

Seminário Latinoamericano:  
Instrumentos y metodologías para un  
observatório de Clima y su impacto en la  
salud humana

*Sergio Ibarra-Espinosa*

*2019-09-09*



# Contents

<b>Curso de R, contaminacion atmosferica y mas</b>	<b>5</b>
Aprender Git . . . . .	5
Clonar este contenido . . . . .	5
<b>1 Sistemas de informacion con datos de salud en Chile</b>	<b>7</b>
1.1 Encuesta Nacional de Salud (ENS) . . . . .	7
1.2 Departamento de Estadisticas e Informaciones de Salud . . . . .	8
1.3 Encuesta de caracterizacion socioeconomica (CASEN) . . . . .	9
1.4 Estadisticas generales . . . . .	9
1.5 CEPAL STAT . . . . .	9
1.6 Banco Interamericano de Desarrollo . . . . .	9
<b>2 Impacto de las emisiones antropogénicas en la calidad del aire y clima</b>	<b>13</b>
2.1 Contaminacion atmosferica - Introduccion . . . . .	14
2.2 Contaminantes atmosfericos . . . . .	17
2.3 Forzantes climaticos y gases de efecto invernadero . . . . .	23
2.4 Emisiones y sus fuentes . . . . .	28
2.5 Modelacion de la calidad del aire . . . . .	28
<b>3 Taller VECTORES: Aplicación de software de información geográfica y modelado</b>	<b>31</b>
<b>4 Taller RASTER Y CUBOS DE DATOS VECTORIALES: Aplicación de software de información geográfica y modelado</b>	<b>33</b>
<b>5 Final Words</b>	<b>35</b>



# Curso de R, contaminacion atmosferica y mas

Este curso online contendra las siguientes informaciones

- Sistemas de informacion con datos de salud en Chile (gracias Paty Matus)
- Impacto de las emisiones antropogenicas en la salud y clima
- R desde Excel
- Leer y procesar vectores espaciales con **sf** (Pebesma, 2018)
- Leer y procesar informacion en grillas espaciales (raster) con stars(Pebesma, 2019) y raster(Hijmans, 2019)

## Aprender Git

Para aprender GIT puedes ver:

- <https://git-scm.com/book/es/v1/Empezando>
- <https://learngitbranching.js.org/>
- <https://try.github.io/>

## Clonar este contenido

Para clonar este contenido haz:

```
git clone https://github.com/ibarraespinosa/UBA.git
```



# Chapter 1

## Sistemas de informacion con datos de salud en Chile

- Sistema de información en salud existentes
- Énfasis en las fuentes de información y las escala temporal/espacial que manejan
- Series de tiempo disponible por fuente
- Instituciones a cargo de la captura, procesamiento y análisis
- Disponibilidad de los datos e indicadores que producen
- Otros

### 1.1 Encuesta Nacional de Salud (ENS)

La ENS es una encuesta realizada por el Ministerio de Salud para identificar cuales son las enfermedades que sufren y los tratamientos que reciben todas las personas con mas de 15 años que viven en Chile. De esta forma es posible es posible realizar diagnosticos, identificar problemas y formular politicas planes y proyectos para mejor la salud de las personas.

- *Organismo responsable:* Ministerio de Salud, Departamento de Epidemiología  
Gobierno de Chile.
- *Organismo ejecutor:* Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC).
- *Población objetivo:* Personas de 15 años y más, chilenas o extranjeras que residen habitualmente en viviendas particulares ocupadas, localizadas en zonas urbanas y rurales de las quince regiones de Chile.

- *Representatividad:* Nacional, regional y Urbano/Rural.
- *Modo de aplicación:* Entrevista personal en hogar (Sistema de captura electrónica: Tablet), aplicada por encuestador y profesional enfermera de acuerdo al tipo de cuestionario.
- *Período de trabajo de campo:* Agosto 2016 a marzo 2017
- *Tamaño muestral:* 6.233 encuestados, de los cuales 5.520 cuentan con exámenes de laboratorio de acuerdo a protocolo. 37,1% hombres, 62,9% mujeres.
- *Error muestral:* Error absoluto de muestreo de 2,6% a nivel nacional, raíz del efecto de diseño de 1,797, estimaciones con 95% de confianza y error relativo inferior a 30%.

Algunos resultados:

- Consumo de tabaco: 66,7% no fuma, 33,\$ fuma.
- Consumo riesgoso de alcohol 11,7%, 20,5% hombres, 3,3% mujeres.
- Sedentarismo: 86,7%, 83,3% hombre, 90.0% mujeres.
- Estado nutricional: 1,3% enfraquecido, 24,5% normal, 39,8% sobrepeso, 31,2% obeso, 3,2% obeso morbido.
- Sospecha de hipertension: 27,6%.
- Sospecha de diabetes: 12,3%.
- Autoreporte de infarto agudo al miocardio: 3,3%.
- Autoreporte de ataque cerebro vascular: 2,6%.

Fuentes:

- [https://www.minsal.cl/wp-content/uploads/2017/11/ENS-2016-17\\_\\_PRIMEROS-RESULTADOS.pdf](https://www.minsal.cl/wp-content/uploads/2017/11/ENS-2016-17__PRIMEROS-RESULTADOS.pdf)
- [https://www.minsal.cl/wp-content/uploads/2018/01/2-Resultados-ENS\\_\\_MINSAL\\_31\\_01\\_2018.pdf](https://www.minsal.cl/wp-content/uploads/2018/01/2-Resultados-ENS__MINSAL_31_01_2018.pdf)
- <http://www.encuestas.uc.cl/ens/index.html>

## 1.2 Departamento de Estadísticas e Informaciones de Salud

- Resúmenes estadísticos mensuales (REM). Vea el manual
- Defunciones
- Egresos
- Nacimientos
- Atenciones de urgencia
- Enfermedades de notificación obligatoria
- Enfermedades transmitidas por alimentos



### 1.3. ENCUESTA DE CARACTERIZACION SOCIOECONOMICA (CAsEN)<sup>9</sup>

- Tuberculosis

## 1.3 Encuesta de caracterizacion socioeconomica (CAsEN)

“La Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional (Casen) del Ministerio de Desarrollo Social es una encuesta a hogares, de carácter multipropósito, es decir, que abarca diversos temas como educación, trabajo, ingresos, salud, entre otros; además es una encuesta transversal, por lo tanto, incluye a todo el espectro de la población del país.”

## 1.4 Estadísticas generales

- Instituto Nacional de Estadísticas

## 1.5 CEPAL STAT

- Estadísticos e indicadores
- Perfiles Nacionales
- Publicaciones y estadísticas

## 1.6 Banco Interamericano de Desarrollo

- Educación
- Mercado Laboral
- Ingreso
- Pobreza
- Demografía

Egresos hospitalarios 2001 – 2016

Natalidad 2011

Mortalidad 1994 – 2016

Casen 2009-2016

You can label chapter and section titles using `{#label}` after them, e.g., we can reference Chapter 1. If you do not manually label them, there will be automatic labels anyway, e.g., Chapter ??.

Figures and tables with captions will be placed in `figure` and `table` environments, respectively.

```
par(mar = c(4, 4, .1, .1))
plot(pressure, type = 'b', pch = 19)
```

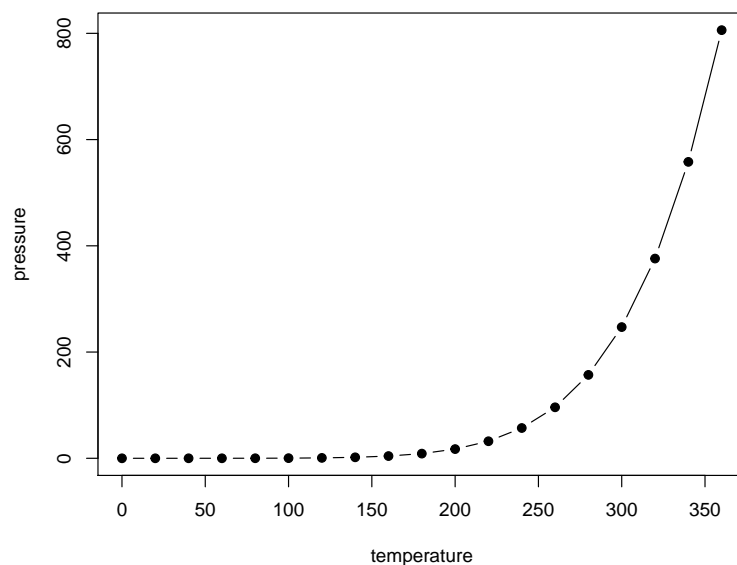


Figure 1.1: Here is a nice figure!

