



# Uso de Modelos de Dispersión de contaminantes en los PDA – Gran Concepción

Jorge Jiménez del Rio, *Ph.D.*  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de Concepción

29 de Septiembre de 2016





# Contaminación Atmosférica (Contaminación del aire)

**Impactos en la salud de la población:** la contaminación del aire es responsable de enfermedades respiratorias, cardiovasculares y muerte prematura.

**Impactos de los ecosistemas:** deposición seca o húmeda de sulfatos y nitratos constituyen a desequilibrios en los nutrientes y acidificación de los ecosistemas. Transporte atmosférico y deposición de metales tóxicos y compuestos orgánicos persistentes. Las interacciones de los aerosoles atmosféricos con la radiación solar pueden afectar las tasas de fotosíntesis debido al opacamiento de la atmósfera.

**Impactos en visibilidad y forzamiento radiativo:** material particulado y gases generan extinción de la radiación visible y ultravioleta, reduciendo la visibilidad en zonas urbanas y rurales. Este mismo mecanismo junto con el cambio en las propiedades de la cobertura nival son la base para el entendimiento del rol de la contaminación del aire y su forzamiento radiativo en el cambio climático.



# Límites establecidos en las normas primaria de calidad del aire en Chile

Contaminante	Límite	Periodo de evaluación	Forma de verificación	Norma
Material particulado respirable (MP10)	150 µg/m <sup>3</sup> N	Promedio aritmético de 24 horas	Percentil 98 de valores de un año de monitoreo.	1D.S. N° 59/1998 de Minsegres
	50 µg/m <sup>3</sup> N	Concentraciones anuales	Promedio aritmético de 3 años consecutivos.	
Material particulado fino (MP2,5)	50 µg/m <sup>3</sup> N	Promedio aritmético de 24 hrs.	Percentil 98 de valores de un año de monitoreo.	D.S. N° 12/2011 de Ministerio Medio Ambiente
	20 µg/m <sup>3</sup> N	Concentraciones anuales	Promedio aritmético de 3 años consecutivos.	
Ozono (O <sub>3</sub> )	120 µg/m <sup>3</sup> N (61 ppb <sub>v</sub> )	Promedio de 8 horas	Promedio de tres años del percentil 99 de los máximos diarios promedios de ocho horas.	D.S. N° 112/ 2002 de Minsegres
Monóxido de Carbono (CO)	30 mg/m <sup>3</sup> N (26 ppm <sub>v</sub> )	Media aritmética horaria	Promedio de tres años del percentil 99 de los máximos diarios de una hora.	D.S. N° 115/ 2002 de Minsegres
	10 mg/m <sup>3</sup> N (9 ppm <sub>v</sub> )	Media aritmética 8 horas	Promedio de tres años del percentil 99 de los máximos promedios de ocho horas.	
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	250 µg/m <sup>3</sup> N (96 ppb <sub>v</sub> )	Media aritmética diaria	Promedio de tres años del percentil 99 de las concentraciones de 24 hrs.	D.S. N° 113/ 2002 de Minsegres
	80 µg/m <sup>3</sup> N (31 ppb <sub>v</sub> )	Media aritmética anual	Promedio aritmético de 3 años consecutivos.	
Dióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	400 µg/m <sup>3</sup> N (213 ppb <sub>v</sub> )	Media aritmética horaria	Promedio de tres años del percentil 99 de los máximos diarios de una hora	D.S. N° 114/ 2002 de Minsegres
	100 µg/m <sup>3</sup> N (53 ppb <sub>v</sub> )	Media aritmética anual	Promedio aritmético de 3 años consecutivos.	
Plomo (Pb)	0,5 µg/m <sup>3</sup> N	Promedio aritmético anual	Promedio de dos años consecutivos de un año si el promedio está por sobre el 100% del valor de la norma.	D.S. N°136/2000 de Minsegres

<sup>1</sup>Fue derogada por el D.S. 20/2013 del MMA pero esta fue anulada por el tribunal ambiental en octubre de 2015 y reestablece el D.S. 59



## Límites establecidos en las normas secundaria de calidad del aire en Chile

Contaminante	Límite	Periodo de evaluación	Forma de verificación	Norma
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	1000 mg/m <sup>3</sup> N (382 ppm <sub>v</sub> )	Media aritmética horaria Zona Norte	Promedio de tres años del percentil 99,73 de las concentraciones de 1 hora registradas cada año.	D.S. N° 22/ 2010 de Minsegespres
	700 mg/m <sup>3</sup> N (268 ppm <sub>v</sub> )	Media aritmética horaria Zona Sur	Promedio de tres años del percentil 99,73 de las concentraciones de 1 hora registradas cada año.	
material particulado sedimentable	150 mg/m <sup>2</sup> 60 mg/m <sup>2</sup> (hierro)	Media aritmética diaria	NA	D.E. N° 4/ 1992 de Minsegespres
	100 mg/m <sup>2</sup> 30 mg/m <sup>2</sup> (hierro)	Media aritmética anual	NA	

**Norma primaria:** objetivo de protección la salud de la población

**Norma secundaria:** objetivo de protección el medioambiente



# Planes de Descontaminación Ambiental

**Norma de  
Calidad Ambiental**



**Superación de  
la Norma**



**Declaración de  
Zona Saturada**



**Elaboración de  
Plan de Descontaminación**

## **Definición Plan de Descontaminación**

Instrumento de gestión ambiental que establece la Ley 19.300, que tiene por finalidad recuperar los niveles ambientales a valores inferiores a los límites establecidos en las normas primarias y/o secundarias de calidad ambiental

**Responsable:**

**Ministerio del Medio Ambiente**

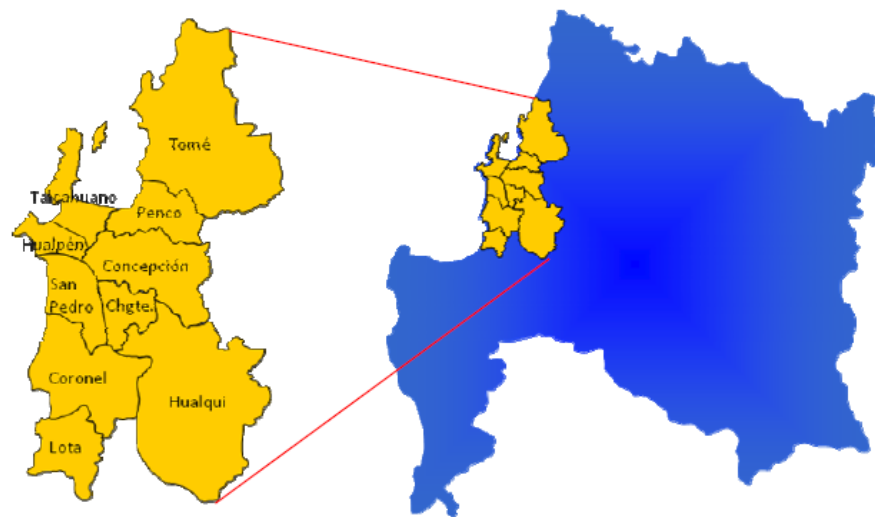


# Calidad del aire en el Gran Concepción

Declaración de Zona Latente por Material Particulado Respirable MP10 a las comunas de Concepción Metropolitano (D.S. N° 41/2006 del MINSEGPRES)

Declaración Zona Saturada por Material Particulado Fino Respirable MP2,5 como concentración diaria, a las comunas de Concepción Metropolitano (D.S. N°15/2015 del MMA).

Constituida por las comunas de Lota, Coronel, San Pedro de la Paz, Hualqui, Chiguayante, Concepción, Hualpén, Talcahuano, Penco y Tomé.

