico de Contaminación Atmosférica por MP10 en Temuco" preparado para la Comisión Nacional del Medio Ambiente-Dirección Región de la Araucanía.



Carta de presión superficial (espesor 500-1000) hPa día 29 julio 2006 en la noche. Muestra un sistema frontal cruzando el sur del país.

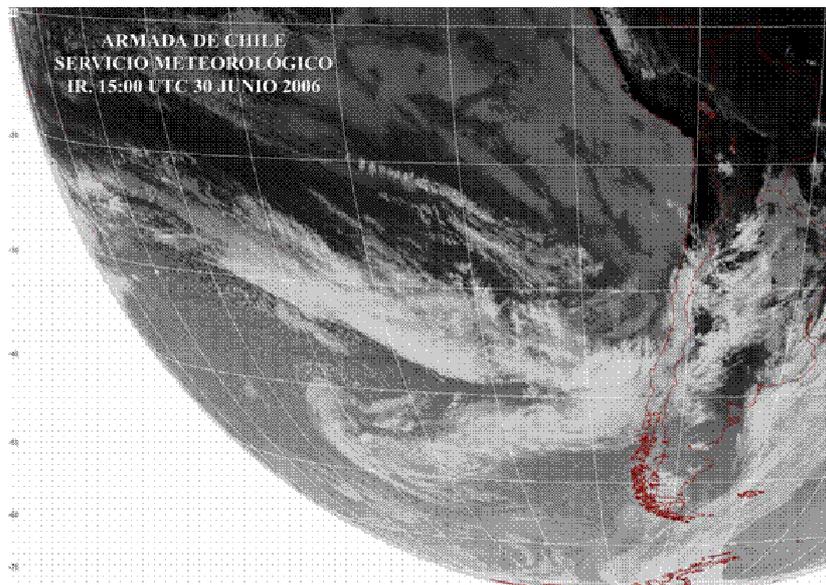
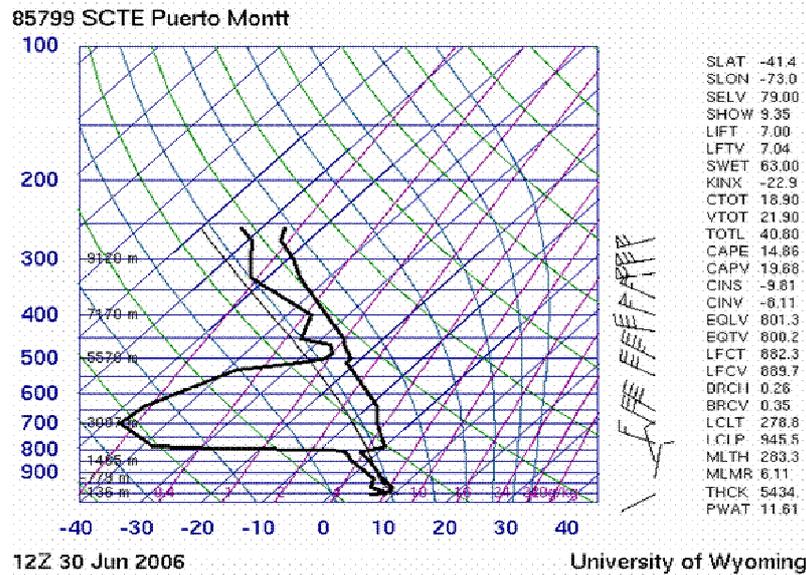


Imagen IR 30 de julio 2006 en la mañana. Se aprecia un sistema frontal al sur del país.



Perfil del radiosondeo en Puerto Montt 30 julio 2006. Muestra el ingreso del frente a niveles bajos (Bajo 800 hPa se observa saturación).