Reference a figure by its code chunk label with the `fig:` prefix, e.g., see Figure 1.1. Similarly, you can reference tables generated from `knitr::kable()`, e.g., see Table 1.1.

```
knitr::kable(  
  head(iris, 20), caption = 'Here is a nice table!',  
  booktabs = TRUE  
)
```

You can write citations, too. For example, we are using the **bookdown** package (?) in this sample book, which was built on top of R Markdown and **knitr** (Xie, 2015).

Table 1.1: Here is a nice table!

Sepal.Length	Sepal.Width	Petal.Length	Petal.Width	Species
5.1	3.5	1.4	0.2	setosa
4.9	3.0	1.4	0.2	setosa
4.7	3.2	1.3	0.2	setosa
4.6	3.1	1.5	0.2	setosa
5.0	3.6	1.4	0.2	setosa
5.4	3.9	1.7	0.4	setosa
4.6	3.4	1.4	0.3	setosa
5.0	3.4	1.5	0.2	setosa
4.4	2.9	1.4	0.2	setosa
4.9	3.1	1.5	0.1	setosa
5.4	3.7	1.5	0.2	setosa
4.8	3.4	1.6	0.2	setosa
4.8	3.0	1.4	0.1	setosa
4.3	3.0	1.1	0.1	setosa
5.8	4.0	1.2	0.2	setosa
5.7	4.4	1.5	0.4	setosa
5.4	3.9	1.3	0.4	setosa
5.1	3.5	1.4	0.3	setosa
5.7	3.8	1.7	0.3	setosa
5.1	3.8	1.5	0.3	setosa



## Chapter 2

# Impacto de las emisiones antropogénicas en la calidad del aire y clima

La contaminación es una amenaza a la salud global que causó 9 millones de muertes en 2015, 16% de las muertes (Landrigan et al., 2018). Además, existe consenso científico de la existencia y relación con la actividad humana sobre el cambio climático (Cook et al., 2016). Tanto la contaminación atmosférica como los gases de efecto invernadero, conocidos también como forzantes climáticos de vida corta y larga son causados por compuestos químicos liberados en la atmósfera, las llamadas emisiones. Por lo tanto, es importante realizar y entender la caracterización espacial y temporal de las emisiones, así como sus efectos en la salud y en el clima.

La atmósfera es una delgada capa sobre la tierra, 50% de su masa está a 5.6 km esta compuesta por varios gases (Brasseur and Jacob, 2017), cuya composición es:

Gas	Razon molar $mol \cdot mol^{-1}$	Principal fuente y comentarios (Brasseur et al., 1999)
Nitrogeno ( $N_2$ )	0.78	Biologica
Oxigeno ( $O_2$ )	0.21	Biologica
Argon ( $A_r$ )	0.0093	Inerte
Dioxido de carbono ( $CO_2$ )	$400 \cdot 10^{-6}$	Combustion, oceano, biosfera

Gas	Razon molar $mol \cdot mol^{-1}$	Principal fuente y comentarios (Brasseur et al., 1999)
Neon ( $N_e$ )	$18 \cdot 10^{-6}$	Inerte
Ozono ( $O_3$ )	$0.01 - 10 \cdot 10^{-6}$	Fotoquimico
Helio ( $He$ )	$5.2 \cdot 10^{-6}$	Inerte
Metano ( $CH_4$ )	$1.8 \cdot 10^{-6}$	Biogenico y antropogenico
Hidrogeno ( $H_2$ )	$500 \cdot 10^{-9}$	Biogenico, antropogenico y fotoquimico
Oxido nitroso ( $N_2O$ )	$330 \cdot 10^{-9}$	Biogenico y antropogenico

## 2.1 Contaminacion atmosferica - Introduccion

“La contaminación del aire es un determinante importante de la salud. La OMS estima que en 2012 alrededor de 1 de cada 8 muertes se atribuyeron a la exposición a la contaminación del aire, lo que lo convierte en el mayor factor de riesgo ambiental para la mala salud.”(OMS, 2019)

La ciencia de la contaminacion atmosferica, si bien reciente, ha sido desarrollada debido a los avances de en la comprension de la meteorologia. Problemas relacionados con la contaminacion atmosferica han sido descritos en obras literarias y cartas a lo largo de la historia. Por ejemplo, se cree que el primer caso reportado sobre los efectos de la contaminacion atmosférica en la salud es sobre Gaius Plinius Secundus, Geografo, (AD 23-AD 79), quien habria fallecido los efectos de la **emisiones** del volcan Vesuvius (Pulles and Helsinga, 2010; Wikipedia contributors, 2019d). La erupcion del volcan Vesuvius duro 19 horas, con altura de lacolumna entre 14 y 32 km y deposicion de material piroplastico de hasta  $2500 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$  (Macedonio et al., 1988).

Sin embargo han sido los grandes episodios de contaminacion los que han gatillado su estudio y gestion por parte de los tomadores de decisiones. Entre ellos se pueden mencionar el desastre de Londres 1952 y la acidifacion de los lagos escandinavos.

### 2.1.1 El desastre de Londres 1952

Altas concentraciones de contaminantes fueron ocurrieron entre el 5 y 9 de Diciembre de 1952 en Londres, Inglaterra. Para comparacion, vea el monumento “Columna de Nelson” en condiciones normales(Wikipedia contributors, 2019e), y el dia de la llamada “Gran Niebla de Londres”(Wikipedia contributors, 2019b)



Figure 2.1: An eruption of Vesuvius seen from Portici, by Joseph Wright (ca. 1774-6), Dominio Publico



Figure 2.2: Columna de Nelson, Dominio Publico





Figure 2.3: Columna de Nelson durante la Gran Niebla de 1952, Dominio Publico

#### 2.1.1.1 Consecuencias

A pesar que durante la fecha, las autoridades no consideraron el efecto de la contaminacion, este evento si causoo gran impacto en la comunidad (Wikipedia contributors, 2019c). Estudios posteriores cuantificaron un impacto en **12.000 muertos** asociados a este episodio de contaminacion (Bell and Davis, 2001).

