



CENTRO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

INFORME FINAL
"IMPLEMENTACIÓN Y OPERACIÓN DIARIA DE MODELO
DE PRONÓSTICO DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA
POR MP10 Y MP2.5 EN TEMUCO 2013"

LICITACIÓN N° 608897-12-LE13

UMGCA-015-LMPCA-010-2013

RESUMEN EJECUTIVO

PREPARADO PARA

SECRETARIA REGIONAL MINISTERIAL DEL MEDIO AMBIENTE
REGIÓN DE LA ARAUCANÍA

SANTIAGO, 25 NOVIEMBRE DE 2013

Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA), Año 2013

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

Fundación Centro Nacional del Medio Ambiente CENMA

Prof. Víctor Pérez, Presidente

Dr. Ítalo Serey, Director Ejecutivo

Sr. Jaime Durán, Director de Desarrollo Estratégico y Coordinación de Proyectos

Sr. Marcelo Larrondo, Jefe Control de Proyectos

Informe desarrollado por el Laboratorio de Meteorología y Pronóstico de la Calidad del Aire

Equipo de Meteorología

Manuel Merino, Jefe del Laboratorio de Meteorología Aplicada

Maureen Amín, Meteoróloga Senior, Jefe de Proyecto

Eugenio Campos, Meteorólogo Senior, Jefe de Turno

Diego Campos, Meteorólogo, Modelación Estadística

Ricardo Abarca, Meteorólogo, Modelación Estadística

Equipo de Monitoreo:

Gerardo Alvarado, Jefe del Laboratorio de Monitoreo

Javier Vargas, Instrumentación

Rodrigo López, Instrumentación

Fundación Centro Nacional del Medio Ambiente

Av. Larraín 9975, La Reina, CP: 788-0096

Santiago, Chile

Tel: (56-2) 2927 5500, Fax: (56-2) 2 275 1688



Informe Final Pronóstico Temuco Periodo 2013
Resumen Ejecutivo

Contenido

1	Antecedentes Generales	1
2	Resumen de Resultados	2
2.1	Acuerdo PMCA.....	2
2.2	Acuerdo Modelo Calidad del Aire	2
2.2.1	Evaluación Modelo MP10 Promedio Móvil con sonda.....	3
2.2.2	Evaluación Modelo MP10 Promedio Diario 0 a 23 horas	4
2.2.3	Evaluación Modelo MP10 Considerando Episodio, No Episodio y Opinión Experta.....	4
2.2.4	Evaluación Modelo MP2.5 Promedio Móvil	5
2.2.5	Evaluación Modelo MP2.5 Promedio Diario	6
2.2.6	Conclusiones del desempeño de las herramientas de pronóstico	7
2.3	Episodios de Contaminación por MP2.5 constatados.....	10
2.4	Nuevas Ecuaciones para el Pronóstico de MP2.5	12
2.5	Operación Torre Oyama.....	14
2.6	Análisis Efectos en las Concentraciones de MP2.5 por Restricción Uso de Leña ...	15
2.7	Propuestas de Mejoramiento al Sistema de Pronóstico y Gestión de Episodios en Temuco.....	16
2.7.1	Aseguramiento y control de la calidad de la información	16
2.7.2	Utilización de periodos fijo de 24 horas de MP2.5 para pronósticos de calidad de aire	17
2.7.3	Actualización de coeficientes de las ecuaciones y búsqueda de variables predictoras.....	17
2.7.4	Optimización de la determinación gradiente térmico vertical	18
2.7.5	Evaluación del pronóstico de Calidad de Aire considerando el impacto de la reducción de emisiones en episodios	18
2.7.6	Incorporación de nuevas metodologías de pronóstico de calidad de aire	18
2.7.7	Trabajo en equipo de especialistas de SEREMI del Medio Ambiente Región de la Araucanía y CENMA	19
2.7.8	Pronóstico para otras ciudades de la macro zona sur	19
2.7.9	Medida restrictiva de uso de leña en un perímetro de la ciudad de Temuco...	19

1 Antecedentes Generales

Desde el 15 de abril al 15 de octubre de 2013, CENMA desarrolló el Proyecto "Implementación y Operación Diaria de un Modelo de Pronóstico de Contaminación Atmosférica por MP10 y MP2.5 en Temuco", para la SEREMI de MA de la Región de La Araucanía.

Se efectuaron análisis y pronósticos diarios de condiciones meteorológicas que determinan los niveles de calidad de aire por MP10 y MP2.5 en Temuco; y se operaron los Modelos de Calidad de Aire para la Región. El servicio fue realizado por un equipo de meteorólogos especializados en pronósticos meteorológicos orientados a calidad de aire, integrando roles de turnos en un trabajo ininterrumpido incluyendo fines de semana y festivos.

El sistema de pronóstico operado por CENMA se desarrolló para apoyar a la SEREMI del Medio Ambiente Región de La Araucanía, en la toma de medidas asociadas a la Gestión de Episodios Críticos por MP10 y MP2.5 en Temuco.

La finalidad del Sistema de Pronóstico en la Gestión de Episodios, es entregar a la Autoridad Ambiental información oportuna, que le permita tomar medidas eficientes al preverse altas concentraciones de contaminantes, y dar aviso a la población difundiendo recomendaciones para proteger su salud.

