



Fundación Centro Nacional del Medio Ambiente
CENMA - Universidad de Chile



INFORME FINAL

RESUMEN EJECUTIVO

LMAA-006-UMET-002-2007

“Desarrollo y aplicación de un modelo de pronóstico de calidad de aire (MP10) para Temuco y Padre Las Casas”

PREPARADO POR:

**LABORATORIO DE MODELACIÓN Y ANÁLISIS
ATMOSFÉRICO DEL CENTRO NACIONAL DEL
MEDIO AMBIENTE DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE**

PARA:

**COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE
REGIÓN DE LA ARAUCANÍA**

ABRIL 2007

© Centro Nacional del Medio Ambiente
Año 2007

“Desarrollo y aplicación de un modelo de pronóstico de calidad de aire (MP10) para Temuco y Padre Las Casas”

Informe Final
Resumen Ejecutivo
LMAA-006-UMET-002-2007

Obra protegida por la Ley 17.336 sobre Propiedad Intelectual
Ninguna parte de este Informe puede ser reproducido, transmitido o almacenado, en cualquier forma o por cualquier medio, sin permiso expreso de CENMA, o de la Institución contratante del estudio.

Fundación CENMA
Prof. Víctor Pérez V, Presidente
Prof. Eugenio Figueroa B, Director Ejecutivo

Informe preparado por el Laboratorio de Modelación y Análisis Atmosférico
Manuel Merino Th, Jefe del Laboratorio de Modelación y Análisis Atmosférico, Jefe del Estudio
Gerardo Alvarado Z, Ingeniero, Encargado de Estudios y Calidad de Aire
Andrés Cabello B, Ingeniero, Experto en Modelación Numérica
Marcelo Araya M, Ingeniero, Supervisor de la Unidad de Instrumentación
Eugenio Campos L, Meteorólogo Senior
Maureen Amín D, Meteorólogo
Andrea Rivera G, Meteorólogo
Leopoldo Ponce B, Meteorólogo
Nelson Varas O, Meteorólogo
Isabel Leiva C, Ingeniero, Supervisora de terreno
Javier Vargas V, Técnico Instrumentista
Claudio Castillo A, Técnico Instrumentista

Fundación CENMA
Av. Larraín 9975, La Reina, Santiago, Chile
Teléfono: (56-2) 299 4100, Fax: (56-2) 275 1688

Introducción

El presente documento corresponde al Resumen Ejecutivo del Informe Final preparado por el Laboratorio de Modelación y Análisis Atmosférico del Centro Nacional del Medio Ambiente, en el marco de la ejecución del Estudio "Desarrollo y aplicación de un modelo de pronóstico de calidad de aire (MP10) para Temuco y Padre Las Casas", solicitado por la Comisión Nacional del Medio Ambiente, Región de la Araucanía.

CONTENIDO

1	ANTECEDENTES GENERALES	1
2	OBJETIVOS DEL ESTUDIO	2
3	ACTIVIDADES REALIZADAS DURANTE EL DESARROLLO DE LAS ECUACIONES DE PRONÓSTICO DE MP10 PARA LA CIUDAD DE TEMUCO	3
3.1	METEOROLOGÍA	3
3.2	DESARROLLO DE MODELOS DE PRONÓSTICO DE MP10 PARA LA CIUDAD DE TEMUCO	4
3.2.1	<i>Ecuaciones de pronóstico para concentraciones de MP10 resultantes</i>	<i>5</i>
3.2.2	<i>Evaluación de las ecuaciones de pronóstico para Las Encinas y Padre Las Casas</i>	<i>7</i>
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	8

1 Antecedentes Generales

El 02 de Marzo del año 2005 (DS N° 35/05), las comunas de Temuco y Padre las Casas fueron declaradas zonas saturadas por MP10 como concentración de 24 horas. Por tal motivo se dio inicio a la estructuración del Plan de Descontaminación Atmosférica (PDA) que contemple aplicación de medidas tendientes a recuperar la calidad del aire.

Un Plan de Descontaminación¹ establece que debe contar con un Plan Operacional de Episodios Críticos, que indica los instrumentos de gestión ambiental que se usarán para cumplir sus objetivos. Entre estos está el pronóstico de calidad de aire para prevenir a la población y tomar las medidas de mitigación que correspondan, a fin de proteger la salud de la ciudadanía.