*comentarios?*

#### 2.1.1.2 CLRTAP

## Tarea / Tema de casa / Homework:

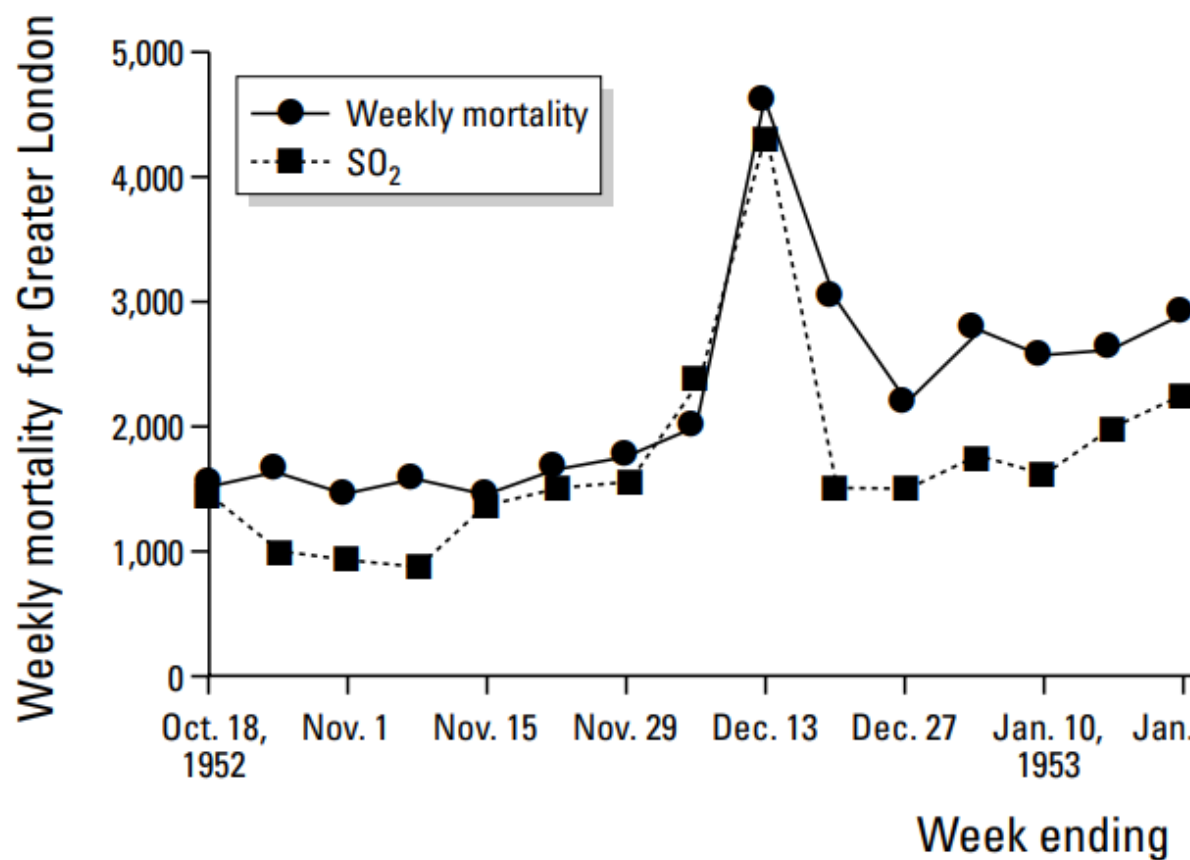
## [1] "Investique que es, causas, consecuencias y poltiica ambiental asociada a CLRTAP"

## 2.2 Contaminantes atmosfericos

Las emisiones liberadas a la atmosfera impactan la salud, meteorologia y clima en diferentes escalas como se ve en la sigueinte figura.

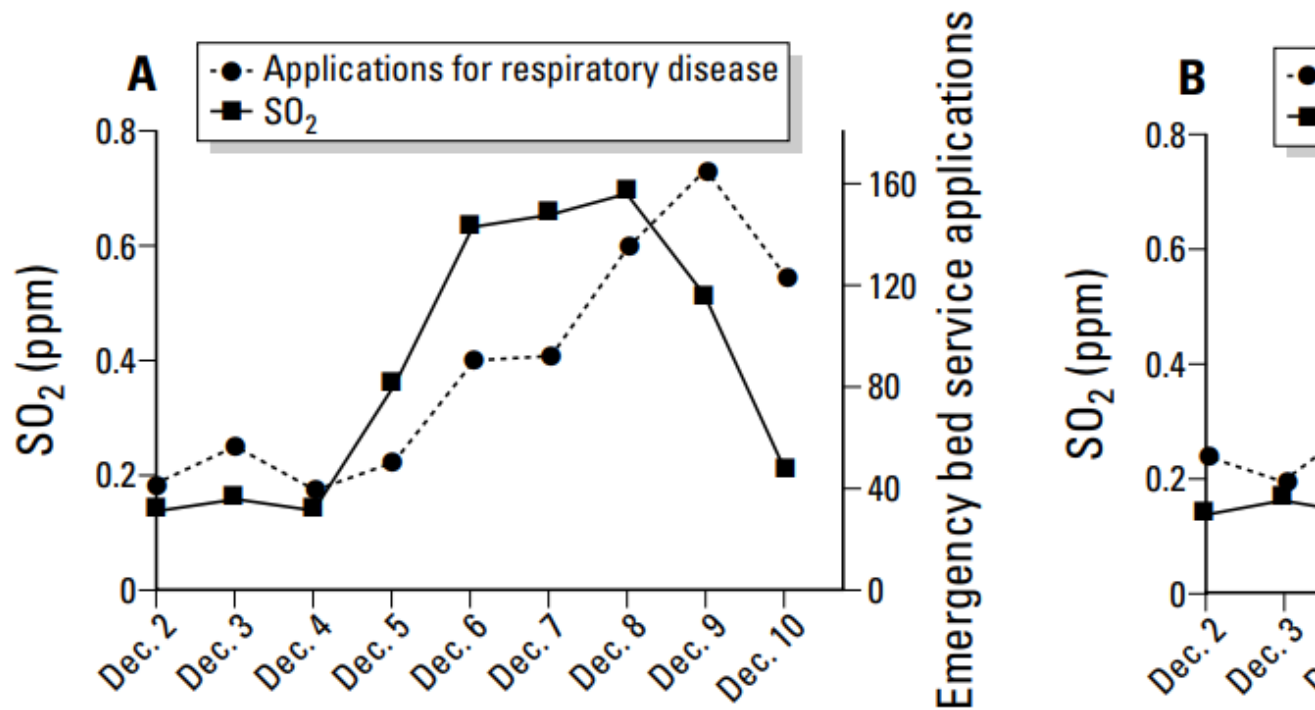
Por lo tanto para entender las emisiones necesitamos respnder las siguientes preguntas:

- Que?
- Como?



**Figure 1.** Approximate weekly mortality and SO<sub>2</sub> concentrations for

Figure 2.4: Mortalidad semanal y concentraciones de SO<sub>2</sub> en Lobres 1952 (Bell and Davis, 2001)



**Figure 4.** (A) SO<sub>2</sub> and emergency bed service applications for respiratory and emergency bed service applications for cardiac disease for Greater London

Figure 2.5: Mortalidad semanal y concentraciones de SO<sub>2</sub> en Lobres 1952 (Bell and Davis, 2001)