3.- PMCA REGULAR

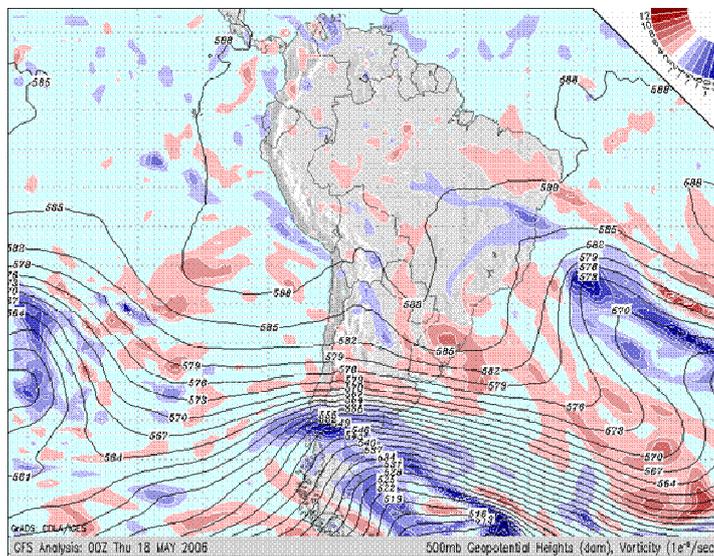
Esta categoría está caracterizada por la incursión de dorsales en altura débil o moderada, con altas presiones en superficie. Además de condiciones prefrontales de avance moderado a lento, que trae consigo nubosidad media.

En el radiosonda de Puerto Montt se aprecia una inversión de subsidencia de mediana intensidad, con presión en superficie en el rango 1003 a 1008 hPa. En el nivel de 925 hPa con altura de 800 metros, la temperatura fluctúa entre 3 y 6°C, velocidad del viento de 5 a 10 m/s. Alturas a 500 hPa del orden de 5600 m.

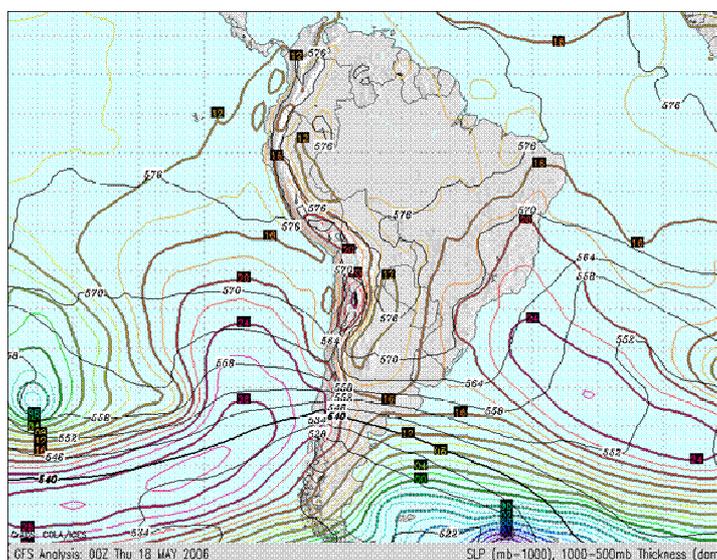
En Las Encinas la presión media del día del orden de 1003 a 1010 hPa, temperaturas máximas entre 12 y 14°C, y las mínimas entre 3 y 7°C. Velocidad del viento promedio del día entre 1 y 2 m/s.

Concentraciones de MP10 máximas horarias entre 200 a 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, valores promedio día entre 60 y 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Máximo promedio móvil de 24 horas diario entre 80 y 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Ejemplo PMCA 3: Situación sinóptica observada entre 17 y 18 de Mayo de 2006, asociada a una dorsal débil.



Carta de geopotencial de 500 hPa día 17 de mayo 2006 en la noche. Muestra el paso de una vaguada débil y la aproximación de dorsal débil en altura al continente.



Carta de presión superficial (espesor 500-1000) hPa 17 de mayo 2006 en la noche. Muestra la presencia de altas presiones frías (centro de alta presión al suroeste de la zona).