Desde el 14 de junio la Autoridad decretó medidas de contingencia frente a episodios de MP2.5 pronosticados, consistentes en medidas restrictivas al uso de leña para un perímetro de la ciudad en el entorno de Las Encinas, durante el horario del peak nocturno.

2 Resumen de Resultados

En los puntos siguientes se destacan los resultados de este Servicio:

2.1 Acierto PMCA

La tabla que se presenta a continuación muestra la evaluación del PMCA por categorías, considerados el PMCA observado y pronosticado, para el periodo 15 de abril al 15 de octubre de 2013, 184 días en total.

Tabla 1 Evaluación PMCA pronosticado con 24 horas de anticipación

PMCA 24h 15 Abr- 15 Oct 2013							
PMCA	Observado						
Pronos 24h	Bajo	Regular/Bajo	Regular	Regular/Alto	Alto	Total	% Acierto
Bajo	16	1	0	0	0	17	94,1
Regular/Bajo	0	45	5	0	0	50	90,0
Regular	0	1	53	4	0	58	91,4
Regular/Alto	0	0	19	38	0	57	66,7
Alto	0	0	0	1	1	2	50,0
Total	16	47	77	43	1	184	
%Acierto	100,0	95,7	68,8	88,4	100,0		
N° Aciertos	153						
%Acierto Total	83,2						
Skill-Score	63,7						

La Tabla 1 muestra un alto porcentaje de acierto total (83.2%) y también por categorías.

El Skill-Score relativo a la persistencia indica que el pronóstico de PMCA a 24 horas fue significativamente mejor que el de referencia, alcanzando un mejoramiento de 63.7%.

2.2 Acierto Modelo Calidad del Aire

Es importante señalar que en las tablas de contingencia siguientes, se integra el acierto total y por categorías según lo observado y pronosticado para todo el periodo 2013. El porcentaje de ENA y FA que se incorporan en la misma tabla, no corresponden a la diferencia respecto al acierto total, sino que se calculan en función de los episodios, definidos como aquellos días en que se pronosticó u observó un nivel de alerta, preemergencia o emergencia ambiental.

Categorías Calidad del Aire por MP10 utilizadas en el Sistema de Pronóstico para la ciudad de Temuco

Nivel Calidad Aire ¹	Predictando MP10 PromMóvil, Prom 7-6, Prom Diario
0 BUENO	Menor que 150µg/m ³
0 REGULAR	Mayor o igual a 150µg/m ³ y menor que 195µg/m ³
1 ALERTA	Mayor o igual a 195 µg/m ³ y menor que 240 µg/m ³
2 PREEMERGENCIA	Mayor o igual a 240 µg/m ³ y menor que 330 µg/m ³
3 EMERGENCIA	Mayor que 330 µg/m ³

2.2.1 Evaluación Modelo MP10 Promedio Móvil con sonda

La tabla siguiente muestra los resultados de la ecuación que contempla como predictando el promedio móvil máximo de MP10 esperado para el día siguiente en Las Encinas e integra el radiosondeo de Puerto Montt.

Tabla 2. Ecuación Temuco Promedio Móvil con sonda

TABLA DE CONTINGENCIA ACIERTO PRONÓSTICO CALIDAD DE AIRE TEMUCO PARA EL DÍA SIGUIENTE (CON SONDA)

Desde 15-04-2013	Observado				Total	% Acierto
	Bueno-Regular	Alerta	Pre-emergencia	Emergencia		
Bueno-Regular	127	4	5	2	138	92,0
Alerta	1	3	1	0	5	60
Pre-emergencia	1	0	1	0	2	50
Emergencia	0	0	0	0	0	-----
Total	129	7	7	2	145	
% Acierto	98,4	42,9	14,3	0,0		
Número aciertos	131					
% Acierto total	90,3					
% ENA	68,8					
% FA	1,6					

La Tabla 2 muestra un acierto total de 90.3%; alto porcentaje de Episodios No Alertados (ENA) y bajo porcentaje de Falsas Alarmas (FA). Al igual que en el Modelo anterior, esta evaluación es rígida, por categorías y no integra la opinión experta.

¹ DS 50 Minsepres 1998

2.2.2 Evaluación Modelo MP10 Promedio Diario 0 a 23 horas

Tabla 3. Ecuación Temuco Promedio Diario MP10

TABLA DE CONTINGENCIA ACIERTO PRONÓSTICO PROMEDIO DÍA 0-23 HRS PARA EL DÍA SIGUIENTE

Desde 15-04-2013 Pronosticado día siguiente	Observado				Total	% Acierto
	Bueno-Regular	Alerta	Pre-emergencia	Emergencia		
Bueno-Regular	126	4	2	0	132	95,5
Alerta	7	1	1	0	9	11
Pre-emergencia	1	0	0	0	1	0
Emergencia	0	0	0	0	0	-----
Total	134	5	3	0	142	
% Acierto	94,0	20,0	0,0	-----		
Número aciertos	127					
% Acierto total	89,4					
% ENA	75,0					
% FA	6,0					

Se observa en la Tabla 3 que considerando este Modelo, se logra un alto porcentaje de acierto total (88.2%), alto porcentaje de Episodios No Alertados (ENA) y bajo porcentaje de Falsas Alarmas.