En la normativa vigente² están descritos los criterios para decretar un episodio crítico por material particulado respirable (MP10), y especifica los requerimientos que debe satisfacer una metodología de pronóstico para predecir episodios de contaminación atmosférica.

Un modelo de pronóstico de calidad del aire por MP10, determina los niveles previstos de este contaminante para el día siguiente. Los resultados entregados van normalmente acompañados de una opinión experta.

Para dar cumplimiento a la implementación de un modelo de calidad de aire que permita predecir altas concentraciones de MP10, en octubre de 2006, se suscribió un contrato entre CONAMA IX Región y CENMA, para el desarrollo del estudio "Desarrollo y aplicación de un modelo de pronóstico de calidad de aire (MP10) para Temuco y Padre Las Casas". Este informe corresponde a un Resumen Ejecutivo del Informe Final de dicho estudio, el cual entrega un modelo predictivo de calidad de aire para estas comunas.

¹ D.S. N°94/95 del MINSEGRES

² D.S. N°59/1998 del MINSEGRES

2 Objetivos del estudio

Objetivo general

Diseñar un Modelo de Pronóstico de calidad del aire para Material Particulado Respirable (MP10) para las comunas de Temuco y Padre Las Casas.

Objetivos específicos

- Contar con un análisis de los patrones meteorológicos de escalas sinóptica, regional y local que modulan los episodios críticos de contaminación atmosférica en Temuco y Padre Las Casas, que permitan establecer un índice de Potencial Meteorológico de Contaminación Atmosférica (PMCA)
- Desarrollar un modelo de pronóstico de niveles de calidad de aire para MP10, basado en relaciones estadísticas entre variables meteorológicas y contaminación atmosférica

Adicionalmente se plantearon 2 objetivos específicos:

- Instalar y poner en marcha una estación meteorológica en altura.
- Capacitar a actores locales en el manejo e interpretación del modelo.

3 Actividades realizadas durante el desarrollo de las ecuaciones de pronóstico de MP10 para la ciudad de Temuco

3.1 Meteorología

Durante el período Otoño-Invierno, la característica sinóptica predominante en la Zona Sur de Chile es la incursión con frecuencia variable de masas de aire polar acompañando el paso de sistemas frontales. El paso de vaguadas y dorsales en la troposfera media, modulan en gran medida las condiciones meteorológicas que se registran en superficie.

Los datos de superficie que muestran una buena correlación con concentraciones de MP10 en Temuco son: En superficie la temperatura del aire, presión atmosférica y velocidad media del viento; además aparecen parámetros como la declinación solar, altura de 700 hPa., gradiente vertical de temperatura entre el nivel de 925 hPa medido en Puerto Montt. Sin embargo, en el desarrollo de las ecuaciones de pronóstico la variable meteorológica más relevante corresponde a las relacionadas con la temperatura mínima a escala local en ambas comunas de Temuco.

Se espera que luego de un período de registros de temperatura local en altura (Cerro Oyama), esta también pase a ser una variable meteorológica importante, ya que permite un análisis continuo del perfil vertical de temperatura y de las condiciones de estabilidad a niveles bajos. Esta variable puede ser utilizada tanto en futuras modelaciones de MP10 en Temuco como apoyo para el pronóstico operacional de calidad de aire.

Del análisis de episodios registrados en Temuco entre 2000 y 2006, se constató que la condición a escala sinóptica más recurrente propicia para condiciones de mala ventilación y dispersión corresponde al paso de altas frías al sector argentino, sincronizadas con la irrupción de una dorsal cálida en altura. Considerando como referencia la clasificación propuesta por J. Rutllant (1994), se verifica que parte importante de las configuraciones de episodios registradas en Temuco, cumplen con algunas características principales de los episodios del Tipo A, aún cuando las características topoclimáticas de Temuco difieren de las de la cuenca de Santiago.

Para efectos de análisis se clasificaron las condiciones asociadas a la irrupción de una dorsal en altura sincronizada al paso de una alta fría migratoria hacia el Este-Noreste como A (t), y las condiciones prefrontales de empeoramiento de las condiciones de ventilación, que muy rara vez se producen, como BPF (t).

Se presentan además configuraciones del Tipo A (t), asociadas a núcleos fríos sobre la Zona Central, y que determinan episodios en Temuco. En este caso se usa la nomenclatura A (t)-N (t).