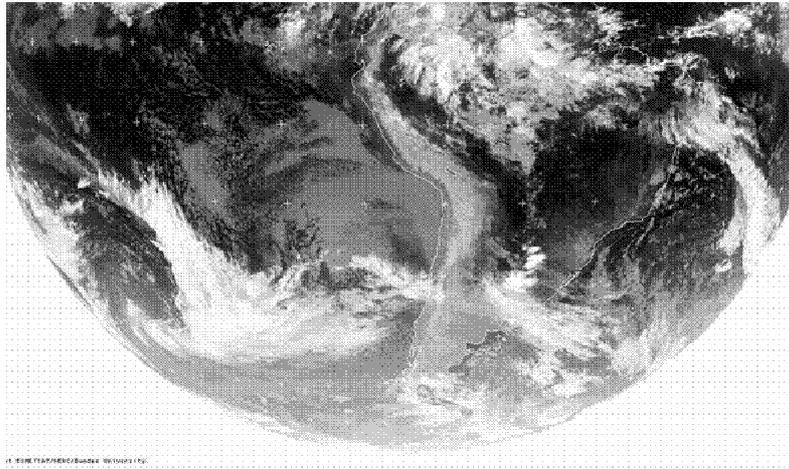
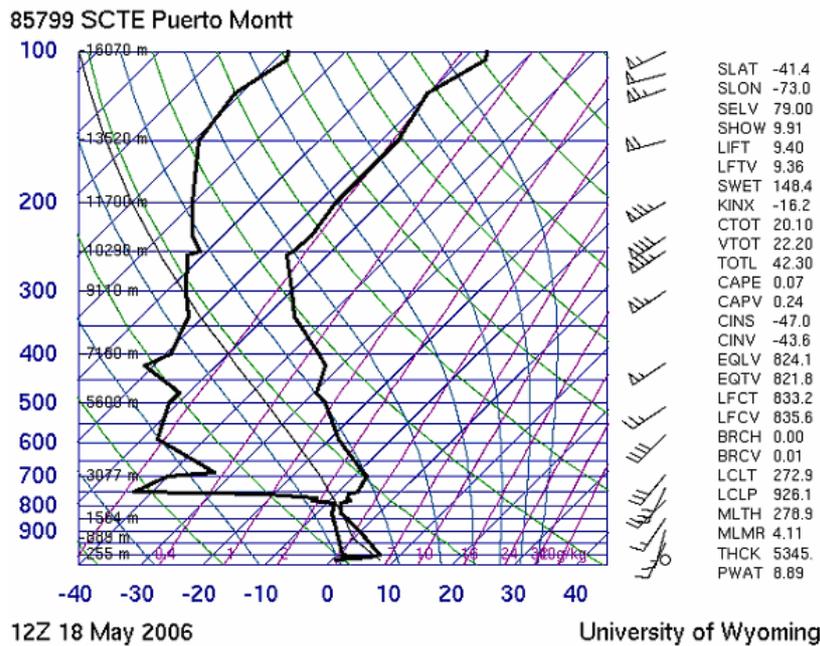


Imagen IR 18 de mayo 2006 en la mañana. Se aprecia una alta presión fría débil. Un frente sobre el océano aproxima al continente.



Radiosondeo Puerto Montt 18 de mayo 2006. Se observa el inicio del efecto de la dorsal (calentamiento y sequedad en altura sobre 800 hPa).

4.- PMCA REGULAR/ALTO

Se asocia a condiciones de ventilación malas, relacionada con las siguientes configuraciones:

- Tipo A (t), correspondiente a una dorsal en altura bien definida e irrupción de alta fría en superficie, y una vaguada costera ubicada en la zona central.
- Tipo BPF (t), caracterizado por la aproximación de un sistema frontal cálido de lento desplazamiento, acompañado de abundante nubosidad media, registrándose un estancamiento de contaminantes y baja dispersión atmosférica en Temuco.
- Tipo mixto A (t)-BPF (t), mezcla los efectos de ambos tipos de configuraciones sinópticas. Típicamente comienza como un Tipo A (t) y le sigue la configuración BPF (t).
- Tipo A(t)-N(t), asociado a núcleos fríos, que corresponden a perturbaciones del aire polar desprendido hacia latitudes medias, acompañado por un estrangulamiento provocado por una dorsal ubicada al sur que se desplaza al continente. Cuando los núcleos fríos se posicionan al norte de Temuco, la circulación asociada contribuye a un flujo de viento proveniente desde el continente (aire seco de componente Este), subsidencia, reducción de la capa de mezcla superficial, generando malas condiciones de ventilación.

Los episodios menos frecuentes son los de tipo BPF (t), ya que en general a la latitud de Temuco, los sistemas frontales tienden a ser más dinámicos.

El radiosondeo de Puerto Montt muestra una inversión térmica de subsidencia de marcada intensidad, con alta presión en superficie en el rango 1010 a 1015 hPa. El nivel de 925 hPa con alturas entre 800 y 850 m, se observa una temperatura en el rango 3 y 6°C, velocidad del viento 5 m/s. Al nivel 500 hPa entre 5650 y 5700 m.