Resulta evidente considerando los resultados de estas ecuaciones de pronóstico, la subestimación para los niveles de episodios de contaminación finalmente observados.

Durante este periodo los resultados de estas ecuaciones fueron sometidas a un juicio experto, utilizando criterios basados en la experiencia y en la interpretación de los resultados de las ecuaciones de pronóstico.

2.2.3 Evaluación Modelo MP10 Considerando Episodio, No Episodio y Opinión Experta

Al integrar la opinión experta a los resultados anteriores por MP10, se logra reducir el porcentaje de ENA, lo cual es relevante dado el carácter preventivo del sistema pronóstico de episodios.

Tabla 4. Ecuación Temuco Promedio Diario MP10 considerando Episodio-No Episodio y Opinión Experta

MP10	OBSERVADO			
	No Episodio	Episodio	Total	% Acierto
Pronosticado				
NO Episodio	125	4	129	96,9
Episodio	16	13	29	44,8
Total	141	17	158	
% Acierto	88,7	76,5		
Nº Aciertos	138			
% Acierto Total	87,3			
Epi. No Alertado	23,5%			
Falsas Alarmas	11,3%			

La Tabla 4 muestra que el acierto global baja ligeramente debido al incremento de las FA, lo cual es consistente con la consideración del peor escenario de calidad del aire esperado para la definición del resultado final.

2.2.4 Evaluación Modelo MP2.5 Promedio Móvil

Las tablas siguientes muestran los resultados considerando las ecuaciones experimentales de MP2.5, considerando los niveles de episodio descritos en la norma primaria para este contaminante.

Categorías Calidad del Aire por MP2.5 utilizadas en el Sistema de Pronóstico para la ciudad de Temuco

Nivel Calidad Aire	Promedio diario MP2.5
0 BUENO	Menor que 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
0 REGULAR	Mayor o igual a 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y menor que 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
1 ALERTA	Mayor o igual a 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y menor que 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
2 PREEMERGENCIA	Mayor o igual a 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y menor que 170 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
3 EMERGENCIA	Mayor que 170 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Tabla 5. Ecuación Temuco Promedio Móvil MP2.5

TABLA DE CONTINGENCIA ACIERTO PRONÓSTICO PARA MP2,5 MÁXIMO PROMEDIO MÓVIL

Desde 15-04-2013	Observado				Total	% Acierto
Pronosticado día siguiente	Bueno-Regular	Alerta	Pre-emergencia	Emergencia		
Bueno-Regular	75	11	3	4	93	80,6
Alerta	6	8	4	4	22	36
Pre-emergencia	4	6	10	6	26	38
Emergencia	0	1	2	5	8	62,5
Total	85	26	19	19	149	
% Acierto	88,2	30,8	52,6	26,3		
Número aciertos	98					
% Acierto total	65,8					
% ENA	28,1					
% FA	11,8					

Se aprecia en la Tabla 5 que considerando este Modelo, se logra un porcentaje de acierto total (65.8%) para el pronóstico de MP2.5, mejora el porcentaje de Episodios No Alertados (ENA) y se mantiene bajo el porcentaje de Falsas Alarmas.

2.2.5 Evaluación Modelo MP2.5 Promedio Diario

Tabla 6. Ecuación Temuco Promedio Diario MP10

TABLA DE CONTINGENCIA ACIERTO PRONÓSTICO PARA MP2,5 PROMEDIO DÍA 0-23 HRS PARA EL DÍA SIGUIENTE

Desde 15-04-2013	Observado				Total	% Acierto
	Bueno-Regular	Alerta	Pre-emergencia	Emergencia		
Bueno-Regular	84	6	1	2	93	90,3
Alerta	9	6	3	0	18	33
Pre-emergencia	11	8	9	4	32	28
Emergencia	0	2	1	2	5	40,0
Total	104	22	14	8	148	
% Acierto	80,8	27,3	64,3	25,0		
Número aciertos	101					
% Acierto total	68,2					
% ENA	20,5					
% FA	19,2					

La Tabla 6 muestra que considerando el pronóstico de MP2.5 como promedio diario del día siguiente, se logra un acierto total de 68.2%, baja el porcentaje de Episodios No Alertados y sube ligeramente el porcentaje de Falsas Alarmas. Este resultado cumple con mayor eficiencia el pronóstico de carácter preventivo, en relación a las ecuaciones anteriores, pues aunque es menor el acierto total, disminuyen los ENA y las FA se mantienen en torno a un 20%.

Tabla 7. Ecuación Temuco Promedio Diario MP2.5 considerando Episodio-No Episodio y Opinión Experta

MP2.5	OBSERVADO			
	No Episodio	Episodio	Total	% Acierto
NO Episodio	109	11	120	90,8
Episodio	22	39	61	63,9
Total	131	50	181	
% Acierto	83,2	78,0		
Nº Aciertos	148			
% Acierto Total	81,8			
Epi. No Alertado	22,0%			
Falsas Alarmas	16,8%			

Se observa en la Tabla 7 que los resultados del acierto total de la ecuación para MP2.5 como promedio diario, considerando la opinión experta, muestran que baja ligeramente el acierto total, disminuyen ligeramente los ENA, y aumentan ligeramente las FA, cumpliéndose de esta forma el carácter preventivo del sistema de pronóstico.