El Potencial Meteorológico de Contaminación Atmosférica (PMCA) es inversamente proporcional al factor de ventilación (Rutllant y Salinas, 1983), entendiéndose por factor de ventilación el producto del espesor de la capa de mezcla superficial por el viento medio dentro de la capa. El índice da cuenta del potencial de la atmósfera para favorecer o inhibir la mezcla vertical y la dispersión de contaminantes.

En este estudio, se realizó una tipificación de las condiciones meteorológicas que a escalas sinóptica, regional y local, determinan diferentes categorías de PMCA y por lo tanto diferentes condiciones de ventilación y de dispersión de MP10 en Temuco, como se aprecia en la siguiente tabla.

Categoría PMCA	Tipificación	Condiciones de ventilación y dispersión
BAJO	1	Muy buenas
REGULAR BAJO	2	Buenas
REGULAR	3	Regulares
REGULAR/ALTO	4	Malas
ALTO	5	Malas a críticas

3.2 Desarrollo de modelos de pronóstico de MP10 para la ciudad de Temuco

Las ecuaciones de pronóstico de calidad corresponden a un modelo estadístico basado en relaciones matemáticas encontradas mediante análisis de regresión lineal múltiple, entre una variable de interés (material particulado respirable) respecto a variables de calidad de aire (MP10) y meteorología de superficie y altura. Los modelos de pronóstico utilizan la información previa al momento de realizar el pronóstico, la cual se proyectan a través del pronóstico del potencial meteorológico de calidad de aire (PMCA).

Para la generación de las ecuaciones de pronóstico para Temuco se considero el período de operación del sistema de pronóstico de MP10, en el período de otoño-invierno de 2003 al 2006, correspondiente los meses de abril a septiembre.

Se utilizó el período 2003-2005 sin incluir las variables del radiosondeo de Puerto Montt, y de esta forma asegurar la obtención de resultados de una ecuación en el caso que fallara el lanzamiento del radiosondeo. Luego, se desarrolló una ecuación incluyendo todas las variables, incluidas las de altura para los casos cuando la información esté completa. Las ecuaciones resultantes en este estudio se validaron con la información del año 2006.

El desarrollo de las ecuaciones de pronóstico para concentraciones de MP10 en Las Encinas y Padre Las Casas, se presentan en dos fases:

- La primera de ellas apuntando a encontrar ecuaciones de pronóstico para los promedios de 24h, 12h, 8h, 6h, y 1h.
- La segunda etapa que se enfoca al mejoramiento de las ecuaciones poniendo mayor énfasis en los promedios de 24h y métodos de ajuste para fortalecer el acierto en los valores extremos.

La Base de Datos inicial considera cuatro tipos de variables:

- Mediciones meteorológicas de altura. Radiosondeo de Puerto Montt (perfil de las 12 UTC de cada día, aproximadamente 08 h local).
- Mediciones horarias meteorológicas de superficie (Estación Las Encinas y Padre Las Casas).
- Mediciones horarias de calidad de aire para MP10 (Estación Las Encinas y Padre Las Casas).
- Potencial Meteorológico de Contaminación Atmosférica por MP10, es determinado a través de los pronósticos de calidad de aire elaborado por CENMA para Temuco.

La base de datos incorpora un número elevado de variables (160 para Las Encinas, y 149 para Padre Las Casas). Para obtener la mejor ecuación con un menor número de variables predictoras, se probó hasta llegar a una ecuación con el máximo coeficiente de correlación, teniendo en cuenta el análisis de componentes principales previo, que integra el estudio por separado de las relaciones entre variables meteorológicas medidas en superficie y medidas en altura por el radiosondeo realizado en Puerto Montt, e índice de colinealidad de las variables involucradas en la ecuación.

3.2.1 Ecuaciones de pronóstico para concentraciones de MP10 resultantes

Las ecuaciones propuestas a ser utilizadas operacionalmente para pronóstico para el día actual son cuatro; 2 en Padre Las Casas y 2 en Las Encinas. Para el pronóstico del día siguiente son ocho; 2 para Padre Las Casas y 6 para Las Encinas, las cuales se describen (clasifican) en la tabla siguiente.