En Las Encinas la presión media del día del orden de 1010 hPa, velocidad del viento cercana a la calma. Temperatura máxima entre 12 y 16°C, temperatura mínima cercana a 0°C. Humedad relativa entre 40 y 50%. Estas variables representan una masa de aire cálida y seca, condición típica de la Categoría 4.

Las concentraciones de MP10 máximas horarias presentan valores entre 300 y 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, promedio diario (de 0 a 23 horas) entre 120 y 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Máximo promedio móvil de 24 horas entre 150 y 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Ejemplo (1) PMCA 4: Situación sinóptica observada desde el 12 al 14 de Junio de 2002 asociada al paso de una alta fría en superficie hacia sector argentino, y la irrupción de una dorsal cálida en la troposfera media, determinando una configuración A(t)

5.- PMCA ALTO

Representa a la misma condición que en el PMCA Regular/Alto, pero en forma más acentuada tanto en condición sinóptica, como en la prolongación en el tiempo.

2.2 Configuraciones asociadas a episodios

De acuerdo a la tipificación efectuada (CENMA 2002), las configuraciones asociadas a episodios son las siguientes:

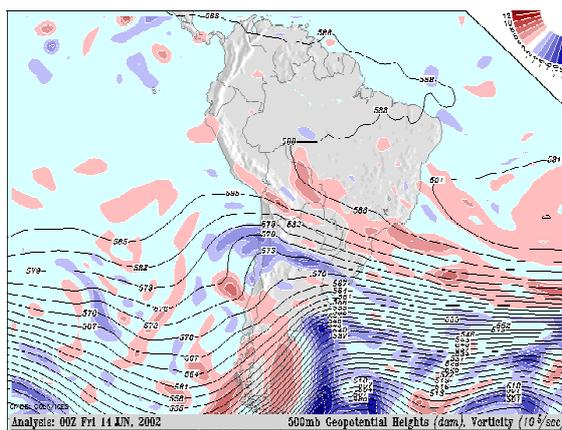
2.2.1 Episodios A (t)

- El comienzo de los episodios se caracteriza por la incursión de una alta fría en superficie que se desplaza hacia el Noreste, sincronizada en altura con la irrupción de una dorsal cálida.
- Se presentan anomalías negativas de la temperatura en superficie, especialmente entre Julio y Septiembre, pudiendo hacerse cercanas a cero o positivas en Octubre.
- Las anomalías de presión tienden a presentarse positivas al inicio del episodio, pudiendo pasar a negativas hacia el final de los mismos, pareciendo depender esto de la cercanía del frente y si éste se manifiesta en superficie o solamente en altura.
- Las anomalías de la humedad relativa presentan una gran variabilidad: suelen pasar de negativas a positivas, o presentando poca diferencia respecto al valor medio, alcanzan valores ligeramente positivos o negativos.
- Se registran, en la mayoría de los casos, anomalías negativas de la velocidad del viento, asociadas a la presencia del anticiclón frío.
- El final del episodio normalmente se produce asociado a la entrada de la vaguada en altura que frecuentemente acompaña al sistema frontal, incremento de los movimientos de ascenso, debilitamiento de la subsidencia y aumento del viento superficial

Ejemplo de Episodio A (t):

➤ Mapa de 500 hPa

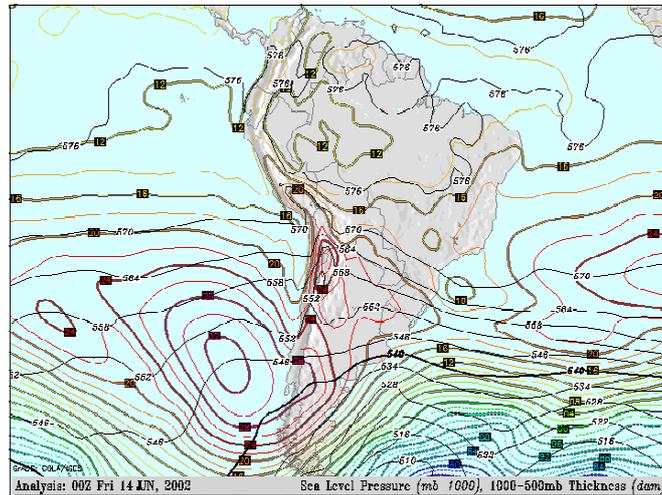
Se observa en la Figura la irrupción de una dorsal bien definida en la troposfera media a la Zona Sur, asociada al aporte de aire cálido en los niveles medios, movimientos de descenso del aire y estabilización a niveles bajos.