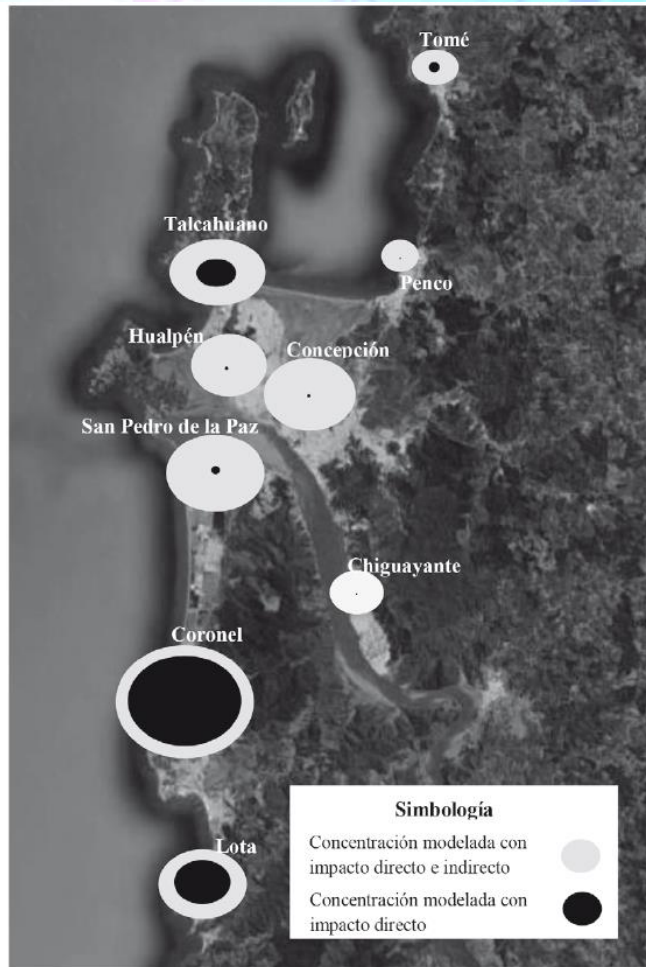




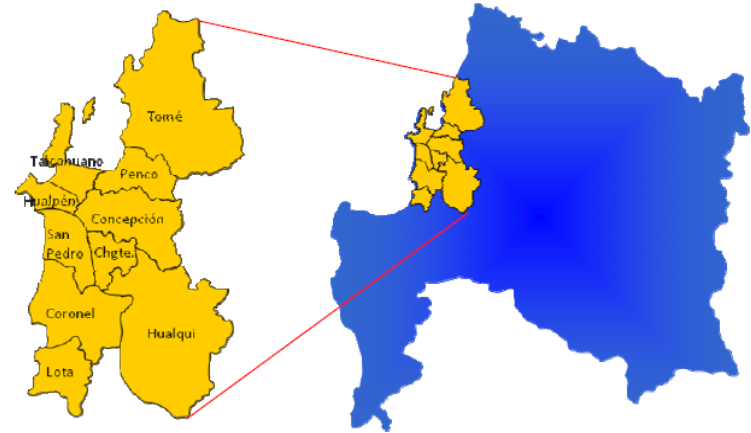
# Cuenca Atmosférica – Gran Concepción

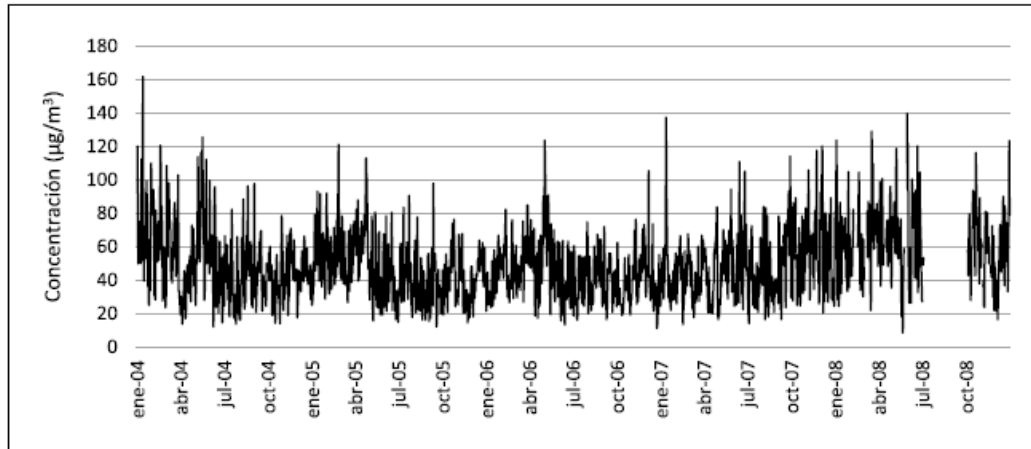
Una **cuenca atmosférica** se define como el área geográfica donde contaminantes del aire emitidos por fuentes dentro del área arriba, fluyen y se dispersan.

(Airshed Management Program, Department of Environmental Quality (DEQ), Idaho)



Bajo este principio, si se emiten contaminantes dentro de la cuenca atmosférica, esta contaminación se dispersaría dentro de la cuenca.





## Estudio epidemiológico para Concepción Metropolitano

Figura 1. Concentraciones diarias MP<sub>10</sub> Concepción Metropolitano 2004-2008. Fuente: Elaboración propia en base a SINCA.

Tabla 4. Coeficientes C-R en Concepción Metropolitano

Grupo	Caso	Modelo	Contaminante	Coef. C-R	D. Est.	Valor-p	RR
na_tot	Ingreso Hosp.	GAM	MP10_1A1	0,000233	0,00008	0,0035	1,0236
na_15	Ingreso Hosp.	Poisson	MP10_1A7	0,000930	0,00034	0,0069	1,0974
na_15	Ingreso Hosp.	GAM	MP10_1A1	0,000475	0,00018	0,0079	1,0486
na_40	Ingreso Hosp.	GAM	MP10_1A1	0,000214	0,00010	0,0344	1,0216
j_tot	Ingreso Hosp.	GAM	MP10_1A2	0,000561	0,00027	0,0367	1,0577
j_15	Ingreso Hosp.	GAM	MP10_1A2	0,000900	0,00038	0,0183	1,0941
asm_64	Ingreso Hosp.	GAM	MP10_1A1	0,000938	0,00034	0,0060	1,0984
na_tot	Mortalidad	Poisson	MP10_1A6	0,001284	0,00062	0,0366	1,1370
na_tot	Mortalidad	GAM	MP10_1A6	0,001194	0,00060	0,0195	1,1269
isq_64	Mortalidad	Poisson	MP10_1A4	0,000645	0,00024	0,0065	1,0666

Fuente: Elaboración propia.

En todos los casos el riesgo relativo (RR) es mayor a 1.0

Un riesgo relativo de 1,13 indica un aumento del riesgo de mortalidad del 13%





# Cuenca atmosférica del Gran Concepción

- Industrias diversas
- Generación eléctrica
- Combustión residencial de leña
- Construcción
- Tránsito vehicular
- Incendios forestales
- Aerosol marino
- Otros.





# Uso de modelos de calidad de aire



Monitoreo

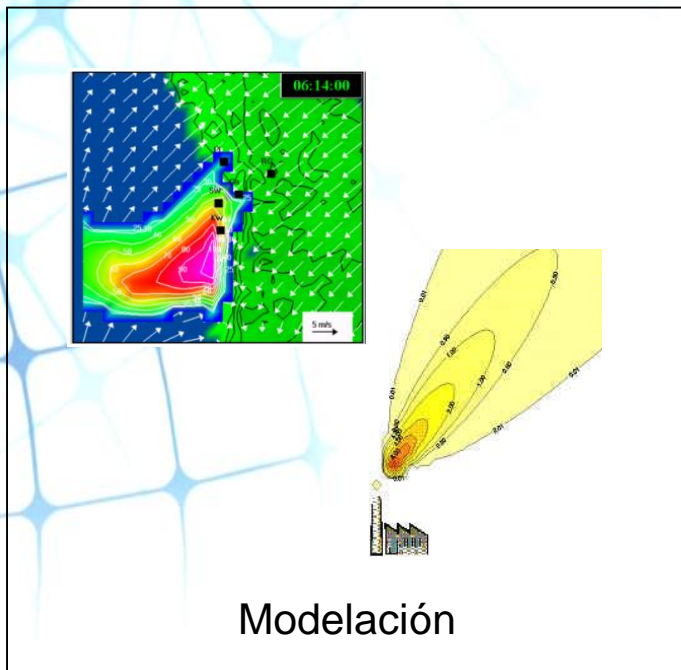


Impacto de emisiones

Salud población  
y el medioambiente



Leyes y normativas



Modelación



Instrumentos económicos



## ¿Que es un modelo?

Representación simplificada de una realidad, usada principalmente para explicar o predecir comportamientos frente a determinadas acciones.

## ¿ Cual es el sentido del modelo ?

Herramienta que entrega una visión general de la complejidad de un sistema y sintetiza la información de muchas variables y los muchos detalles.

Los modelos son una herramienta valiosa de gestión ambiental cuando se quiere predecir los efectos que se generan en el medio ambiente frente a determinadas acciones.



# Uso de modelos en la gestión de calidad de aire

## ***Modelo tipo Roll-back***

Relación emisión-calidad fija, mediante método denominado “roll-back”. Se utiliza para estimar la proyección de las concentraciones de un contaminante en el tiempo, tanto para los escenarios sin PDA y con PDA.

$$C_i = (C_0 - B) \times \frac{E_i}{E_0} + B$$

Donde:

$C_i$  = Concentración en el período  $i$ .

$C_0$  = Concentración para año inicial  $0$ .

$E_i$  = Emisión en el período  $i$ .

$E_0$  = Emisión para año inicial  $0$ .