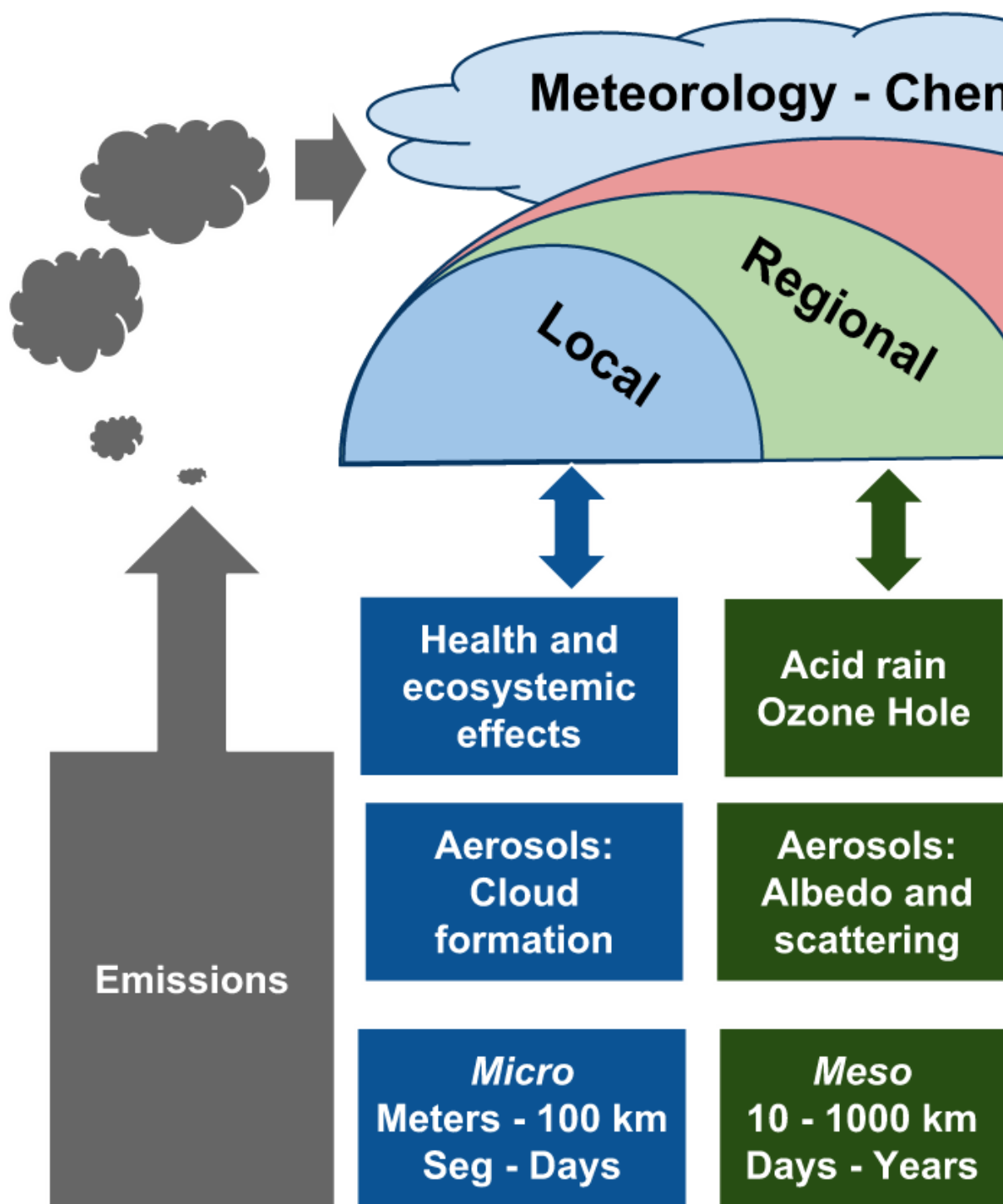


Figure 2.6: Esquema de impacto de emisiones (Ibarra, 2017)

- Cuando?
- Donde?

Los contaminantes atmosfericos suelen ser clasificados como:

- Primarios: emitidos directamente en la atmosfera. Ejemplo: CO.
- Secundarios: formados en la atmosfera. Ejemplo:  $O_3$ .

Existen muchos contaminantes atmosfericos de interes cientifico como

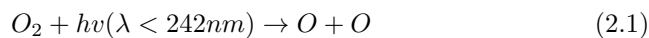
- Ozono  $O_3$
- Monoxido de Carbono  $CO$
- Radicales de Oxidos de nitrogeno  $NO_X \equiv NO + NO_2$
- Compuestos organicos volatiles  $COV$
- Radicales de Halogeno
- Especies de azufre  $SO_2$ ,  $SO_4$ ,  $H_2SO_4$
- Aerosoles

**Cada contaminante tiene un extenso cuerpo teorico. En esta parte del curso nos referiremos brevemente al  $O_3$ , aerosoles y especies de azufre, sin embargo, el estudiante puede revisar la bibliografia para se aprofundar.**

### 2.2.1 Ozono $O_3$

Respecto del ozono es necesario mencionar que existen dos tipos, el estratosferico (bueno) y el troposferico (malo), como es explicado por Brasseur and Jacob (2017).

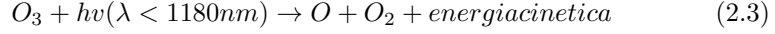
El ciclo de ozono troposferico comienza con la fotolisis de la molecula de oxigeno debido a radiacion solar de longitud de onda minimo 242 nm. Posteriormente, un atomo de oxigeno se combina con otra molecula de oxigeno para formar ozono. La molecula M (cuerpo inerte, como  $N_2$  o  $O_2$ ) estabiliza la molecula de  $O_3$  recién formada.



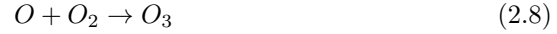
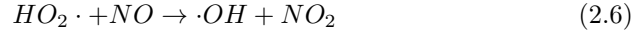
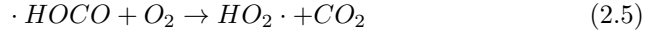
El Ozono luego es fotolizado a un atomo de oxigeno y una molecula de oxigeno ante radiacion menor a 1180 nm, liberando energia cinetica (Wikipedia contributors, 2019f).

En el caso del ozono troposferico, la reaccion comienza cuando el radical hidroxilo  $\cdot OH$  oxida el  $CO$  generando el radical  $\cdot HOCO$  que es inestable y reacciona rapidamente con  $O_2$  generando el peroxi radical  $\cdot HO_2$  y  $CO_2$ . El peroxi radical reacciona oxida  $NO$  generando  $NO_2$  y un radical hidroxilo. Luego el  $NO_2$  es

fotolizado liberando un átomo de oxígeno que reacciona con la molécula de  $O_2$  generando  $O_3$ .



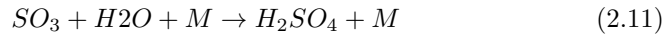
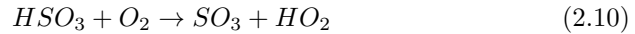
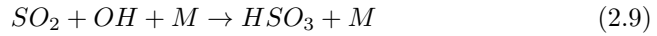
En el caso del ozono troposférico, los ingredientes principales son radiación solar,  $NO_x$  y compuestos orgánicos volátiles (Wikipedia contributors, 2019g).



Los mecanismos mostrados son un resumen de complejas reacciones en la atmósfera donde muchas otras reacciones y compuestos juegan un rol.

### 2.2.2 Especies de azufre

El es un compuesto que reacciona generando importantes contaminantes como sulfatos y ácido sulfúrico, importantes en la lluvia ácida (deposición ácida). Los combustibles tienen azufre y durante la combustión, el azufre es oxidado generando  $SO_2$ , el diesel tiene mayor cantidad de azufre que gasolina, por lo tanto generando más  $SO_2$ . También existe el dimetilsulfido (DMS)  $(CH_3)_2S$ , que es biogénico, así como el carbonilo sulfido (COS), que tiene un largo tiempo de vida que permite su transporte a la estratosfera. A continuación un resumen de los mecanismos de generación de ácido sulfúrico (Brasseur and Jacob, 2017).  $SO_2$  es oxidado por  $OH$



### 2.2.3 Aerosoles

Son partículas suspendidas desde  $\sim 0.001 \mu m$  hasta  $100 \mu m$  (luster molecular a gota). Conocido como material particulado (MP), su caracterización es realizada mayormente en base a su diámetro aerodinámico como se muestra en la siguiente figura (Wikipedia contributors, 2019a)(Brasseur and Jacob, 2017). Existen tres agrupaciones que son:

1. Modo Aiken: núcleos de condensación nuevos (fresh) que condensan (gas) o coagulan (líquidos). Diámetro hasta 100 nm.
2. Modo acumulación: Diámetro entre 100 y 1000 nm.
3. Modo coarse: Diámetro mayor que 1000 nm.

Los aerosoles son clasificados por números, área de superficie y volumen. Normalmente las agencias de medio ambiente miden  $MP_{10}$  (diámetro menos  $\leq$  que  $10 \mu m$ ) y  $MP_{2.5}$  (diámetro menos  $\leq$  que  $2.5 \mu m$ ) en  $\mu g \cdot m^{-3}$ . A continuación una figura mostrando material particulado en Chile, Brasil y China.

**Chile \***

**China**

ingrese aquí: <https://aqicn.org/forecast/beijing/>

**Osasco, Brasil**

NASA WORLDVIEW es un excelente recurso para monitorear aerosoles, incendios y mucho más.

**##** Ingrese a <https://worldview.earthdata.nasa.gov/> y busque aerosol

## 2.3 Forzantes climáticos y gases de efecto invernadero

El efecto invernadero es un fenómeno que se produce naturalmente en la Tierra, sin intervención humana. Por ejemplo, concentraciones biogénicas de  $CO_2$  o el vapor de agua. Sin embargo, el término forzante climático se refiere de estos compuestos químicos tienen una incidencia en el clima, pues alteran el cambio en irradiancia neta  $W \cdot m^{-2}$ .