Mapa de 500 hPa (Modelo Global MRF)

➤ **Mapa de superficie y espesor 1000-500 hPa.**

Se observa la presencia de una alta fría sobre la Zona Sur, y la proyección de una baja costera en la Zona Central. Asociado al anticiclón frío se registraron en Temuco temperaturas mínimas entre -2 y -3°C .



Mapa de Superficie y Espesor 1000-500 hPa

➤ **Imagen Satelital**

Se observa escasa nubosidad entre la I y X Regiones, y nubosidad baja sobre el Pacífico frente a la Zona Norte.

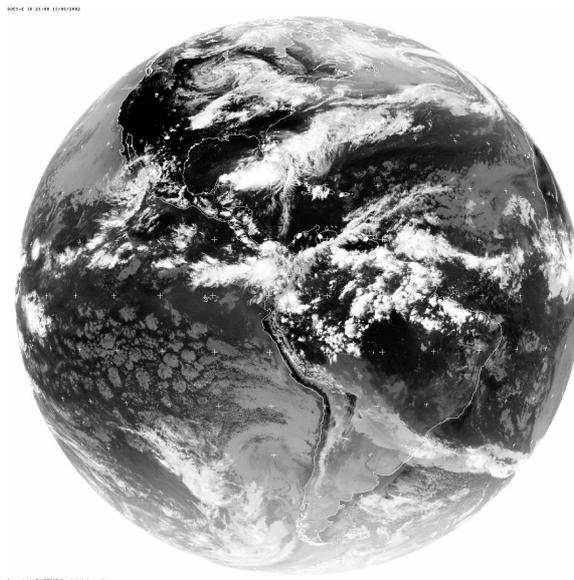


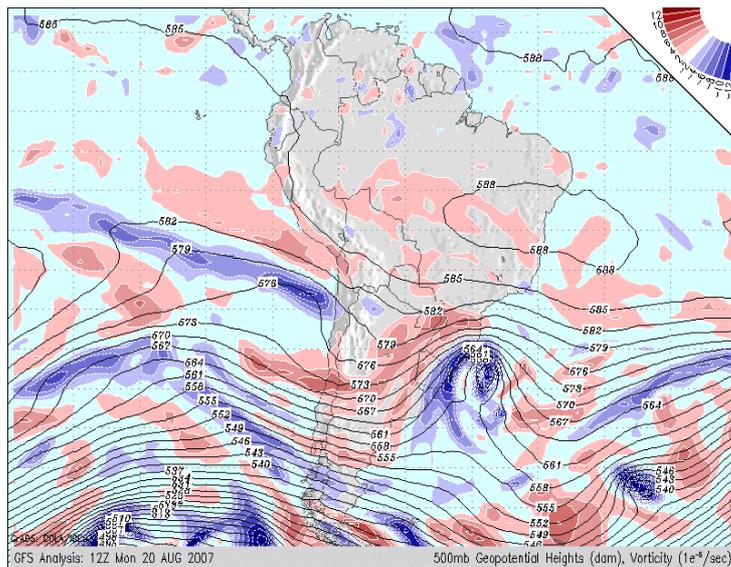
Imagen satelital

2.2.2 Episodios BPF (t)

- Se caracteriza por la incursión de un sistema frontal débil acompañado de una vaguada en altura, o eventualmente flujo zonal o una dorsal si se tratara de un frente cálido, registrándose antes de la entrada del sistema frontal un empeoramiento de las condiciones de ventilación y de dispersión de contaminantes.
- Normalmente se registran en superficie anomalías positivas de la humedad relativa y de la temperatura, y negativas de la presión y el viento superficial.
- La mejoría de las condiciones de ventilación se produce con el ingreso del sistema frontal, eventual comienzo de las precipitaciones, aumento del viento superficial y mejoramiento de las condiciones de dispersión tanto en la horizontal como en la vertical, producto de la progresiva generalización de los movimientos de ascenso.