2.2.6 Conclusiones del desempeño de las herramientas de pronóstico

- ✓ Se cumplieron los objetivos y actividades propuestas para el desarrollo e implementación de las herramientas de pronóstico por MP10 y MP2.5 contemplados en las Bases Técnicas del Servicio y en la Propuesta Técnica de Cenma.

El PMCA es un indicador que integra la información meteorológica de escalas sinóptica, regional y local asociadas a calidad del aire, presenta un alto grado de acierto, y consecuentemente ha demostrado ser una herramienta esencial para el pronóstico de calidad del aire en la Región.

- ✓ De acuerdo a este indicador, los PMCA atribuibles a ventilación muy buena, buena y regular (PMCA 1, PMCA2 y PMCA3) totalizaron un 76.1 % de los días durante la temporada 2013 (75.5% el 2012). El 23.9% restante (24.5 % el 2012), es decir 44 días de un total de 184 se observaron condiciones meteorológicas asociadas a condiciones de ventilación malas y críticas (PMCA 4 y PMCA 5, respectivamente).
- ✓ Los resultados indican un buen desempeño del pronóstico de PMCA durante el periodo 15 de abril al 15 de octubre de 2013, alcanzando un acierto total de 83.2%

para el pronóstico con 24 horas de anticipación, y 68.1% para el pronóstico a 48 horas.

- ✓ El alto valor del Skill-Score para el pronóstico a 24 horas de 63.7%, y a 48 horas, 49.1%, calculado en función de un pronóstico de persistencia, indica que el PMCA pronosticado fue significativamente superior al pronóstico de referencia.
- ✓ Aunque de momento el valor del PMCA se aplica al MP10 e indirectamente para el MP2.5, se evidencia que los niveles para los rangos de concentraciones de MP10 difieren respecto a los niveles alcanzados en los rangos de concentraciones de MP2.5. Por ejemplo, con PMCA 3 se observaron concentraciones en nivel Regular para MP10, pero niveles superiores para MP2.5.
- ✓ No fue necesario un ajuste del PMCA original para el MP2.5. Esto porque el Indicador está basado en configuraciones meteorológicas tipo, por lo tanto, se estimó conveniente continuar con las definiciones originales del PMCA, ajustando el peso de los coeficientes en las ecuaciones para MP2.5.

Respecto a las ecuaciones de pronóstico de calidad del aire:

Los resultados de los modelos de calidad de aire para MP10 aplicados a la zona fueron los siguientes:

- ✓ La ecuación para el periodo fijo de 07AM del día 1 a las 06 AM del día 2_Primer Ajuste, tuvo un porcentaje total de acierto de 84.4%, ENA 60.0% y FA 10.4%.
- ✓ La ecuación para el periodo fijo de 07AM del día 1a las 06 AM del día 2_Segundo Ajuste, tuvo el mismo rendimiento que la ecuación que considera el primer ajuste.
- ✓ La ecuación que considera el promedio móvil y el sonda de Puerto Montt tuvo un porcentaje total de acierto de 90.3%, ENA 68.8% y FA 1.6%.
- ✓ La ecuación que considera el promedio móvil sin sonda de Puerto Montt tuvo un porcentaje total de acierto de 88.2%, ENA 93.3% y FA 1.6%.
- ✓ La ecuación que considera el promedio diario, registró un acierto total de 89.4%, 75% ENA y 6.0% FA.
- ✓ Considerando Episodio y No Episodio, se alcanza un acierto total de 90.1%, ENA 75% y FA 6%.
- ✓ Considerando Episodio y No Episodio más la Opinión Experta, el acierto total es 87.3%, ENA 23.5% y FA 11.3%

Los resultados de los modelos de calidad de aire para MP2.5 aplicados a la zona fueron los siguientes:

- ✓ Operativamente el pronóstico de este año, al igual que el 2012, fue orientado a MP2.5, siendo un desafío al considerar esta norma en las ecuaciones sumado a la declaración de alerta sanitaria por la autoridad, la cual incluyó medidas de prohibición de uso de leña domiciliaria a un polígono de la ciudad.
- ✓ Otro desafío fue la determinación con precisión de la categoría o nivel estimado para el día siguiente como promedio fijo de 0 a 23 de las concentraciones de MP2.5. Esto se debe principalmente a que los niveles para concentraciones de 24 horas de MP2.5 son más exigentes (niveles más bajos que para concentraciones de MP10), y además los rangos (intervalos) de dichos niveles son más acotados que los rangos de los niveles de MP10.
- ✓ Durante el periodo de pronóstico se consideró en la opinión experta, el peor escenario de calidad de aire que se pudiera presentar bajo un escenario meteorológico determinado, privilegiando el carácter preventivo del pronóstico en la gestión de episodios. Los resultados fueron entregados en base a probabilidades. Este criterio fue adoptado para apoyar a la Autoridad Ambiental en la entrega oportuna de información a la población, tendiente a proteger su salud, previniéndola de la exposición a altas concentraciones de MP2.5.
- ✓ La Ecuación que pronostica el promedio móvil máximo del día siguiente, alcanzó un acierto total de 65.8%, ENA 28.1% y FA 11.8%
- ✓ La Ecuación que pronostica el promedio diario, alcanzó un acierto total de 68.2%, ENA 20.5% y FA 19.2%
- ✓ Considerando Episodio y No Episodio, se alcanza un acierto total de 80.4%, ENA 20.5% y FA 19.2%.
- ✓ Considerando Episodio y No Episodio más la Opinión Experta, el acierto total es 81.8%, ENA 22% y FA 16.8%