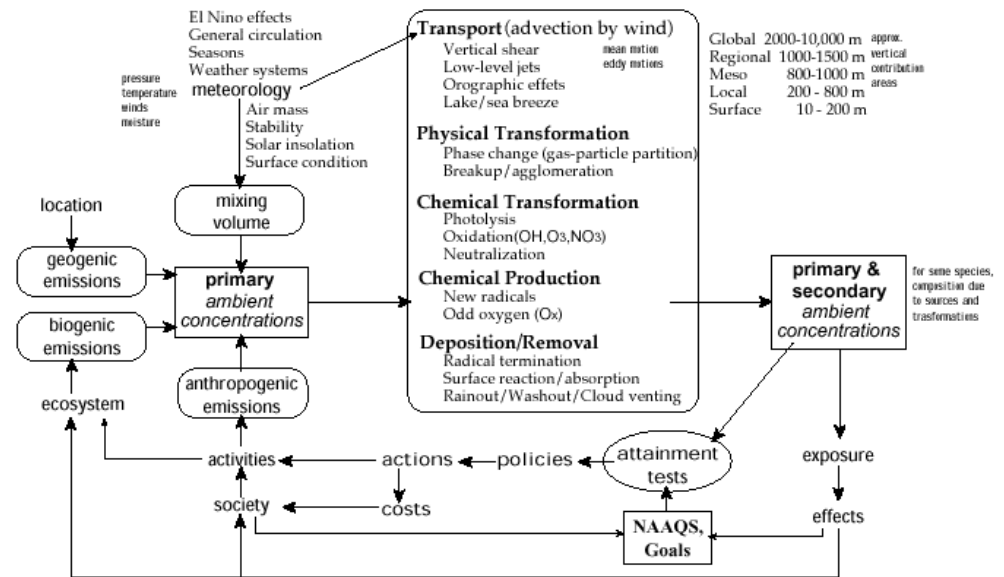
$B$  = Background o concentración de fondo



# Uso de modelos en la gestión de calidad de aire

- Modelos de emisión
- **Modelos de dispersión**
- Modelos receptores
- Modelos de trayectorias
- Modelos fotoquímicos
- Modelos de infiltración
- Otros