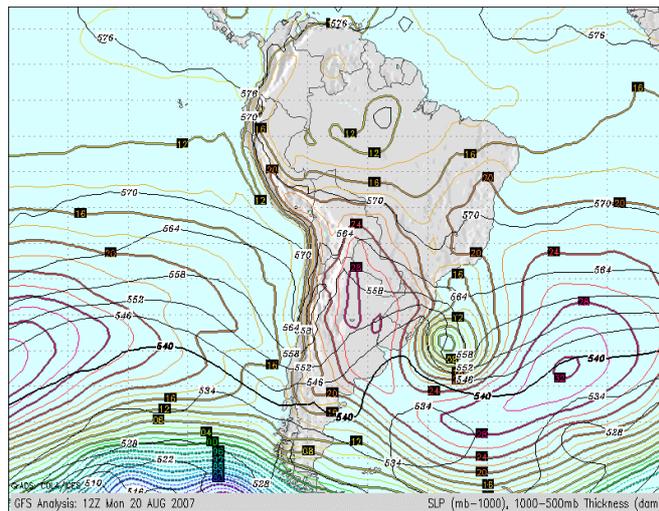
➤ Mapa de 500 hPa

Se observa la aproximación de una vaguada en altura con un marcado gradiente de las isohipsas, denotando la presencia de un sistema frontal



➤ **Mapa de superficie y espesor 1000-500 hPa.**

La Figura muestra tanto en superficie como en el espesor 1000-500 hPa una vaguada débil aproximando desde el Pacífico, asociada a la posición del frente.



➤ **Imagen Satelital**

Se observa la abundante nubosidad prefrontal media y alta, asociada a un empeoramiento del factor de ventilación.

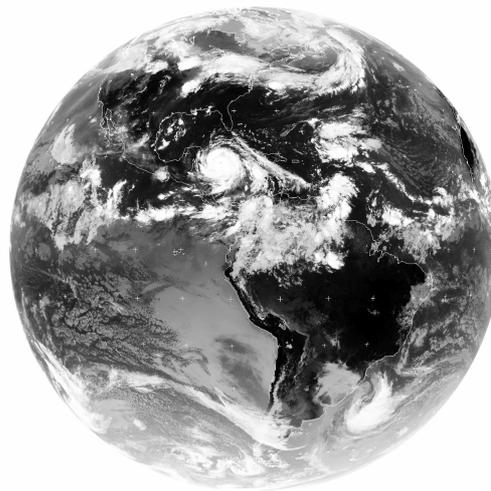


Imagen Satelital

2.2.3 Episodios mixtos Tipo A (t)-BPF (t)

Son aquellos que comienzan como Episodio A (t) y después de un breve período de descenso transitorio de las concentraciones, dan comienzo a un Episodio del tipo BPF(t).

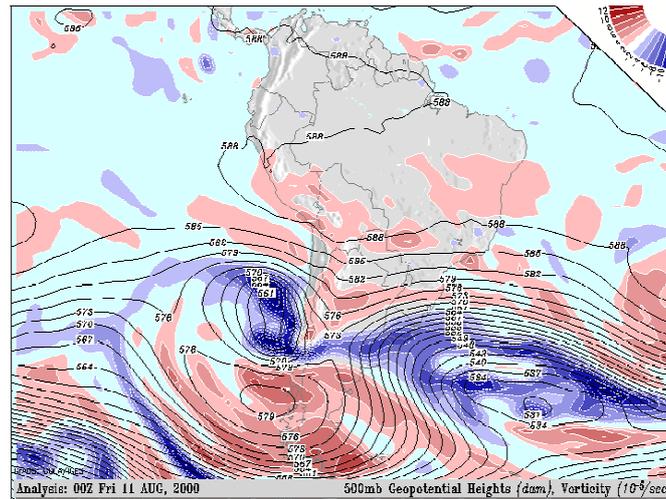
2.2.4 Episodios Tipo A (t)-NF (t)