Comuna de Padre Las Casas		
Promedios móviles de 24 horas		
EC1	Descripción: Válida para pronóstico para el día actual, incluye variables del sondeo.	Ecuación resultante: $\text{MPLE24D0} = -3.585 + 0.824 * \text{MPPL2406L} + 9.321 * \text{IMD0} - 1.079 * \text{SDIR928L} + 0.234 * \text{SDIR5008L} - 0.735 * \text{DTA5008L}$

EC2	Descripción: Válida para pronóstico para el día actual, no incluye variables del sondeo.	Ecuación resultante: $MPLE24D0=3.988+0.966*MPPL2406L+6.459*IMD0$ $+0.108*MPPL24DA-0.046*PIHMAXPLDA-$ $0.678*TMNDOPL$
EC3	Descripción: Ecuación válida para pronóstico para el día siguiente, incluye variables del sondeo.	Ecuación resultante: $MPLE24D1=2.657+20.025*IMD1+0.261*MPPL2412L+$ $1.877*DT92PL$
EC4	Descripción: Ecuación válida para pronóstico para el día siguiente, no incluye variables del sondeo.	Ecuación resultante: $MPPL24D1=-6.474+0.923*MPPL2412L+16.536*IMD1-$ $0.260*MPPL0602L-2.256*TMNDOPL+$ $1.277*TMXDAPL$
Comuna de Temuco		
Promedios móviles de 24 horas		
EC5	Descripción: Válida para pronóstico para el día actual, incluye variables del sondeo.	Ecuación resultante: $MPLE24D0=17.790+0.729*MP24LE06L+8.145*IMD0$ $+0.109*MPMAX12HLEDA-1.568*TMNDOLE-$ $0.027*WD9208L$
EC6	Descripción: Válida para pronóstico para el día actual, no incluye variables del sondeo.	Ecuación resultante: $MPLE24D0=-6.569+0.910*MP24LE06L+10.256*IMD0$ $+0.039*MPMAXLE06DA-0.073*MPLE0602L$ $+0.041*MP1HMAXLEDA$
EC7	Descripción: Ecuación válida para pronóstico para el día siguiente, incluye variables del sondeo.	Ecuación resultante: $MPLE24D1=37.950+24.728*IMD1-5.388*TMNDOLE$ $+0.083*MPLE0602L+1.845*TA9208L$
EC8	Descripción: Ecuación válida para pronóstico para el día siguiente, no incluye variables del sondeo.	Ecuación resultante: $MPLE24D1= -5.828 + 23.750*IMD1 + 0.119*$ $MPLE0806D0- 4.301* TMND0LE+ 9.310*IMD0 +$ $2.829* TMND0LEDA + 0.228* MPLE0612DA$
Promedios móviles de 24 horas para ejecutar en horas de la tarde (18h)		
EC9	Descripción: Válida para pronóstico para el día siguiente, incluye variables del sondeo.	Ecuación resultante: $MPLE24D1= 20.347 + 19.55*IMD1 - 0.059* DP8508L$ $- 3.180*TMND0LE + 0.122*MPLE0606D0 -$ $0.078*DDP8508L + 0.438*MPLE0618D0$
EC10	Descripción: Válida para pronóstico para el día siguiente, no incluye variables del sondeo.	Ecuación resultante: $MPLE24D1=-3.443+31.041*IMD1+0.803*$ $MPLE1218L -6.981*DIFIM-1.996$ $*TMND0LE+ 0.066*MPLE0606D0$ $-0.270* MPLE0612D0$

Promedios móviles de 24 horas con ajuste a los valores extremos		
EC11	Descripción: Válida para día siguiente, con sonda. El ajuste a valores extremos es sumar 36.8 µg/m ³ cuando para el día siguiente se espere un PMCA>3 y temperatura mínima sea < 4°C.	Ecuación resultante: $MPLE24D1 = 24.989 + 18.342*IMD1 - 4.742*TMND0LE + 0.127*MPLE0606D0 + 1.282*Showalter - 0.733*DECLIN - 0.122*DDP8508L + 0.145*MPLE1200DA - 0.081*DH8508L$
EC12	Descripción: Válida para el día siguiente, sin sonda. El ajuste a valores extremos incluye una ecuación especial para los días con pronóstico de PMCA alto. Ec. para día siguiente (B) + Nva. Ec. valores extremos altos (A)	Ecuación resultante: A) $MPLE24D1 = 74.101 - 11.341*TMND0LE - 3.547*DECLIN + 0.191*MPLE0806DA + 6.6*TMND0LEDA$ B) $MPLE24D1 = -5.828 + 23.750*IMD1 + 0.119*MPLE0806D0 - 4.301*TMND0LE + 9.310*IMD0 + 2.829*TMND0LEDA + 0.228*MPLE0612DA$