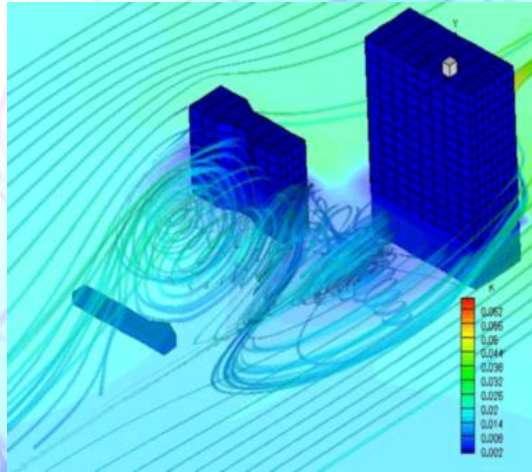
## Air Quality Conceptual Model



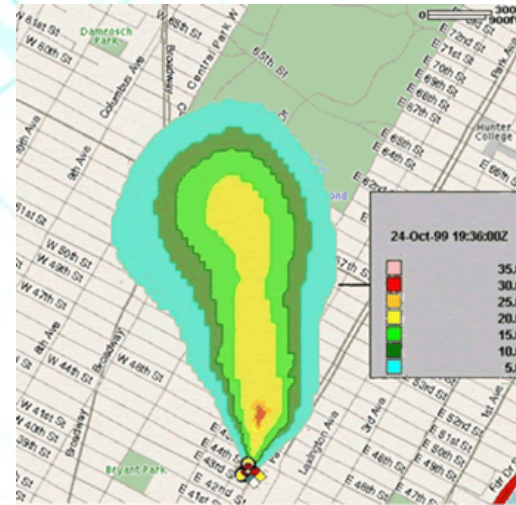


# Escalas de modelación

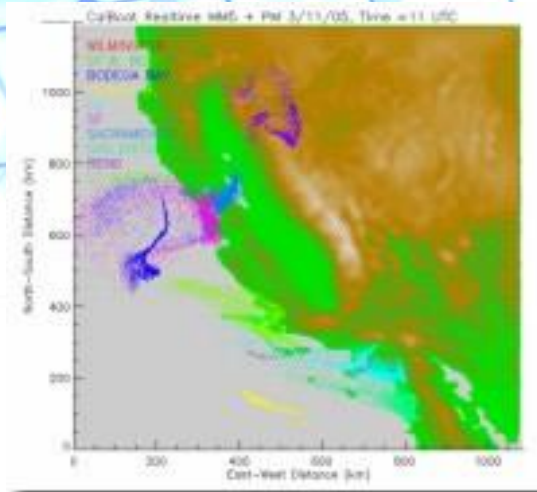
Microescala 0 -1 km



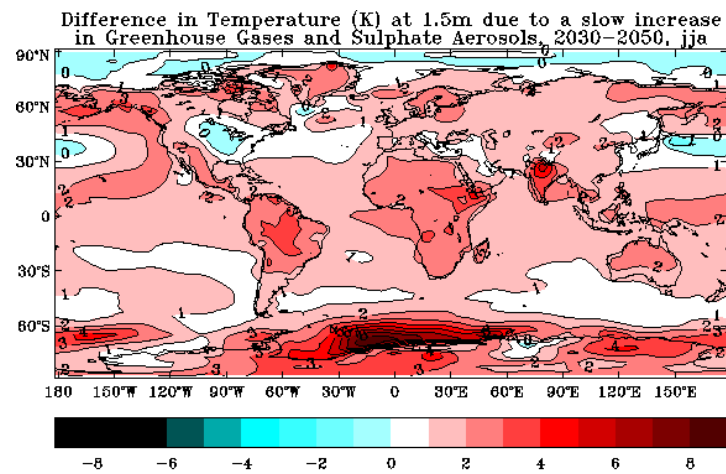
Escala local 1 -10 km



Mesoescala o regional 10-1.000 km



Escala sinóptica a global >1.000 km



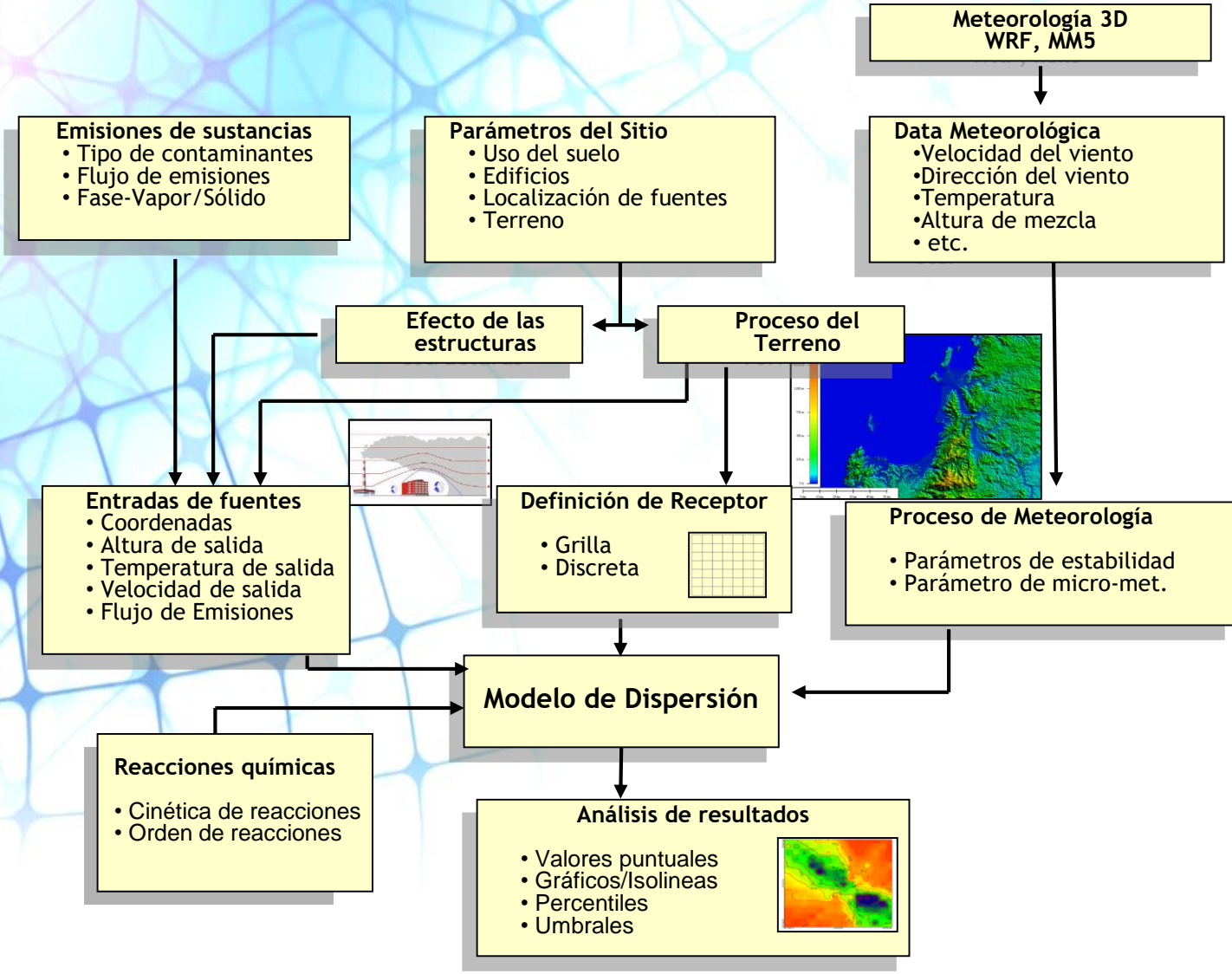


# Evolución de los modelos de calidad de aire

- **1º Generación:**
  - Basados en la ecuación/ solución gaussiana al problema de transporte de una sustancia
  - Aplicado a escala local
  - Solución estacionaria
  - Screen3 / ISC3 /ISC Prime/ AERMOD
- **2º Generación:**
  - Conservación de masa y ecuación de continuidad
  - Utilizan una grilla definida en el dominio
  - Aplicado a escala urbana local – regional
  - Una o más sustancias
  - UAM (Urban Airshed Model)
  - CALPUFF
- **3º Generación:**
  - Conservación de masa y ecuación de continuidad
  - Utilizan una grilla definida en el dominio
  - Aplicado a escala urbana local – regional
  - Interacción de varios contaminantes simultáneamente
  - CMAQ (Community Multiscale Air Quality), CAMx (Comprehensive Air quality Model with extensions)
  - WRF-Chem (Weather Research and Forecasting (WRF) model coupled with Chemistry)



# Parámetros de entrada que requieren los modelos de la calidad del aire







# Inventario de emisiones atmosféricas de Gran Concepción año base 2013

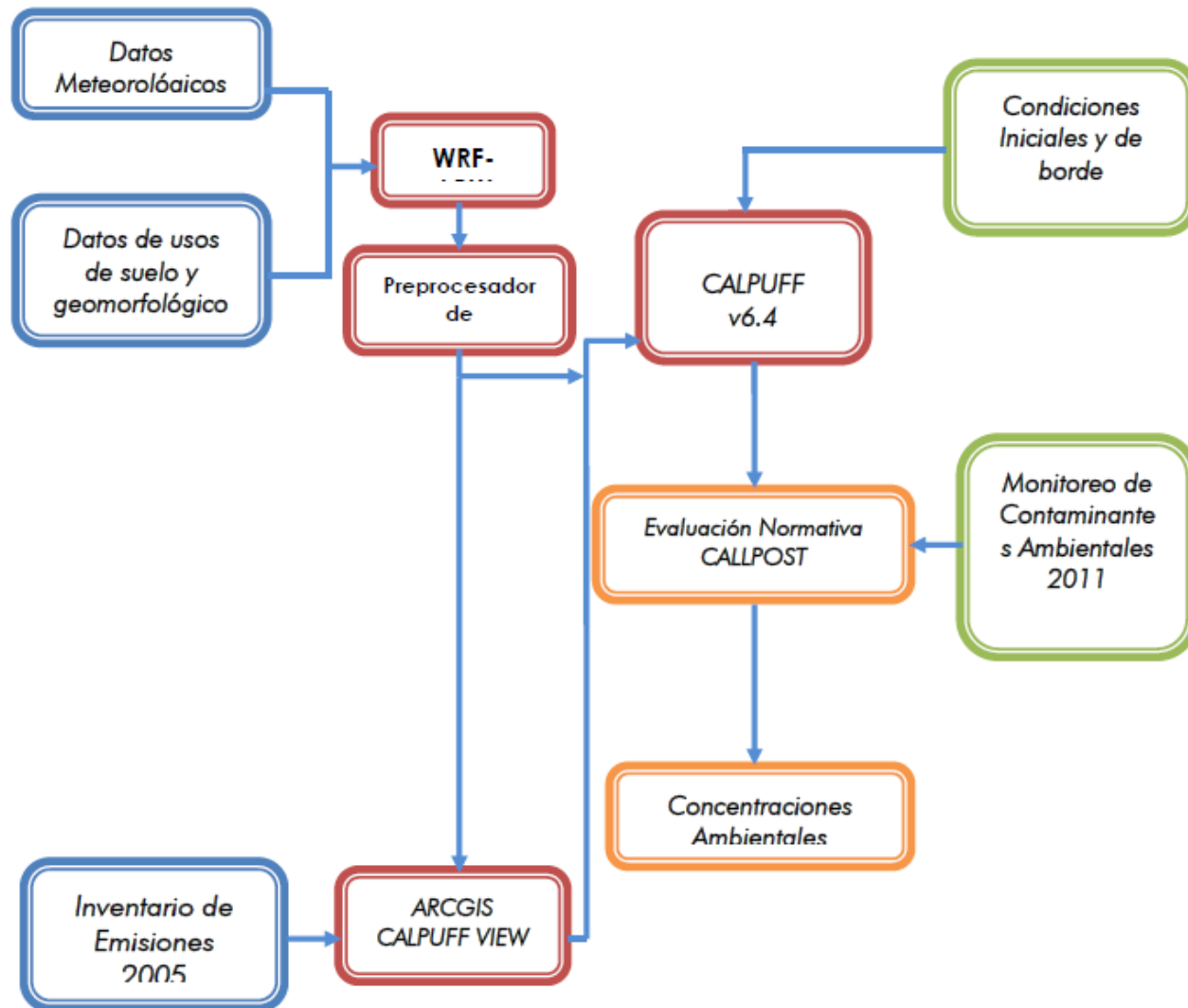
Tabla 1. Resumen de emisiones de contaminantes, estimadas según tipo de fuente emisora (Ton/año) para Concepción Metropolitano.

Fuentes	Emisión Ton/año						
	MP10	MP2.5	SOx	NOx	CO	COVs	NH3
Puntuales	3.244,4	2.739,9	5.479,1	4.623,3	93.700,2	2.306,6	-
Combustión Residencial de Leña	3.056,9	2.846,0	18,0	627,3	59.589,8	34.451,1	1.077,7
Móviles	319,2	287,0	551,0	10.142,9	20.403,7	-	96,3
Otras de Área	673,4	15,6	103,5	139,2	9.045,2	59,1	549,5
Quemas e Incendios forestales	114,3	99,1	1.106,4	35,9	22,1	10,3	-
Polvo Resuspendido	2.485,4	356,6	-	-	-	-	-
Total Emisiones	9.893,6	6.344,2	7.258,0	15.568,6	182.761,0	36.827,0	1.723,5