El forzante radiativo es utilizado como predictor de cambio en la media global de temperatura. IPCC (Schimel et al., 1996) define forzamiento radiativo como:

“The radiative forcing of the surface-troposphere system due to the perturbation in or the introduction of an agent (say, a change in greenhouse gas concentrations) is the change in net (down minus up) irradiance (solar plus long-wave; in  $Wm^{-2}$ ) at the tropopause AFTER allowing for stratospheric temperatures to readjust to radiative equilibrium, but with surface and tropospheric temperatures and state held fixed at the unperturbed values” (Schimel et al., 1996)

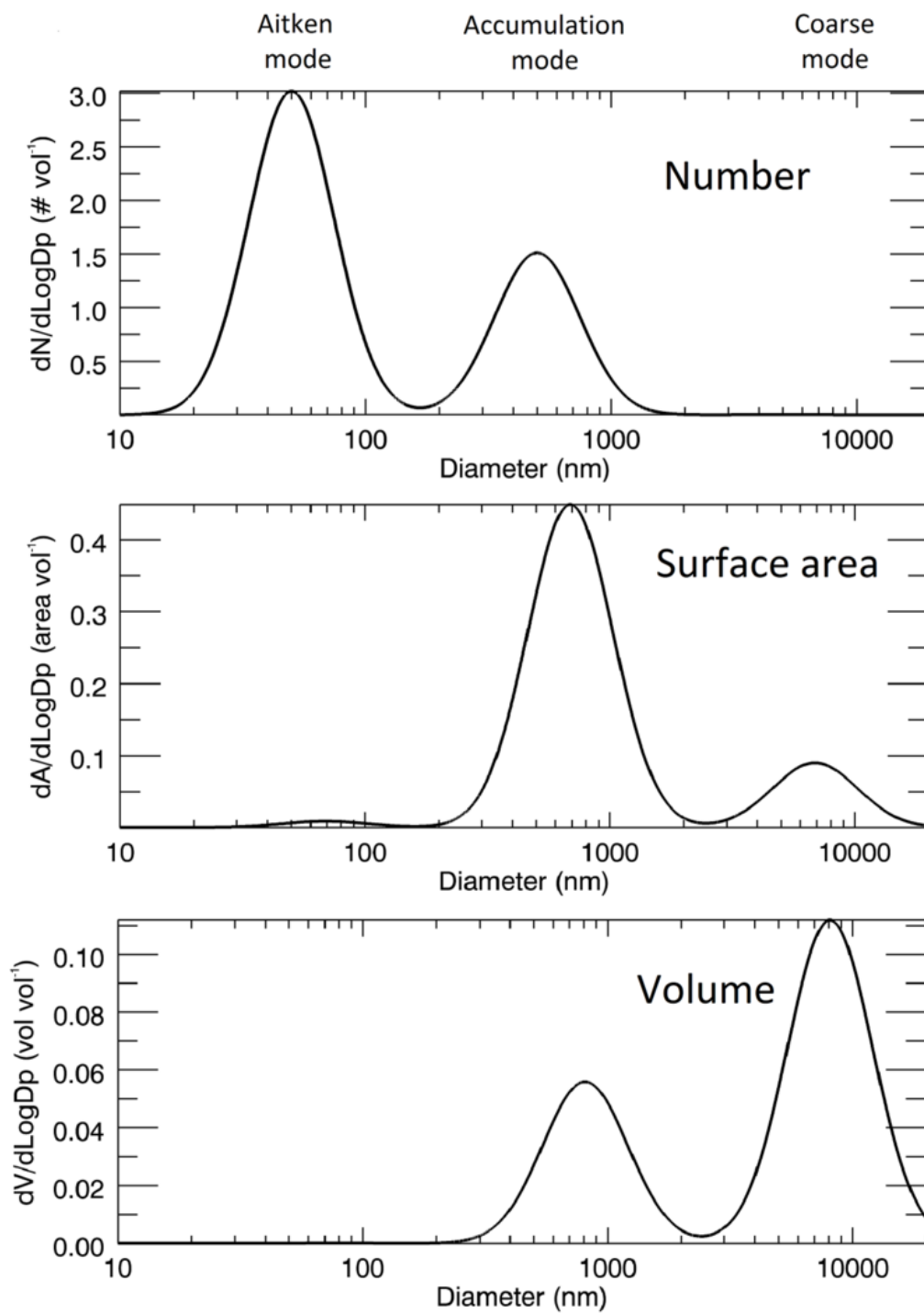


Figure 2.7: Distribucion normalizada (suma es 1000) de aerosoles por diametro aerodinamico, Dominio Publico



2.3. FORZANTES CLIMATICOS Y GASES DE EFECTO INVERNADERO25

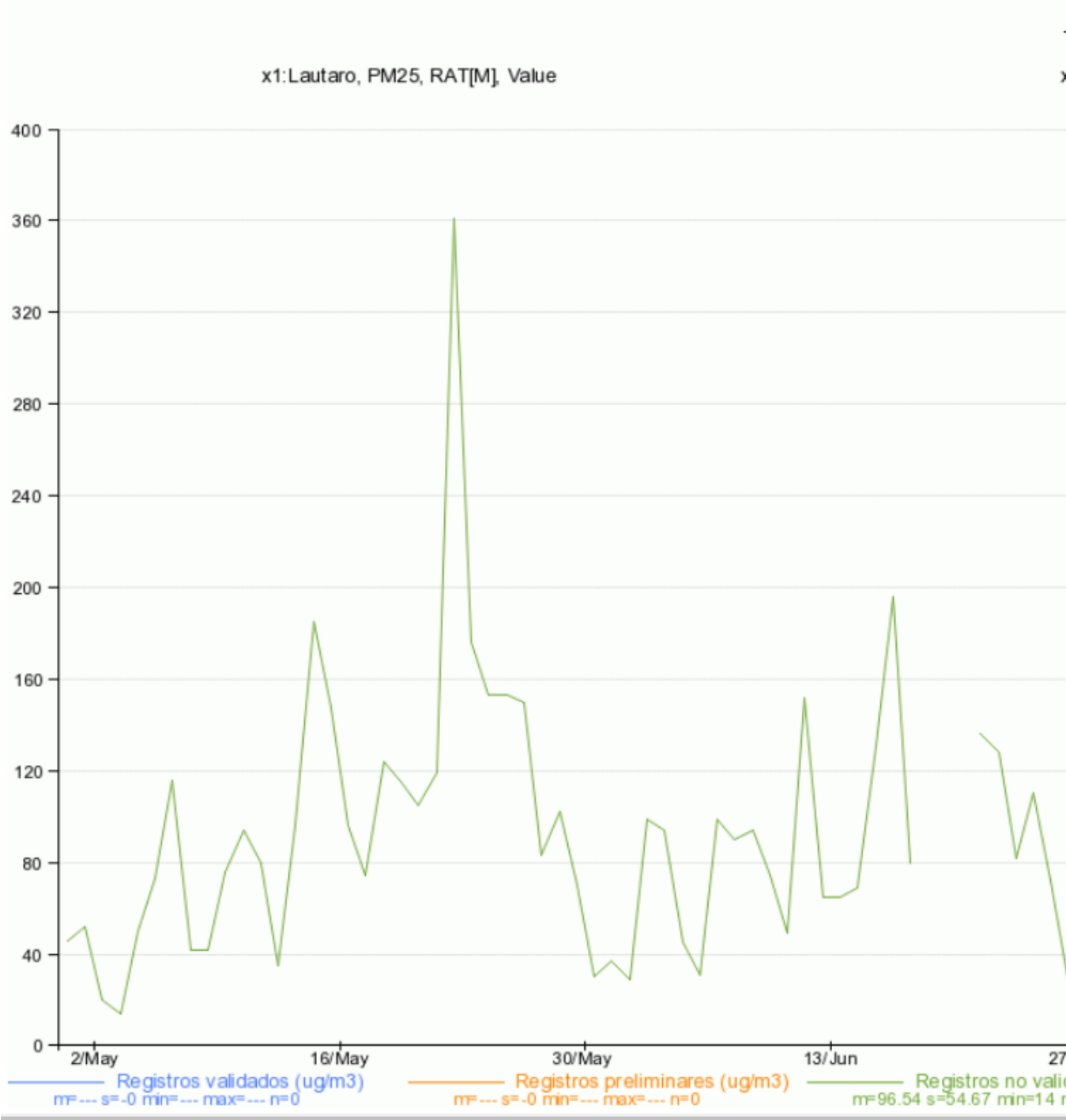


Figure 2.8: MP2.5 ug/m3 em Lautaro, Chile  
(<https://sinca.mma.gob.cl/index.php/estacion/index/key/870>)