2.3 Episodios de Contaminación por MP2.5 constatados

La Tabla siguiente indica el número de eventos por MP2.5 constatados en Las Encinas, agrupados según la condición sinóptica imperante, pudiendo en reiteradas oportunidades prolongar su duración por varios días.

La principal configuración sinóptica asociada a los eventos de contaminación fue del tipo A (t), que corresponde a la presencia de una dorsal en altura y altas presiones de origen frío en superficie².

Tabla 8 Episodios MP2.5 constatados Abril – Octubre 2013

Evento	MP2.5 Registrado Promedio Diario ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Nivel alcanzado según normativa	Tipo Episodio
Nº1 13 – 14 de abril	13: 108 14: 126	13: Alerta 14: Preemergencia	A (t)
Nº2 06 – 07 de mayo	06: 105 07: 88	06: Alerta 07: Alerta	A (t)
Nº3 14 - 20 de mayo	14: 95 15: 163 16: 148 17: 157 18: 123 19: 159 20: 93	14: Regular 15: Preemergencia 16: Preemergencia 17: Preemergencia 18: Preemergencia 19: Preemergencia 20: Alerta	A (t) – N (t)
Nº4 05 - 12 de junio	05: 122 06: 147 07: 89 08: 181 09: s/i 10: s/i 11: 192 12: 96	05: Preemergencia 06: Preemergencia 07: Alerta 08: Emergencia 09: s/i 10: s/i 11: Emergencia 12: Alerta	A (t) –BPF (t)
Nº5 16 de junio	16: 136	16: Preemergencia	A (t)
Nº6 18 - 20 de junio	18: 88 19: 226 20: 106	18: Alerta 19: Emergencia 20: Alerta	A (t)
Nº7 22 – 25 de junio	22: 135 23: 145 24: s/i 25: 137	22: Preemergencia 23: Preemergencia 24: s/i 25: Preemergencia	A (t)
Nº8 05 – 08 de julio	05: 95 06: 78 07: 202 08: 94	05: Alerta 06: Regular 07: Emergencia 08: Alerta	A (t)
Nº9 18 – 24 de julio	18: 131 19: 49 20: 90 21: 256 22: 150	18: Preemergencia 19: Bueno 20: Alerta 21: Emergencia 22: Preemergencia	A (t) –BPF (t)

² CENMA (2001) Tipificación de condiciones meteorológicas asociadas a distintas categorías de PMCA en Temuco

	23: 104 24: 104	23: Alerta 24: Alerta	
Nº10 28 de julio	28: 80	12: Alerta	A (t)
Nº11 31 de julio al 01 de agosto	31: 99 01: 98	31: Alerta 01: Alerta	A (t) – N (t)
Nº12 08 - 09 de agosto	08: 97 09: 110	08: Alerta 209: Preemergencia	A (t)
Nº13 12 - 14 de agosto	12: 131 13: 159 14: 93	26: Preemergencia 27: Preemergencia 28: Alerta	A (t)
Nº14 17 de agosto	17: 104	17: Alerta	A (t)
Nº15 22 de agosto	22: 104	22: Alerta	A (t)
Nº16 25 de agosto	25: 133	25: Preemergencia	A (t) – N (t)
Nº17 13 de septiembre	13: 90	13: Alerta	Similar A (t)
Nº18 28 de septiembre	28: 81	28: Alerta	A (t)

2.4 Nuevas Ecuaciones para el Pronóstico de MP2.5

Se consideró la Ecuación Con Sonda Ajustada adicionando el Error Criterio como la mejor ecuación para reformular como una ecuación de promedio fijo 00:00 a 23:00 horas:

$$\text{MP2.5LE24D1} = -20.33 + 0.04 \cdot \text{MPLE0602L} + 31.12 \cdot \text{IMD1} - 1.92 \cdot \text{DECLIN} - 3.03 \cdot \text{Tmin}_9\text{D1} - 1.66 \cdot \text{Tmedia24hD1} - 0.67 \cdot \text{WS}_P24\text{D1} + 1.02 \cdot \text{Showalter}$$

Variables consideradas

MPLE24D1	Valor Medio de 24 horas de MP2.5 para el día siguiente en la estación Las Encinas
MPLE0602L	Valor móvil de 6 horas de MP2.5 a la 01 :00 hora local en la estación Las Encinas
IMD1	PMCA pronosticado para el día siguiente
DECLIN	Declinación solar
Tmin_9D1	Valor mínimo de la temperatura pronosticado para el día siguiente en la mañana
Tmedia24hD1	Valor medio de 24 de la temperatura pronosticado para el día siguiente
WS_P24D1	Valor medio de 24 de la intensidad del viento pronosticado para el día siguiente
Showalter	Índice de estabilidad atmosférica obtenido a partir del Radiosondeo de Puerto Montt