Fuente: SICAM 2015



# Esquema de modelación de la calidad del aire en Gran Concepción



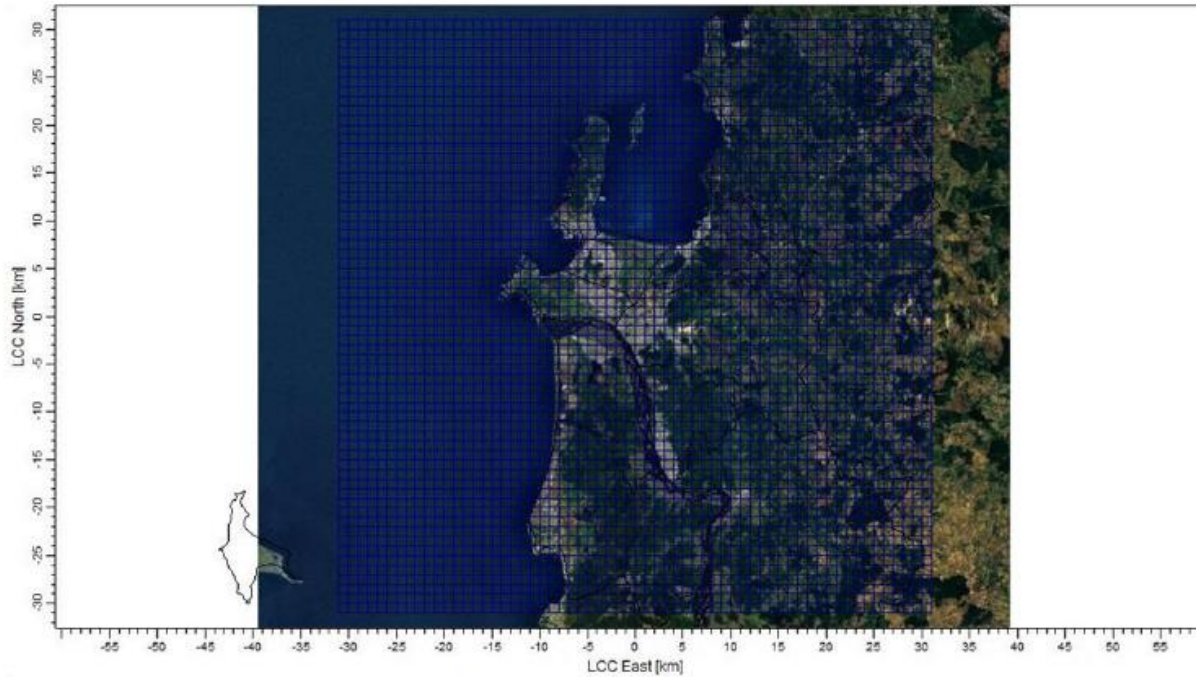


# Modelación de la calidad del aire en Gran Concepción

Dominio de la modelación

Se utilizaron pronósticos del modelo WRF como datos meteorológicos

Fuente: SICAM 2015



Fuentes Puntuales

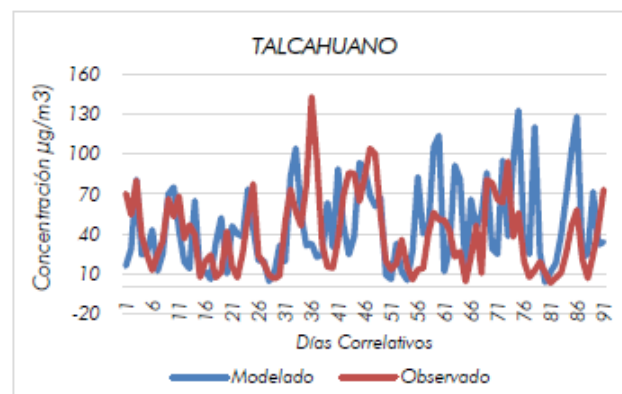
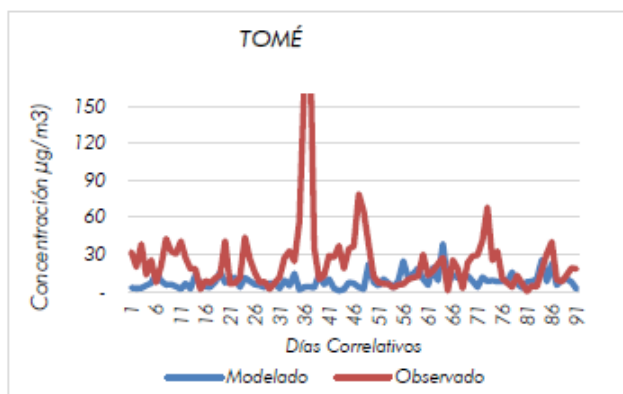
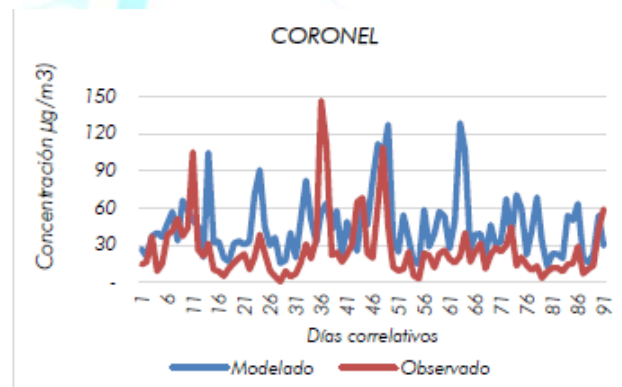
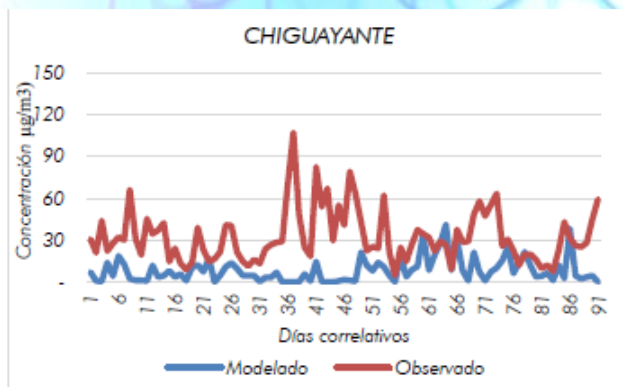
Fuentes Arréales





# Resultados de la modelación

Comparación entre las observaciones y predicciones del modelo

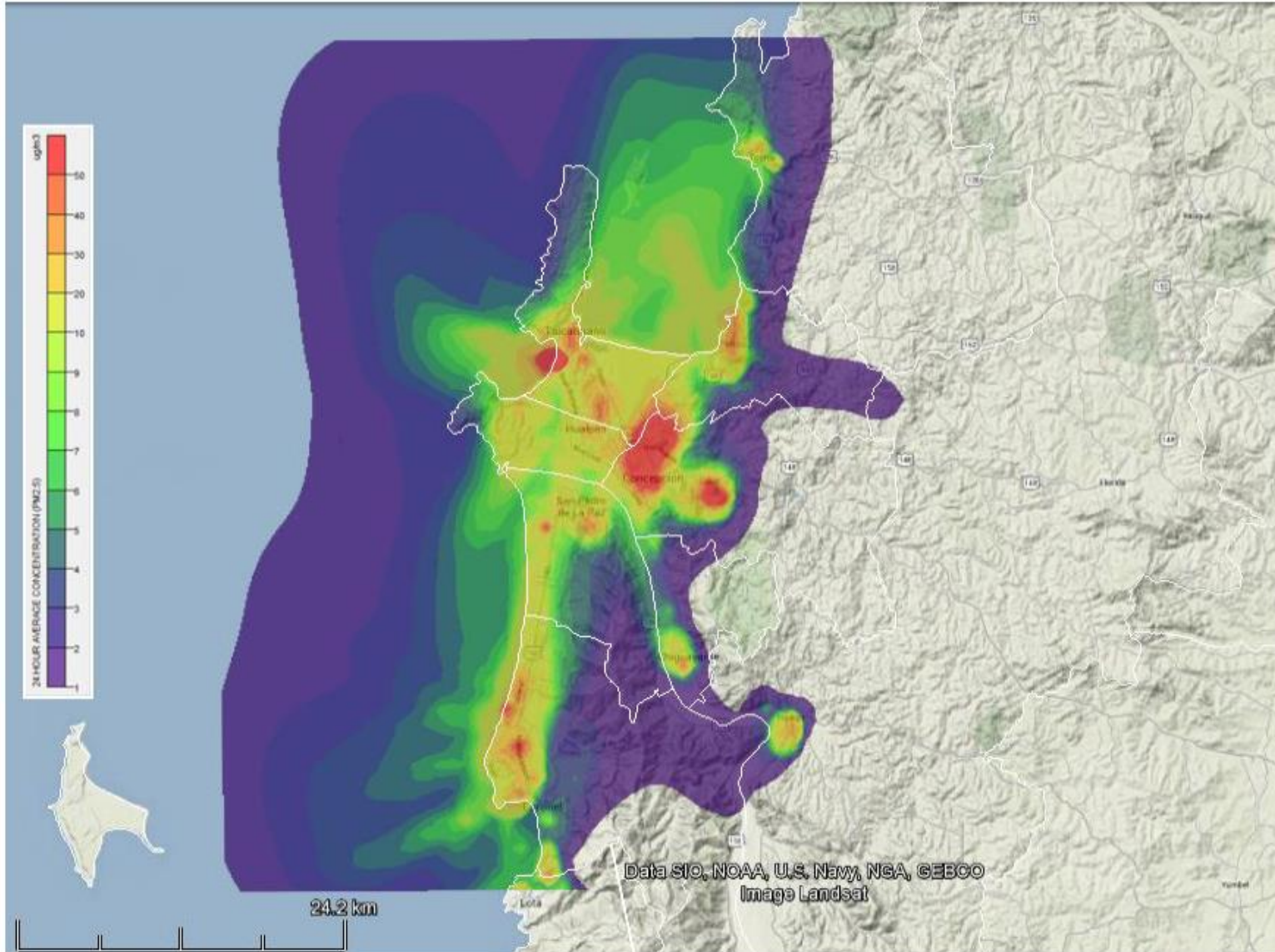


Chiguayante y Tomé no muestra buena correlación entre las observaciones y las predicciones del modelo

Fuente: SICAM 2015



# Resultados de la modelación



P98 de las concentraciones de 24 horas de MP2,5

Fuente: SICAM 2015



# Uso de modelos en la gestión de calidad de aire

## **Factor Emisión - Concentración (FEC)**

$$FEC_i^t = C_i^t / E^t$$

Donde,

$FEC_i^t$  = Factor emisión – concentración en el receptor de interés  $i$  en el año  $t$