Monitoring points	AQI	Air quality index category	Primary pollutant	PM2.5 fine particles	PM10 respirable particulate matter
Regional station	500	Severe pollution	Particulate matter (PM10)	254	724
Gujiang Baga Township	393	Severe pollution	Particulate matter (PM10)	143	494

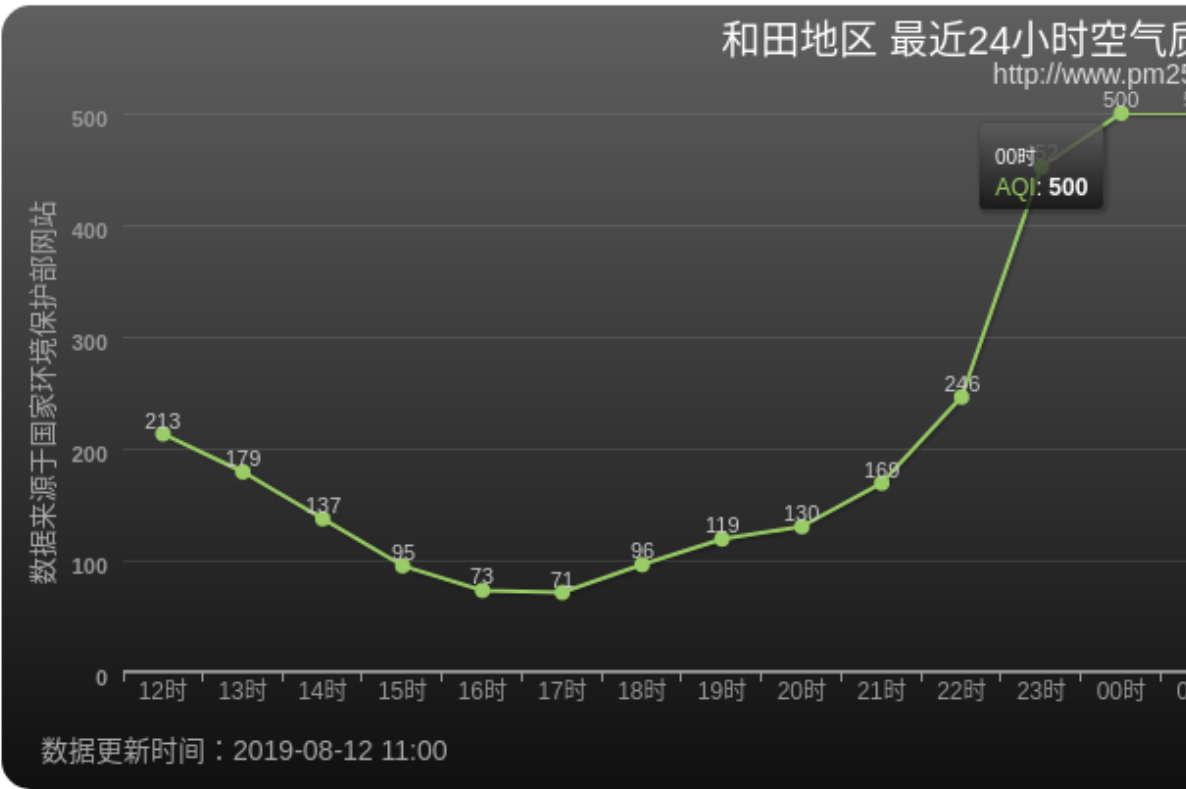


Figure 2.9: MP2.5 ug/m3 em Hotan, China (<http://pm25.in/hetiandiqu>)

2.3. FORZANTES CLIMATICOS Y GASES DE EFECTO INVERNADERO27

Rede Automática				
Data Inicial:	01/01/2019		Data Final:	01/09/2019
Aplicar Represent.:	Não			
Parâmetro:	MP2.5 (Partículas Inaláveis Finas)			
Unidade de Medida:	µg/m3			
Tipo de Dados:	Média Horária			
Tipo de Cálculo:	Média Horária			
Filtro Complementar				
Hora Inicial:	-	Hora Final:	-	
Mês Inicial:	-	Mês Final:	-	

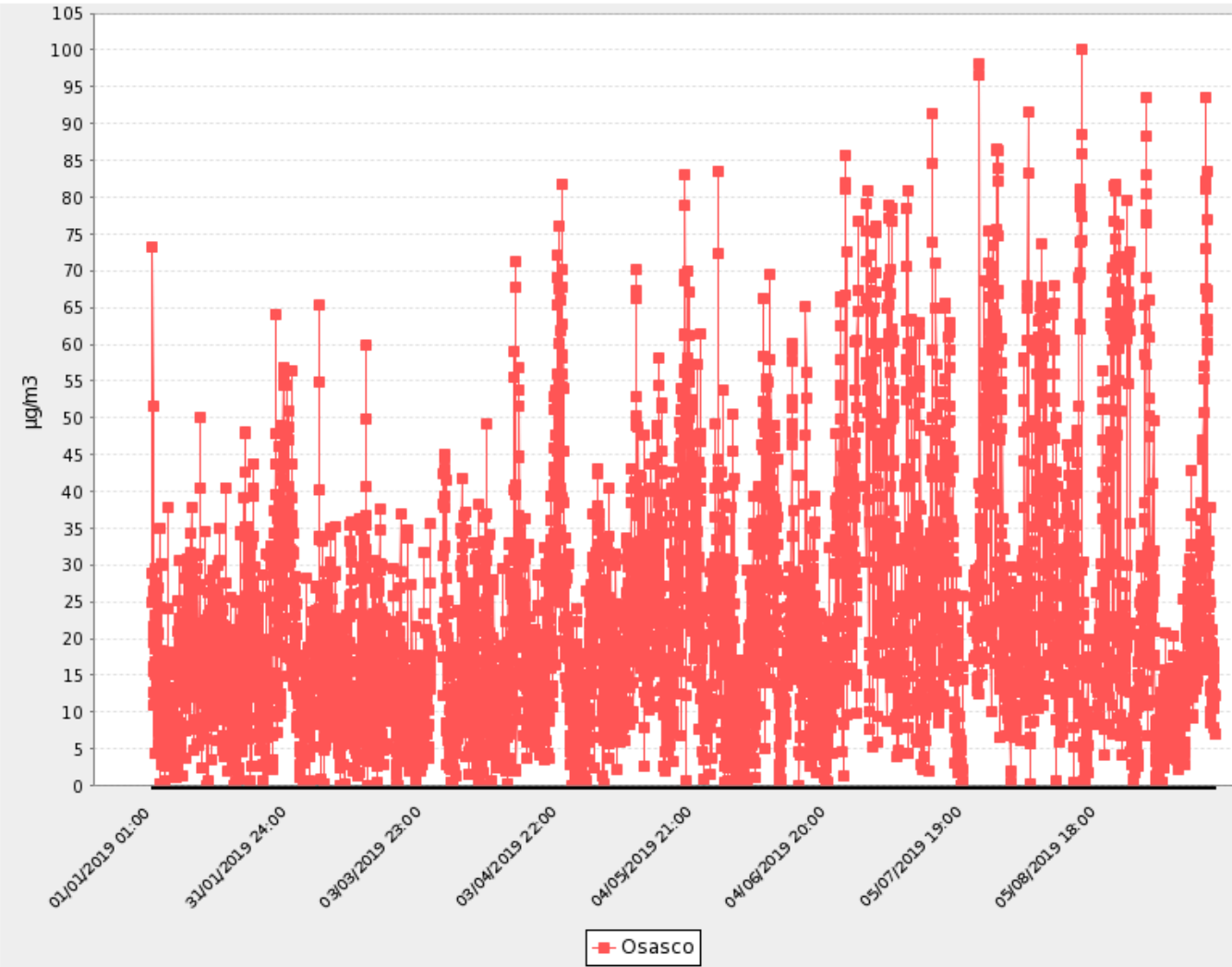


Figure 2.10: MP2.5 ug/m3 Osasco, Brasil (<https://qualar.cetesb.sp.gov.br>)