Tabla 9 Evaluación MP2.5 observado y pronosticado

Ec MP2.5_2.3	OBSERVADO					
Pronosticado	BUENO-REGULAR	ALERTA	PRE-EMERGENCIA	EMERGENCIA	Total	% Acierto
BUENO-REGULAR	77	3	0	0	80	96,3
ALERTA	14	8	3	0	25	32
PRE-EMERGENCIA	3	7	11	5	26	42
EMERGENCIA	0	1	1	0	2	0,0
Total	94	19	15	5	133	
% Acierto	81,9	42,1	73,3	0,0		
Número aciertos	96					
% Acierto total	72,2					
%FA	32,1					
% ENA	2,6					

La Tabla muestra que el acierto total es de un 72,2 %, con un 32,1% de Falsas Alarmas (concentradas principalmente en el rango Bueno-Regular a Alerta) y un 2,6% de Episodios No Alertados (concentrados principalmente en los rangos Alerta a Bueno-Regular y Emergencia a Preemergencia).

El nivel de Emergencia es sub-pronosticado, sin embargo en los 5 casos en que se constató este nivel, el modelo pronosticó Preemergencia.

Las Preemergencias tienen un acierto de 73,3%, de 15 casos en 11 se acertó plenamente, en 3 se pronosticó Alerta y en 1 caso se pronosticó Emergencia.

Las Alertas, tienen un acierto pleno de 42,1%, en 8 ocasiones hubo acierto pleno, en 7 se pronosticó preemergencia, en 1 ocasión se pronosticó emergencia y en 3 se previó Bueno a Regular, quedando de manifiesto que es un nivel difícil de pronosticar acertadamente.

El acierto en el Nivel Bueno a Regular, alcanzó a un 81,9%, con 77 aciertos y 17 casos en que el modelo sobre-pronosticó.

Por otra parte el acierto total alcanzado 72,2% cumple con el requerimiento de confiabilidad del pronóstico de calidad de aire (65%), establecido en el DS 59 de Minsegres de 1998.

De los nuevos coeficientes encontrados para el MP2.5 se desprende lo siguiente:

- Fue posible desarrollar una ecuación de pronóstico para MP2.5 utilizando datos observados de MP2.5. No se utilizó la relación entre el MP10 y el MP2.5, que era uno de los caminos propuestos a finales del año 2012.
- La ecuación de pronóstico, logra estimar de manera aceptable los Episodios de Contaminación Atmosférica, ya que muestra sólo un 9.8% de Episodios No Alertados; sin embargo el porcentaje de Falsas Alarmas es de 54.5%. Este alto porcentaje de Falsas Alarmas se asociaría por una parte a que el modelo pronostica el peor escenario privilegiando la protección de la salud de la población: y por otra parte incidiría una disminución de las emisiones por medidas propuestas y/o implementadas por la Autoridad cuando se previó episodios de alta contaminación atmosférica por MP2.5.
- El cálculo de un Error Criterio podría mejorar el pronóstico de los valores más altos, tal y como se ha desarrollado en años anteriores para las ecuaciones de MP10.
- Se sugiere aplicar experimentalmente esta ecuación durante la temporada de episodios 2014.

2.5 Operación Torre Oyama

Tabla 10 Información de Porcentaje de Datos Recolectados Periodo 2013

Mes	Temperatura %	Vel Viento %	Dir Viento %	Humedad %
Enero	100	100	100	100
Febrero	100	100	100	100
Marzo	100	100	100	100
Abril	98	100	100	93
Mayo	89	100	100	77
Junio	100	100	100	35
Julio	100	100	100	100
Agosto	100	100	100	100
Septiembre	100	100	100	100
Octubre	100	100	100	100

Para velocidad y dirección de viento hay un 100% de datos válidos. Desde fines de abril el sensor de temperatura y humedad presentó algunos períodos con funcionamiento anormal, lo cual explica el menor porcentaje de datos válidos en abril y mayo. Durante junio el funcionamiento del sensor de humedad relativa empeoró siendo necesario una nueva visita el 20 de junio para su reemplazo, por este motivo el porcentaje de datos válidos de humedad relativa es 35%.

La operación de la estación Oyama a cargo de CENMA comenzó oficialmente el 1 de abril de 2013.

El día 17 de abril se realizó una visita para mantención preventiva de la estación y conectar la estación mediante un enlace celular Entel, el cual ha funcionado con mayor estabilidad respecto a la experiencia del año 2012, manteniendo la estación online todos los días para apoyar la elaboración del pronóstico.

Durante la visita del 17 de abril se realizó una rotación de sensores, es decir se instalaron sensores de CENMA calibrados y se retiraron los sensores de temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección de viento para realizar la mantención y calibración de la estación.

En la visita final, 20 de junio, se realizaron pruebas de intercomparación, pruebas de comunicación y cambio de sensores (temperatura y humedad relativa).