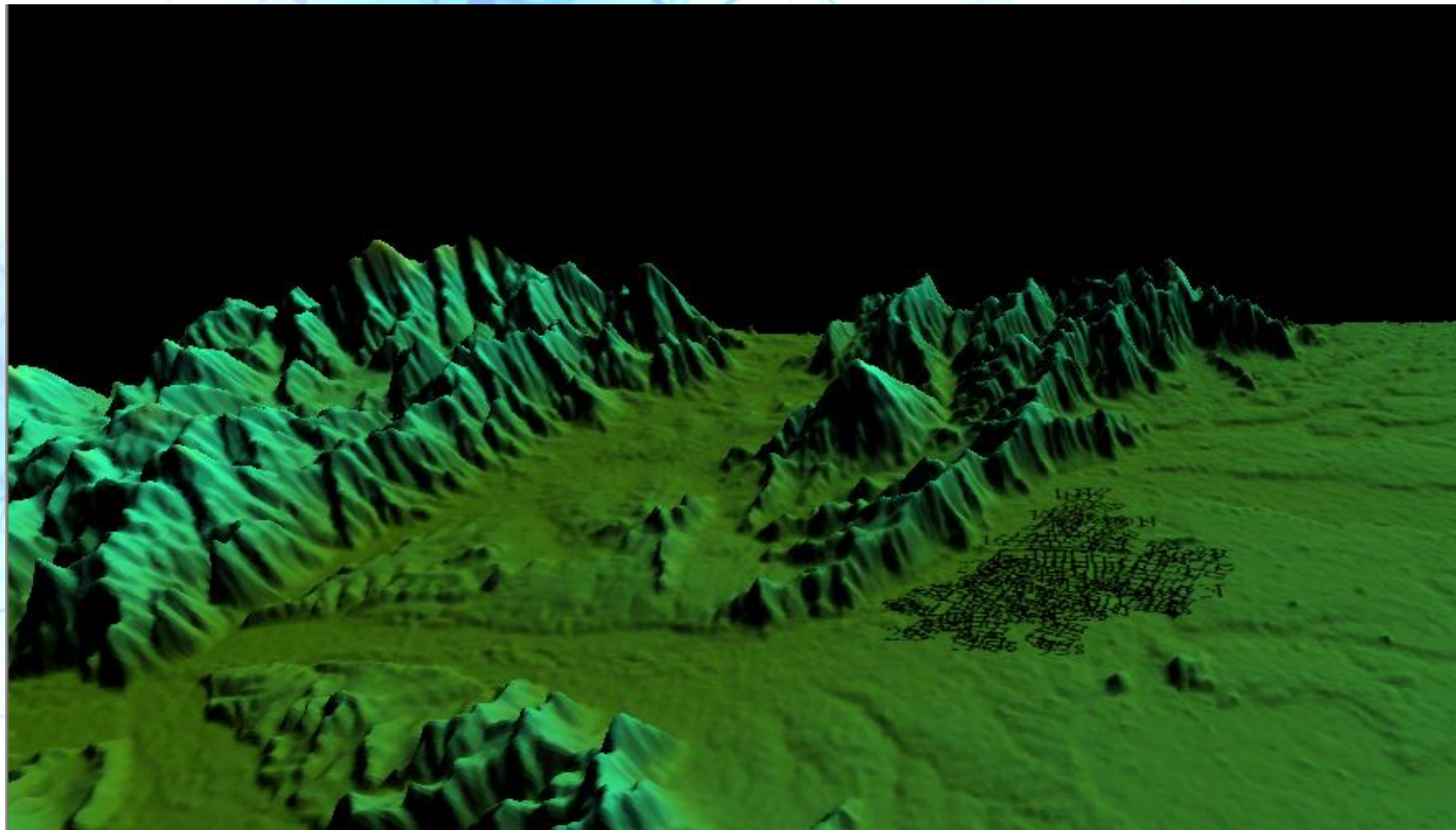
$C_i^t$  = concentración ambiental de  $MP_{10}$  en el receptor de interés  $i$  para el año  $t$

$E^t$  = Emisión de  $MP_{10}$  para el año  $t$

Permite establecer los cambios en la concentración ambiental en función de cambios en las emisiones de contaminantes del aire para cada tipo de fuente. Esto se establece estableciendo mediante una relación lineal entre las emisiones de un contaminante y el aporte a la concentración ambiental



# Ejemplo de aplicación en la gestión de calidad de aire de Talca y Maule



La Resolución N°12 del 4 de febrero 2010 declara zona saturada por material particulado respirable (MP10) a las comunas de Talca y Maule.



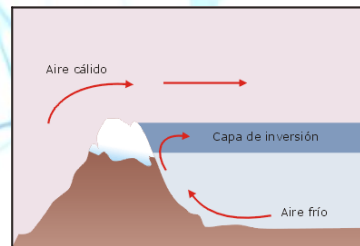
# Principales fuentes de contaminación del aire en Talca y Maule



+ **Consumo de leña** en los hogares de Talca y Maule



+ **Mala ventilación** durante los meses de invierno por la topografía e inversión térmica.



+ **Quemas agrícolas** en las zonas rurales

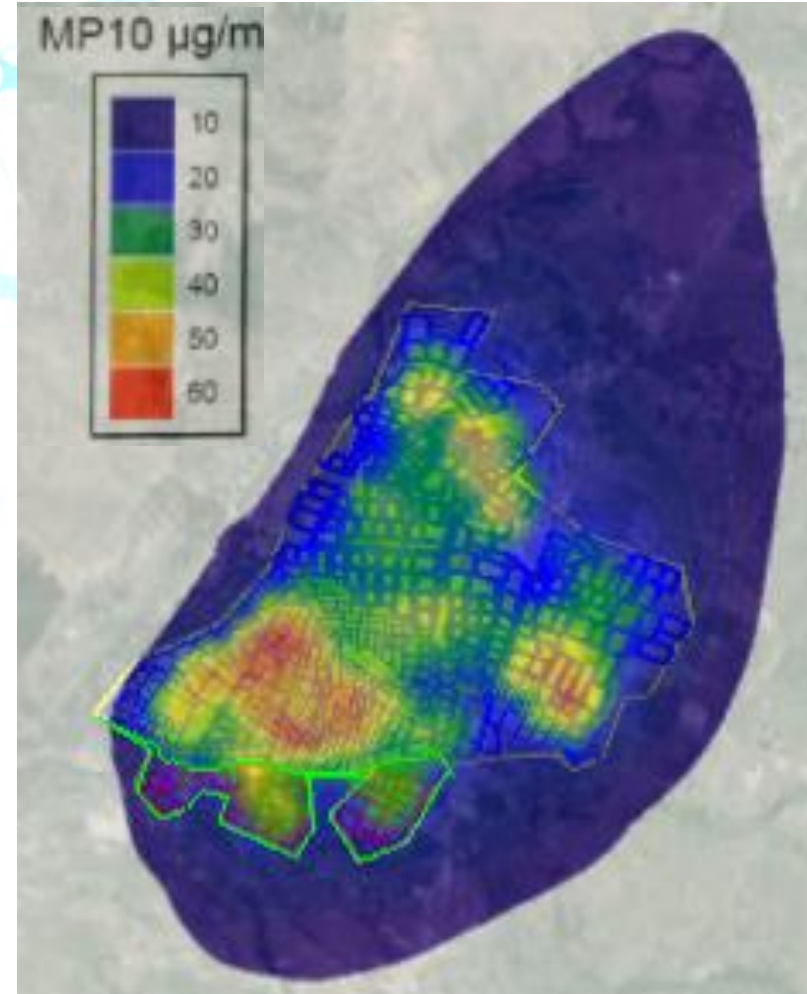
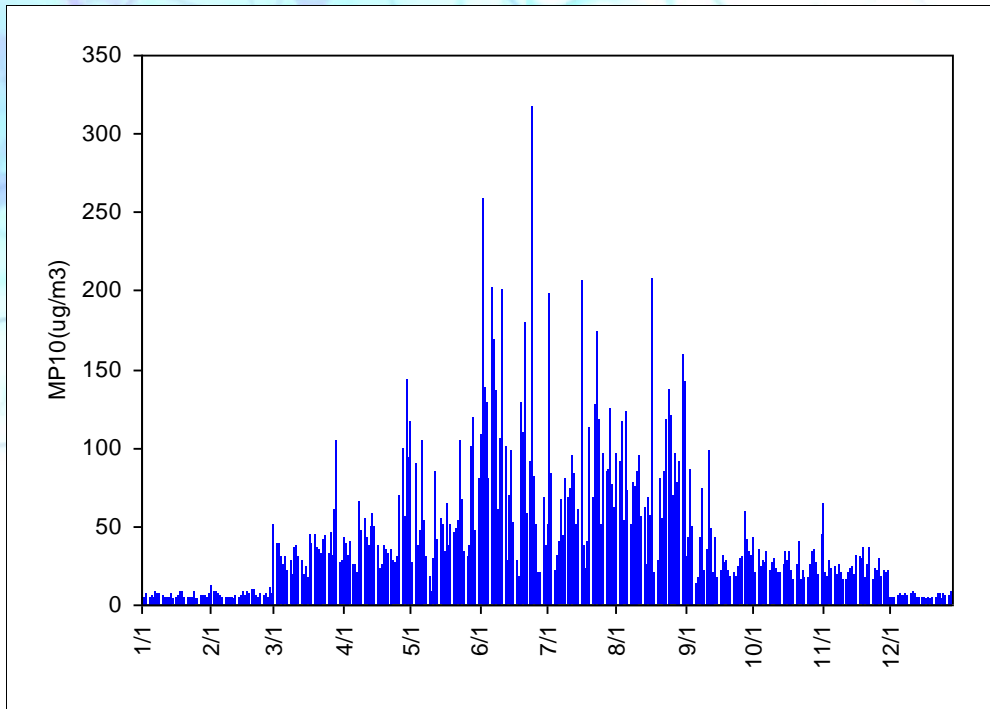
+ **Tecnología** de los calefactores a leña.