Contributions to observed surface temperature change over the period 1951–2010

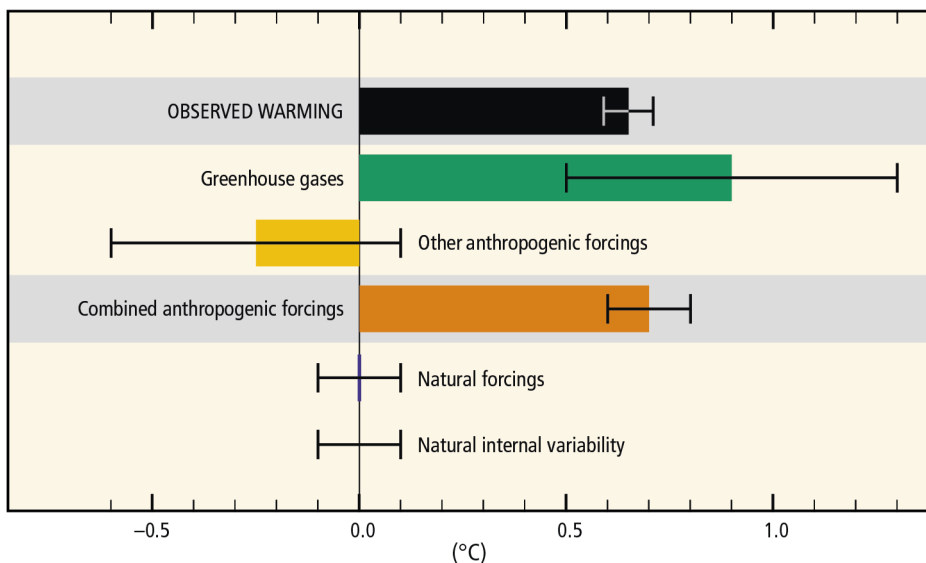


Figure 2.11: Cambio en la temperatura media debido a forzantes radiativas (<https://atmosphere.copernicus.eu/climate-forcing>)

Del sitio web de Copernicus (<https://atmosphere.copernicus.eu/climate-forcing>:

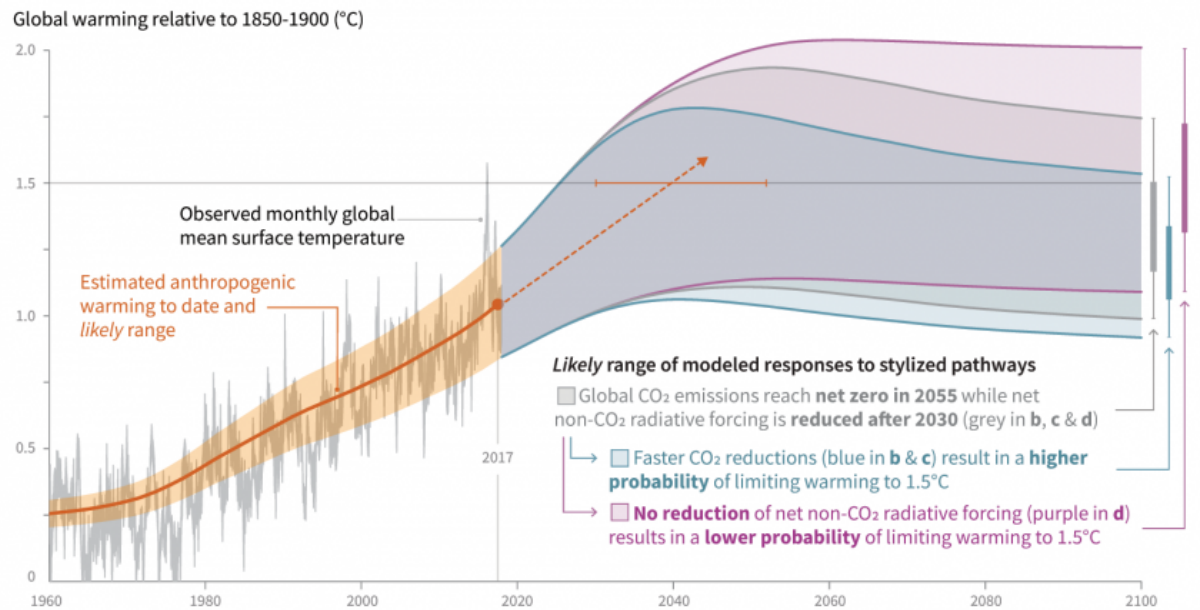
“Climate forcing measures the imbalance in the Earth’s energy budget caused by a perturbation of the climate system, for example changes in atmospheric composition driven by human activities. **Climate forcing, also known as Radiative Forcing, therefore determines the change in globally-averaged temperature change due to the natural or human-induced changes to the energy budget.** Increases in greenhouse gas concentrations over the industrial era are responsible for a positive climate forcing, causing a gain of energy in the climate system. In contrast, changes in atmospheric aerosol concentrations result in a negative climate forcing leading to a loss of energy. It is the balance between these various climate forcings that drive the change in global temperature.” <https://atmosphere.copernicus.eu/climate-forcing>

## 2.4 Emisiones y sus fuentes

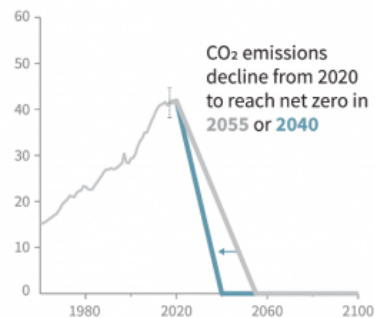
## 2.5 Modelacion de la calidad del aire

## Cumulative emissions of CO<sub>2</sub> and future non-CO<sub>2</sub> radiative forcing determine the probability of limiting warming to 1.5°C

### a) Observed global temperature change and modeled responses to stylized anthropogenic emission and forcing pathways

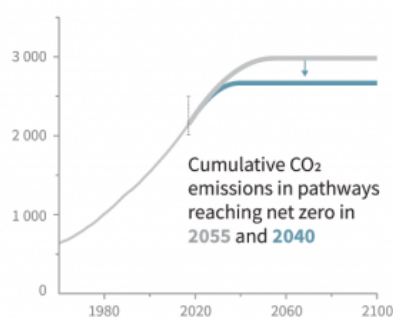


### b) Stylized net global CO<sub>2</sub> emission pathways Billion tonnes CO<sub>2</sub> per year (GtCO<sub>2</sub>/yr)



Faster immediate CO<sub>2</sub> emission reductions limit cumulative CO<sub>2</sub> emissions shown in panel (c).

### c) Cumulative net CO<sub>2</sub> emissions Billion tonnes CO<sub>2</sub> (GtCO<sub>2</sub>)



Maximum temperature rise is determined by cumulative net CO<sub>2</sub> emissions and net non-CO<sub>2</sub> radiative forcing due to methane, nitrous oxide, aerosols and other anthropogenic forcing agents.