La información estuvo disponible para ser utilizada en la elaboración del pronóstico para Temuco, cumpliendo con el objetivo específico h) "Efectuar la recuperación de la información meteorológica de la estación de altura Torre Uyama, considerando el equipamiento necesario para su operación, mantención y transmisión de la información generada". La actividad asociada, incluida en los TdR y en la propuesta técnica, fue:

i) "Habilitación de los sistemas de transmisión de información según los requerimientos de operación. Recuperación diaria de la información de ésta para su ingreso al modelo. Mantención preventiva y correctiva. Chequeo de sensores e instrumental. Visitas periódicas (al menos 2)".

2.6 Análisis Efectos en las Concentraciones de MP2.5 por Restricción Uso de Leña

El análisis estadístico realizado muestra que aquellos días sometidos a restricción de uso de leña en un perímetro de Temuco presenta en el sector de Las Encinas, en promedio, concentraciones inferiores a aquellos días sin restricción de uso de leña.

Esta reducción en las concentraciones es estadísticamente significativa según lo entregado por la Prueba de T-Student. Se logró evaluar que en un 71% de los días en que la medida fue implementada, se habría logrado reducir las concentraciones resultantes desde el Nivel pronosticado Pre-Emergencia al Nivel de Alerta.

El ciclo diario medio muestra que en aquellos días con restricción, el promedio horario en horas de la tarde y noche (entre las 17:00 y 23:00 horas aproximadamente) es significativamente inferior a aquellos días sin la restricción. En promedio durante estas horas, se reducen en un 49% las concentraciones horarias.

En general, se observa un desfase en la hora de ocurrencia del peak nocturno, registrándose en horas de la madrugada y no en horas de la noche como es lo típico. Aunque se distingue una disminución en el peak nocturno lo que podría generar una disminución en el promedio diario del MP, el desfase del peak observado podría afectar –eventualmente- al día siguiente, con un aumento en el promedio diario de las concentraciones.

Se puede concluir que la restricción del uso de leña en la ciudad de Temuco, produce un efecto positivo, disminuyendo las concentraciones de MP2.5 registradas en la estación Las Encinas, en las horas en que la medida es efectiva (peak nocturno), incidiendo además en la disminución del promedio diario.

Se sugiere apoyar este análisis con la herramienta estadística Mann-Kendall³ generada para la Seremi del Medio Ambiente de la Araucanía.

2.7 Propuestas de Mejoramiento al Sistema de Pronóstico y Gestión de Episodios en Temuco

2.7.1 Aseguramiento y control de la calidad de la información

Para el análisis, seguimiento continuo y elaboración de pronósticos de PMCA y de Calidad de Aire, es necesario contar con toda la información meteorológica y de calidad del aire en línea, con registros continuos y confiables, ya que de la oportunidad, continuidad y calidad de los registros reportados por las estaciones de monitoreo, dependen en gran medida los resultados obtenidos al operar el sistema de pronóstico.

Desde el punto de vista de la oportunidad de la información, la red SIVICA no permitió la visualización de datos horarios continuos, sino solo de promedio diarios. Esta falencia fue suplida con la información disponible en la página web de la consultora Algoritmos³, no obstante se presentaron igualmente algunos inconvenientes aislados. Para la obtención de información meteorológica se debió recurrir a otras fuentes de información como la red meteorológica de Agroclima⁴ y la red DMC⁵ para complementar el análisis diario y contar con información oficial.

Respecto al control de la calidad de la información, es importante contar con una base de datos con protocolos de validación operacionales.

Para asegurar una base de datos robusta y confiable se debe realizar un control de calidad de los datos de meteorología y calidad de aire. Si bien el control de calidad de los datos en rigor debiera partir con controles anteriores a los registros, esto es con la selección, calibración e instalación de los instrumentos y verificación del sistema de almacenamiento de datos, se debe aplicar también una validación posterior para asegurar la calidad de la información.

³<http://200.73.31.51/vdv/index.html>

⁴ www.agroclima.cl

⁵ www.meteochile.cl

2.7.2 Utilización de periodos fijo de 24 horas de MP2.5 para pronósticos de calidad de aire

Como el cálculo de la norma de calidad diaria del MP10 y el MP2.5 están basadas en promedios diarios, y considerando la alta correlación entre los promedios móviles y los promedios 0-23, se desarrollaron e implementaron nuevas ecuaciones para las estaciones de Las Encinas y Padre Las Casas a partir de un nuevo predictando (promedio diario 0-23).

Dado que los niveles para decretar un episodio crítico por MP2.5 son más estrictos que los utilizados para el MP10, y como el propósito fundamental de la Gestión de Episodios Críticos es proteger la salud de la población, se sugiere utilizar durante la temporada 2014 el pronóstico del promedio fijo de 24 horas (promedio diario 0-23) para MP2.5 para la toma de decisiones.

2.7.3 Actualización de coeficientes de las ecuaciones y búsqueda de variables predictoras

A partir del desarrollo de nuevas ecuaciones de pronóstico, se sugiere mantener una actualización periódica de los coeficientes de las ecuaciones, de modo de intentar capturar las variaciones que se producen de año en año en las emisiones y concentraciones resultantes. En este proceso es necesario incluir en el análisis las condiciones meteorológicas de dispersión registradas en los años considerados, de modo de hacerlos comparables.