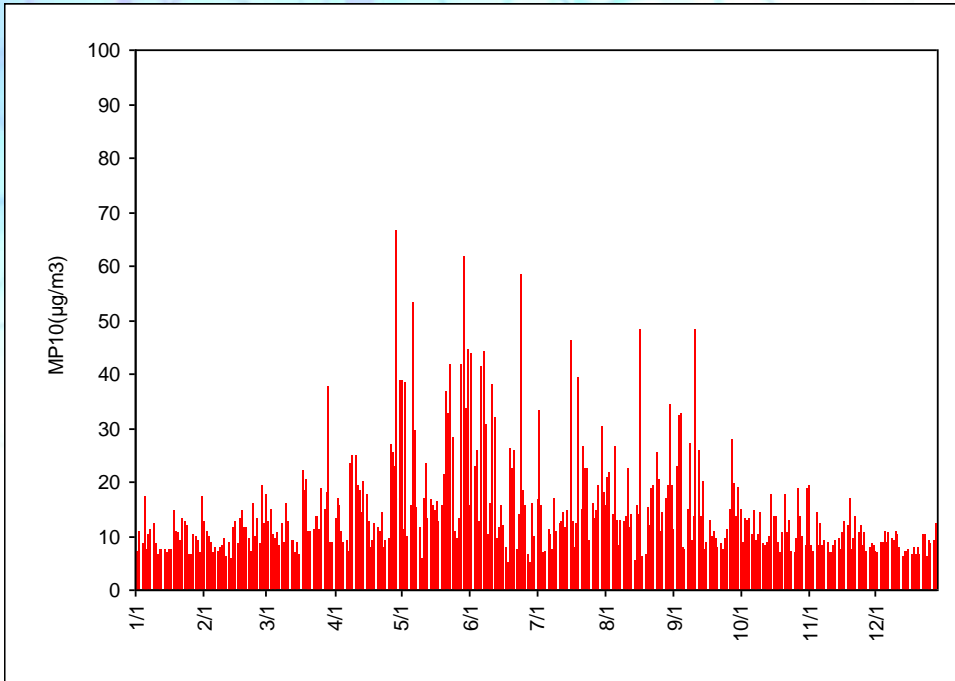
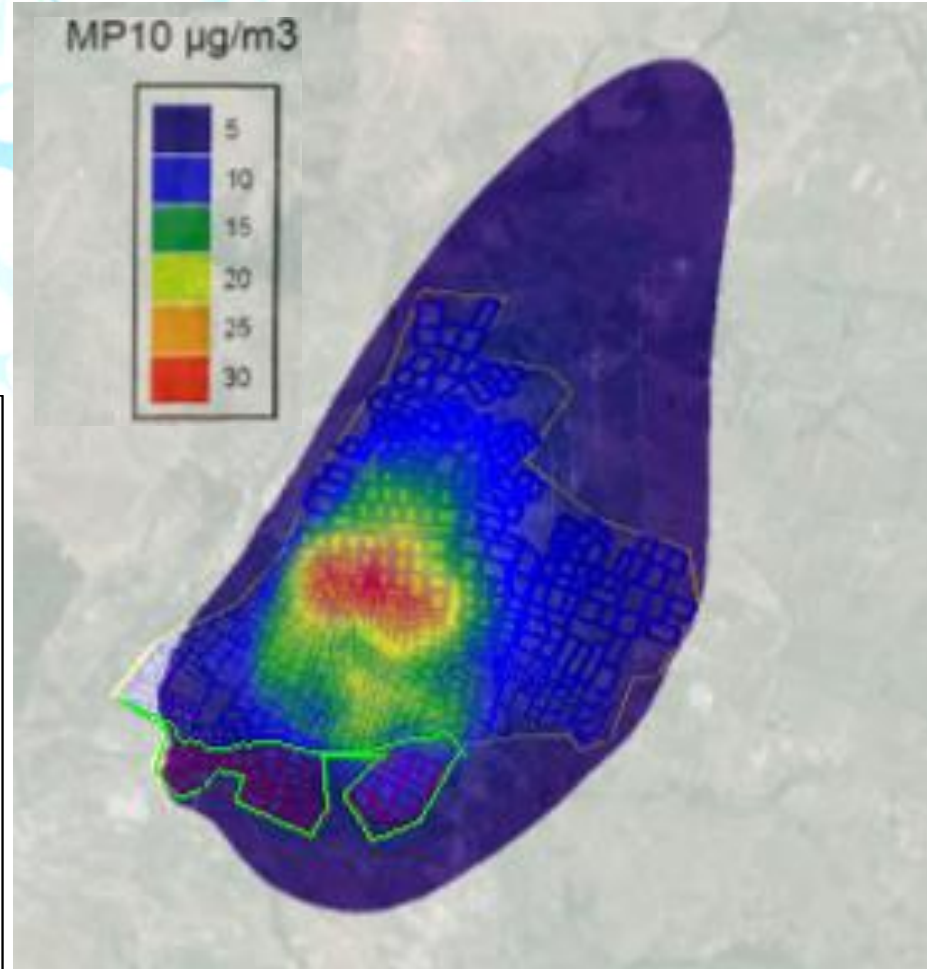
# Aporte de la combustión residencial de leña de Talca y Maule