### d) Non-CO<sub>2</sub> radiative forcing pathways Watts per square metre (W/m<sup>2</sup>)

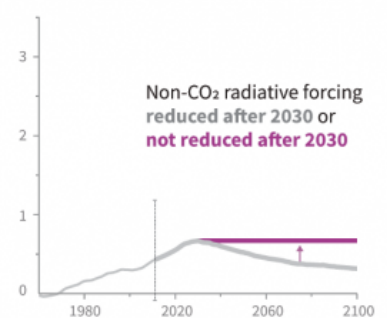


Figure 2.12: Cambio en la temperatura media debido a forzantes radiativas (<https://atmosphere.copernicus.eu/climate-forcing>)



## Chapter 3

# Taller VECTORES: Aplicación de software de información geográfica y modelado

We describe our methods in this chapter.



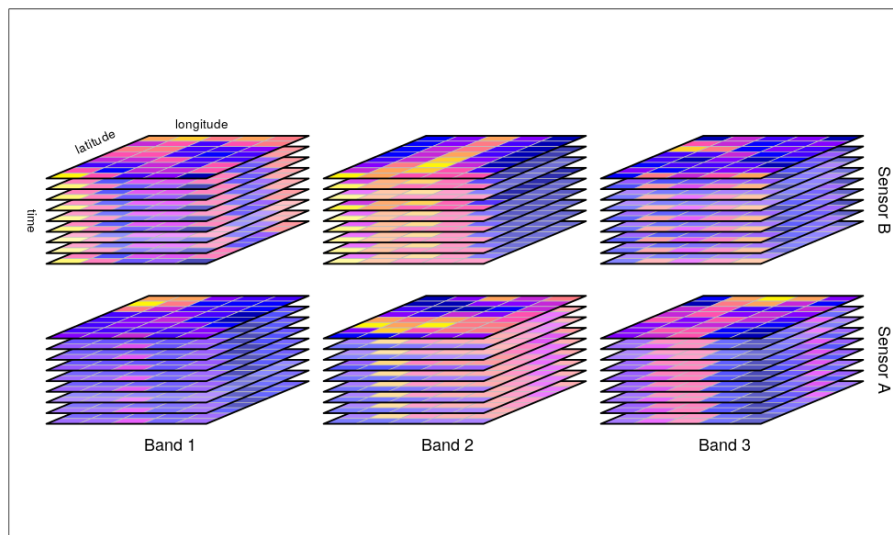
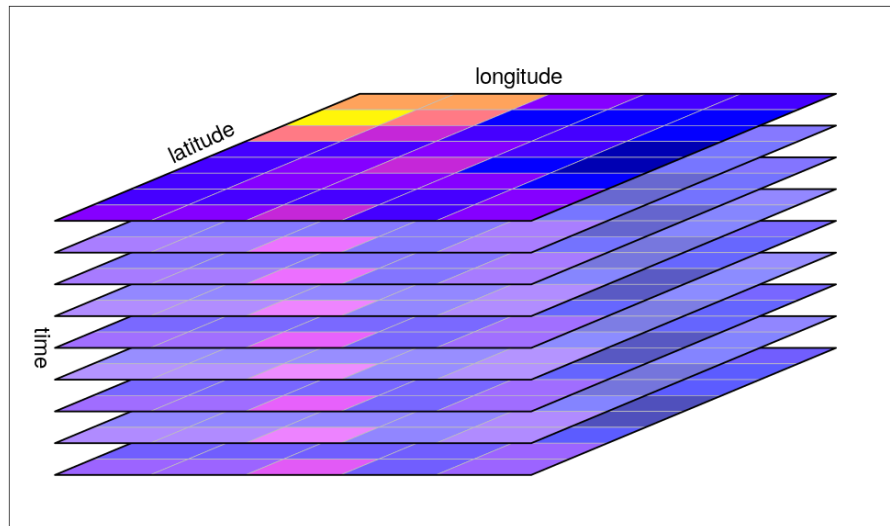


## Chapter 4

# Taller RASTER Y CUBOS DE DATOS VECTORIALES: Aplicación de software de información geográfica y modelado

Amanda Rehbein

Raster son información espaciales en una grilla espacial. Por ejemplo, vea las siguientes figuras:



Ejemplos con R

## Chapter 5

# Final Words

We have finished a nice book.



# Bibliography

- Bell, M. L. and Davis, D. L. (2001). Reassessment of the lethal london fog of 1952: novel indicators of acute and chronic consequences of acute exposure to air pollution. *Environmental health perspectives*, 109(suppl 3):389–394.
- Brasseur, G., Orlando, J. J., Tyndall, G. S., et al. (1999). *Atmospheric chemistry and global change*. Oxford University Press.
- Brasseur, G. P. and Jacob, D. J. (2017). *Modeling of atmospheric chemistry*. Cambridge University Press.
- Cook, J., Oreskes, N., Doran, P. T., Anderegg, W. R., Verheggen, B., Maibach, E. W., Carlton, J. S., Lewandowsky, S., Skuce, A. G., Green, S. A., et al. (2016). Consensus on consensus: a synthesis of consensus estimates on human-caused global warming. *Environmental Research Letters*, 11(4):048002.
- Hijmans, R. J. (2019). *raster: Geographic Data Analysis and Modeling*. R package version 3.0-2.
- Landrigan, P. J., Fuller, R., Acosta, N. J., Adeyi, O., Arnold, R., Baldé, A. B., Bertollini, R., Bose-O’Reilly, S., Boufford, J. I., Breysse, P. N., et al. (2018). The lancet commission on pollution and health. *The Lancet*, 391(10119):462–512.
- Macedonio, G., Pareschi, M. T., and Santacroce, R. (1988). A numerical simulation of the plinian fall phase of 79 ad eruption of vesuvius. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 93(B12):14817–14827.
- OMS (2019). *Global Platform on Air Quality and Health*. <http://goo.gl/y0JhjI>.
- Pebesma, E. (2018). Simple Features for R: Standardized Support for Spatial Vector Data. *The R Journal*, 10(1):439–446.
- Pebesma, E. (2019). *stars: Spatiotemporal Arrays, Raster and Vector Data Cubes*. <https://r-spatial.github.io/stars/>, <https://github.com/r-spatial/stars/>.
- Pulles, T. and Helsinga, D. (2010). *The art of emissions inventorying*. TNO.

- Schimel, D., Alves, D., Enting, I., Heimann, M., Joos, F., Raynaud, D., Wigley, T., Prather, M., Derwent, R., Ehhalt, D., et al. (1996). Radiative forcing of climate change. *Climate change 1995: The science of climate change*, pages 65–131.
- Wikipedia contributors (2019a). Aerosol — Wikipedia, the free encyclopedia. <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Aerosol&oldid=914421453>. [Online; accessed 9-September-2019].
- Wikipedia contributors (2019b). Great smog of london — Wikipedia, the free encyclopedia. [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Great\\_Smog\\_of\\_London&oldid=914236507](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Great_Smog_of_London&oldid=914236507). [Online; accessed 8-September-2019].
- Wikipedia contributors (2019c). Great smog of london — Wikipedia, the free encyclopedia. [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Great\\_Smog\\_of\\_London&oldid=914236507](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Great_Smog_of_London&oldid=914236507). [Online; accessed 8-September-2019].
- Wikipedia contributors (2019d). Mount vesuvius — Wikipedia, the free encyclopedia. [Online; accessed 8-September-2019].
- Wikipedia contributors (2019e). Nelson’s column — Wikipedia, the free encyclopedia. [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Nelson%27s\\_Column&oldid=914602869](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Nelson%27s_Column&oldid=914602869). [Online; accessed 8-September-2019].
- Wikipedia contributors (2019f). Ozone — Wikipedia, the free encyclopedia. <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Ozone&oldid=914124258>. [Online; accessed 8-September-2019].
- Wikipedia contributors (2019g). Tropospheric ozone — Wikipedia, the free encyclopedia. [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Tropospheric\\_ozone&oldid=911584695](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Tropospheric_ozone&oldid=911584695). [Online; accessed 8-September-2019].
- Xie, Y. (2015). *Dynamic Documents with R and knitr*. Chapman and Hall/CRC, Boca Raton, Florida, 2nd edition. ISBN 978-1498716963.