Para el caso de las ecuaciones desarrolladas para el pronóstico de MP2.5, se sugiere utilizar estas nuevas ecuaciones durante la temporada 2014.

Con relación a la búsqueda de nuevas variables predictoras, durante la temporada 2013, se observó que el MP2.5 sube rápidamente aún en condiciones de moderada estabilidad atmosférica, y se hace necesario afinar el pronóstico de la noche a nivel más local, en términos de temperatura, nubosidad y precipitación. Estas variables pueden ser obtenidas de modelos de mesoescala como el WRF.

2.7.4 Optimización de la determinación gradiente térmico vertical

La actual SEREMI de MA de la Región de la Araucanía, instaló en el Cerro Oyama una estación meteorológica que permite determinar el gradiente vertical de temperatura a escala local, sobre la base de los registros de las estaciones Oyama⁶ y Las Encinas, lo que significó una importante herramienta para el análisis a escala local.

Se sugiere aumentar los puntos de medición en Las Encinas, instalando cerca de la estación una torre meteorológica que mida temperatura a diferentes niveles (2, 8 y 22 m).

Se recomienda además contar con otro punto de medición aproximadamente a 300msnm, que fortalezca el análisis de la inversión térmica de subsidencia.

2.7.5 Evaluación del pronóstico de Calidad de Aire considerando el impacto de la reducción de emisiones en episodios

Una vez que se pueda cuantificar la efectividad de las medidas de mitigación contempladas en el Plan de Descontaminación, y para efectos de evaluar el resultado de las ecuaciones de pronóstico, es necesario incorporar el efecto que estas medidas tendrían en las concentraciones resultantes. Este análisis podría realizarse durante la temporada 2014.

2.7.6 Incorporación de nuevas metodologías de pronóstico de calidad de aire

No existe una metodología única para pronosticar episodios de contaminación, y tampoco herramientas excluyentes entre sí, ya que cada una presenta fortalezas y debilidades.

Los pronósticos a corto plazo, aplicables a este servicio, se utilizan para diseñar estrategias contingentes, esencialmente de aviso y/o mitigación de episodios de alta contaminación, desastres naturales entre otros, y que usan los administradores o tomadores de decisiones para enfrentar las necesidades del futuro inmediato.

Sería beneficioso ahondar en otras herramientas como la modelación con métodos numéricos. Todas las metodologías debieran resumirse en un análisis fenomenológico, herramienta que se basa en la experiencia y en las capacidades del personal a cargo del pronóstico, y consiste en

⁶Resumen de actividades relacionadas con Estación Oyama en Volumen 4 de este Informe

la síntesis de la información observada y pronosticada por otras herramientas, asignando un peso a cada resultado para finalmente entregar un resultado final.

2.7.7 Trabajo en equipo de especialistas de SEREMI del Medio Ambiente Región de la Araucanía y CENMA

Durante los años que se ha mantenido este servicio, se ha logrado una muy buena interacción con la contraparte técnica de la SEREMI de MA.

Para el año 2014, se propone la realización de nuevos seminarios y jornadas que apunten a fortalecer el trabajo de los equipos técnicos a cargo de la elaboración de los Planes de Descontaminación en el sur del país.

2.7.8 Pronóstico para otras ciudades de la macro zona sur

Durante la temporada 2013, CENMA operó experimentalmente un sistema de pronóstico para la región del BioBío, comprobándose la conveniencia de integrar estas ciudades por macrozona climática, generando un pronóstico de ventilación por regiones, y un pronóstico de calidad del aire por ciudades, incluyendo nuevas zonas que pronto comenzarán a formular sus propios planes de descontaminación.

Desde los puntos de vista tanto técnico como económico, parece interesante establecer instancias que apunten a optimizar los recursos y generar una única plataforma de pronóstico de calidad del aire durante el otoño invierno según macrozonas.

2.7.9 Medida restrictiva de uso de leña en un perímetro de la ciudad de Temuco

Durante la temporada 2013, la Autoridad de Salud implementó una medida restrictiva al uso de leña en un perímetro de la ciudad de Temuco, en aquellos días que fuesen pronosticadas Pre-Emergencia o Emergencia Ambiental según MP2.5 en Las Encinas. La efectividad de la medida fue evaluada en el Volumen 5 del presente informe.

Desde el punto de vista meteorológico y de acuerdo al análisis de las concentraciones resultantes tras aplicar esta medida, se observó su efectividad, y por tanto se sugiere su continuidad para las próximas temporadas.

Esta recomendación técnica sin duda debe ir acompañada por acciones de la Autoridad, tendientes a mitigar el impacto económico y social que asocia esta medida, y paralelamente mantener las acciones contempladas en el PDA de la Región.

Se sugiere aplicar la herramienta estadística desarrollada por Cenma para la Seremi de MA para evaluar los cambios en la calidad del aire.ⁱⁱ

ⁱⁱ Análisis comparativo de condiciones meteorológicas asociadas a episodios de contaminación atmosférica por MP10 en Temuco y Padre Las Casas, Fase 2: Generación de una herramienta estadística para la evaluación de la calidad del aire por MP10 en el marco del PDA de Temuco y Padre Las Casas, 2010.