Fuente: IIT-UdeC 2014



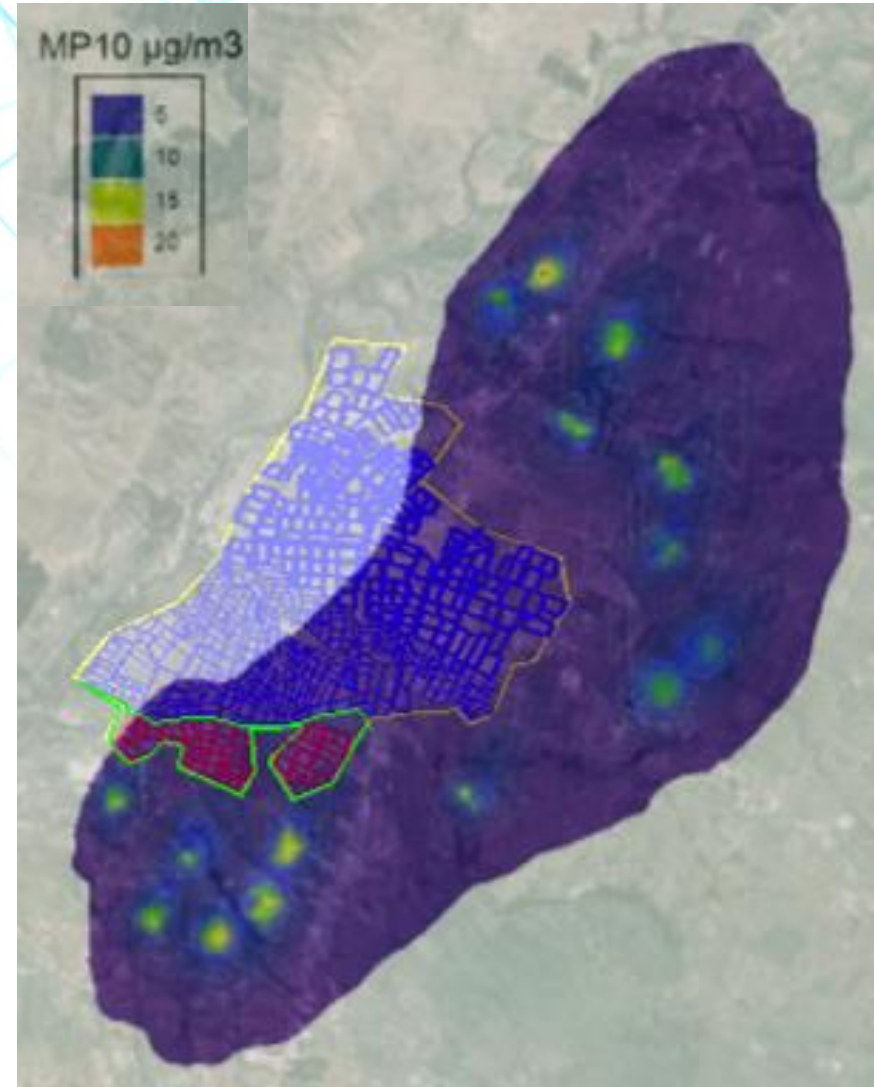
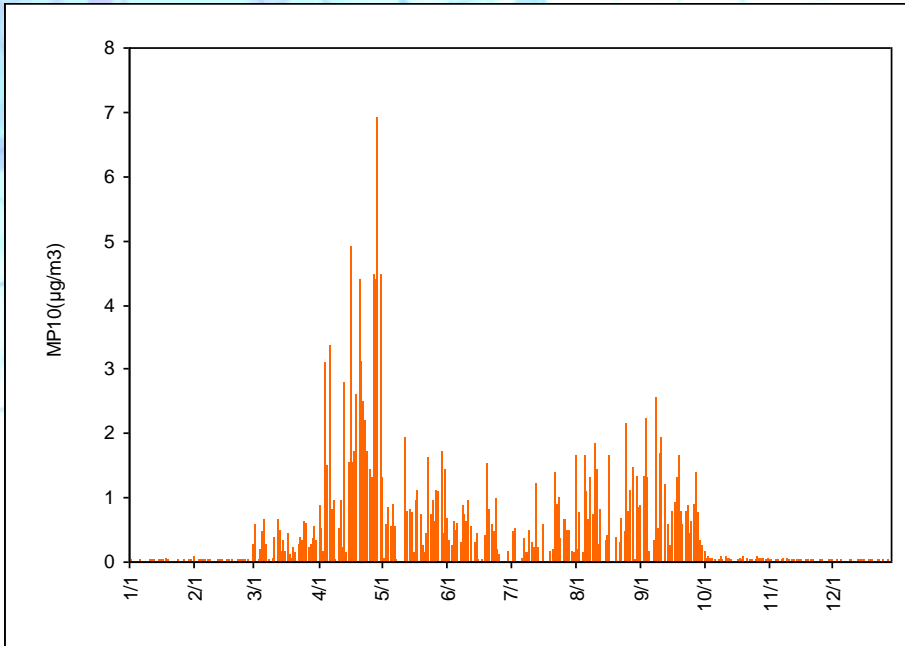
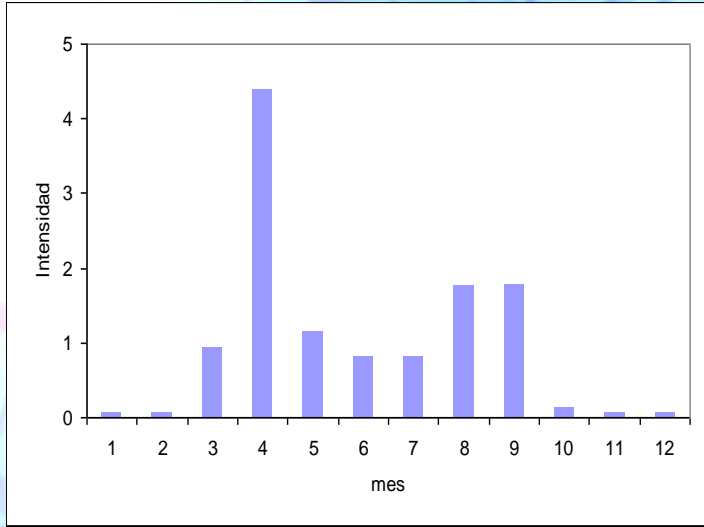
# Aporte de las Fuentes Móviles de Talca y Maule



Fuente: IIT-UdeC 2014



# Aporte de las Quemas Agrícolas

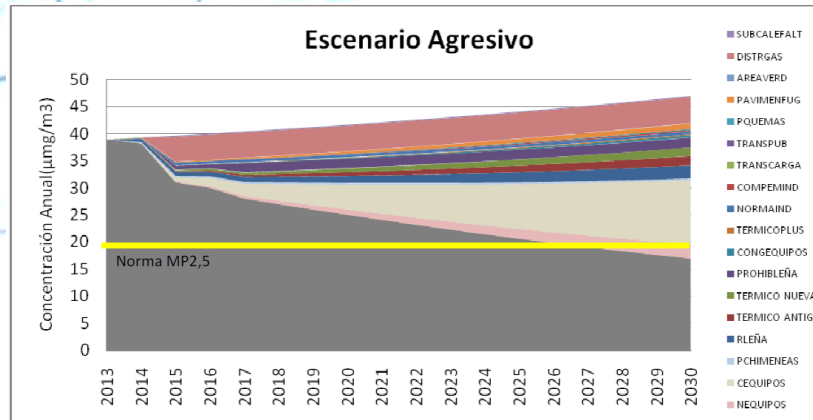
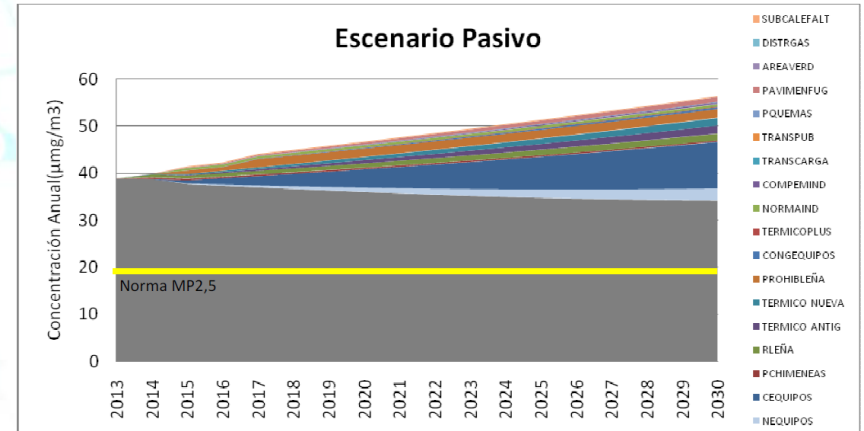
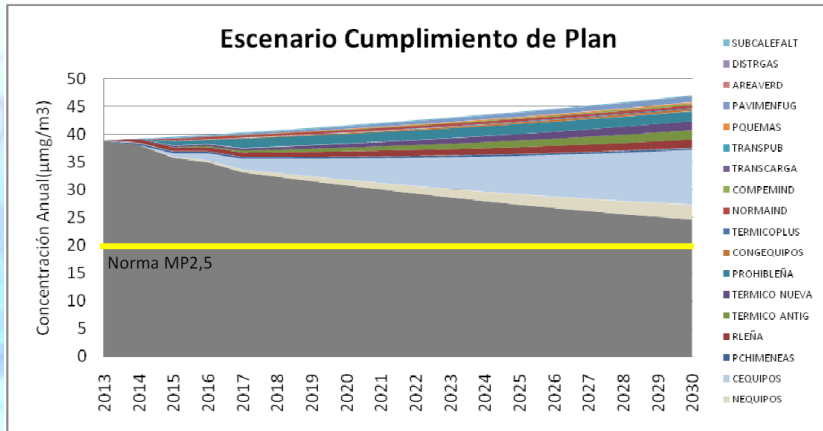


Fuente: IIT-UdeC 2014



# Escenarios de concentraciones de MP<sub>2,5</sub>

A partir de los antecedentes previos se han generado el nivel de las concentraciones de MP<sub>2,5</sub> bajo los tres escenarios propuestos



Fuente: IIT-UdeC 2014



# Planes de Descontaminación Ambiental

**Norma de  
Calidad Ambiental**



**Superación de  
la Norma**



**Declaración de  
Zona Saturada**



**Elaboración de  
Plan de Descontaminación**

## **Definición Plan de Descontaminación**

Instrumento de gestión ambiental que establece la Ley 19.300, que tiene por finalidad recuperar los niveles ambientales a valores inferiores a los límites establecidos en las normas primarias y/o secundarias de calidad ambiental

**Responsable:**

Ministerio del Medio Ambiente



# Uso de Modelos de Dispersión de contaminantes en los PDA – Gran Concepción

Jorge Jiménez del Rio, *Ph.D.*  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de Concepción

29 de Septiembre de 2016