3.2.2 Evaluación de las ecuaciones de pronóstico para Las Encinas y Padre Las Casas

Se evaluaron y validaron con el año 2006 las ecuaciones para las máximas concentraciones promedio móvil de 24 horas, mediante tablas de contingencias para los niveles críticos establecidos a partir de los niveles de emergencia ambiental estipulados en el DS N°59 Artículo 3. Donde los aciertos por categoría se presentan en la tabla siguiente:

	Porcentaje (%) de acierto			
	Bueno a Regular	Alerta	Pre-Emergencia	Acierto Total
Padre Las Casas				
EC1	100	0	-	99.3
EC2	99.4	100	-	99.4
EC3	100	0	-	99.4
EC4	100	0	-	99.4
Temuco				
EC5	98.7	25	60	95.6
EC6	98.8	17	80	95.5
EC7	100	29.0	0	95.0
EC8	99.4	14	25	94.2
EC9	98.5	20	0	93.8
EC10	98.1	29	25	93.6
EC11	100	20	67	96.4
EC12	97.5	43	25	93.5

4 Conclusiones y Recomendaciones

Los resultados, conclusiones y recomendaciones más relevantes en este estudio son:

- Las ecuaciones de pronóstico incluyen como variable explicativa el Potencial Meteorológico de Contaminación Atmosférica pronosticado PMCA, que corresponde a una de las variables más importantes dentro de las ecuaciones ajustadas.
- Entre las variables de escala local y regional aparecen: En superficie la temperatura mínima, temperatura media, presión atmosférica y velocidad media del viento. Otros parámetros como la declinación solar, altura de 700 hPa., gradiente vertical de temperatura entre el nivel de 925 hPa medido en Puerto Montt, y la temperatura en superficie en Las Encinas y Padre Las Casas.
- El acierto de los modelos de pronóstico de 24 horas para el día siguiente es superior a 93%. Porcentaje que mejora al considerar las ecuaciones de pronóstico válidas para el mismo día (elaborado a las 10 A.M.). Por lo tanto los modelos propuestos cumplen con las exigencias de los estándares del decreto DS59/1998 que establece un nivel mínimo de acierto total del 65%.

Las recomendaciones específicas son las siguientes:

- La experiencia operacional en CENMA ha demostrado que la opinión experta es necesaria para interpretar los resultados que arrojan los modelos, especialmente en los días con concentraciones en el borde de las categorías definidas para decretar contingencias ambientales.
- Si bien las ecuaciones con sonda entregan un mejor ajuste general respecto a lo observado, se sugiere utilizar operacionalmente además las otras ecuaciones presentadas, para una mejor gestión del sistema de pronóstico en Temuco.
- A partir del análisis diario de las condiciones meteorológicas (durante la operación del pronóstico), se obtendrá una mejor estimación para la elaboración del PMCA. Se recomienda a futuro, estudiar un mejoramiento de las ecuaciones considerando este índice.
- La estación meteorológica instalada el cerro Oyama entregará una valiosa información meteorológica en altura, Este es un primer paso de gran importancia para el conocimiento y seguimiento en línea del gradiente vertical de temperatura.

- Se sugiere considerar la instalación de dos sensores adicionales de temperatura, uno ubicado en una torre sobre un edificio de la ciudad de Temuco, y el segundo a una altura intermedia entre Padre Las Casas y la estación ubicada sobre el cerro Oyama. Los datos de temperatura en la vertical entregados por estos cuatro puntos, permitirán conocer con mayor y mejor precisión el comportamiento el perfil térmico vertical y el comportamiento de la capa de mezcla. Se recomienda a futuro, estudiar las ecuaciones considerando esta variable.
- La información que proporciona el Radiosondeo de Puerto Montt no es necesariamente representativo de las condiciones que se presentan en Temuco, el meteorólogo experto deberá determinar caso a caso si para una condición determinada el sonda es o no representativo de la condición de Temuco.
- Sería recomendable disponer de información de los perfiles verticales atmosféricos, ya sea mediante lanzamiento de globos sondas, sistemas automáticos (ecosonda), o sensores de temperatura a diferentes niveles como se propone en el punto anterior.