- El inicio de los episodios está asociado a una condición Tipo A(t), es decir irrupción de una dorsal cálida en altura y presencia y paso de una alta fría a sector argentino. Después del paso de la dorsal hacia el Este, se presenta una vaguada extendida meridionalmente, y por la conducente de ésta se desplaza un núcleo frío desde la Zona Central alcanzando la Zona Sur.
- Las configuraciones de presión en superficie, los mínimos de presión alcanzados, y el gradual desplazamiento de nubosidad baja costera desde la Zona Central a la Zona Sur, sugieren una baja costera subyacente que eventualmente alcanza la latitud de Temuco.
- Se verifican anomalías negativas de la presión y de la velocidad del viento en superficie.
- Se observan anomalías negativas de temperatura respecto a las mínimas, y positivas respecto a las máximas.
- Se presentan con frecuencia anomalías negativas de la humedad relativa durante el desarrollo del episodio, pareciendo depender fuertemente de la intensidad del flujo del Este a niveles bajos.
- La inversión térmica de subsidencia sobre Puerto Montt aparece bien definida y marcada.
- El fin del episodio se produce normalmente asociado a la incursión del núcleo frío, entrada de nubosidad, cambio en la circulación del viento que se presenta con una componente Oeste predominante, aumento de la humedad relativa y del factor de ventilación.

Ejemplo de episodio A (t) –NF (t):

➤ **Mapa de 500 hPa**

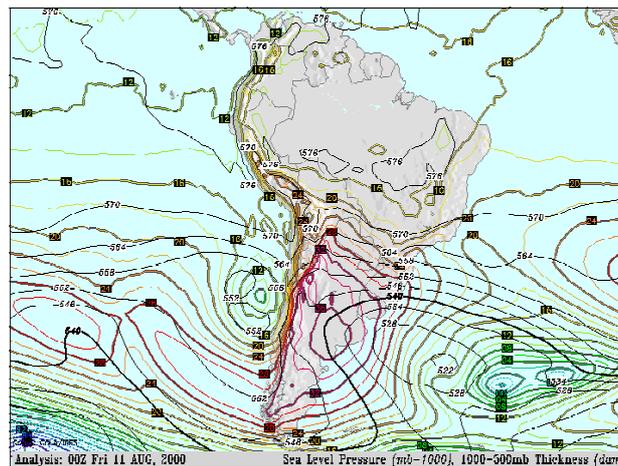
Se observa en la figura una configuración de bloqueo, caracterizada por la presencia de un núcleo frío frente al Norte Chico y Zona Central, y una alta cálida segregada en altura sobre la Zona Sur-Austral.



Mapa de 500 hPa (MRF)

➤ **Mapa de superficie y espesor 1000-500 hPa.**

Se observa la presencia de una extensa alta fría sobre territorio Argentino, un centro de baja presión ubicado frente a la Zona Central, y circulación del Este en la Zona Centro-Sur.



Mapa de Superficie y Espesor 1000-500 hPa

➤ **Imagen Satelital**

Se observa en la imagen nubosidad dispersa asociada al núcleo frío frente a la Zona Central y escasa nubosidad alta sobre la Zona Sur.

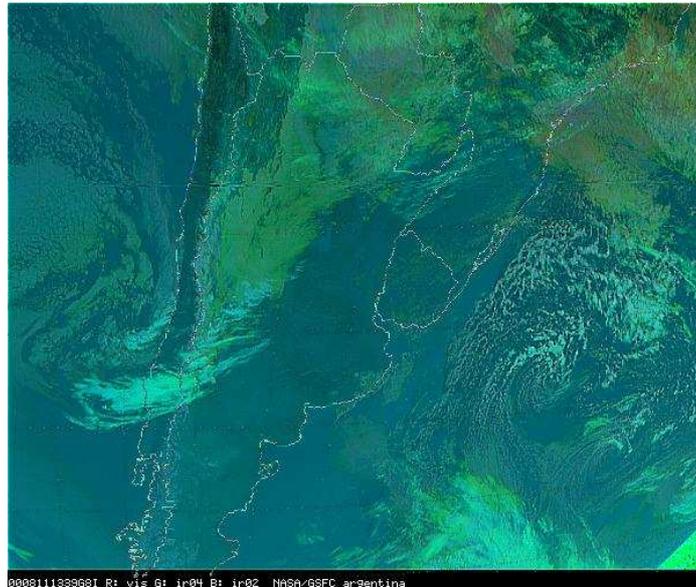


Imagen satelital IR