

Estudio de disminución de partículas atmosféricas contaminantes, mediante envolventes térmicas

Andrés Palma Valencia
inge.environmental@gmail.com
2014

Resumen

El problema de la contaminación asociada a partículas atmosféricas en áreas urbanas tanto a nivel global como local, presenta dos mundos en interacción, Uno es el científico, asociado a entender el problema desde su naturaleza Física como la turbulencia o la dispersión, fotoquímicas a través de contaminantes primarios para transformarlos a secundarios y la biológica que busca resolver el impacto en la salud de la población. El otro es el político desde donde se dictaran las directrices económicas y sociales que tendrán su expresión positiva o negativa sobre el problema. Padre las Casas en la región de la Araucanía en Chile, es un ejemplo de como el material particulado (desde ahora PM), se concentra en dos niveles sociales: el nivel Bajo y el nivel Medio.

Palabras clave: contaminación; partículas; político.

Summary

The problem of pollution associated with atmospheric particles in urban areas both globally and locally, has two worlds interact, one is scientific, associated understand the problem from its physical nature as turbulence or dispersion, photochemical through primary pollutants to transform a biological child and seeking to resolve the impact on population health. The other is the political from where economic and social guidelines that will have its positive or negative expression dictate the problem. Padre las Casas in the Araucania region in Chile, is an example of particulate matter (hereafter MP), focuses on two social levels: Low and Middle level.

Key words: pollution; particles; politician.

Introducción

Las ciudades chilenas muestran claros indicios de deterioro ambiental, según lo han concluido diversos estudios de la autoridad Ambiental y de las Universidades que han trabajado los aspectos urbanos, fundamentalmente de las grandes metrópolis y algunas ciudades intermedias (Sandoval, 1999). La mayoría de estos temas dicen relación con graves problemas asociados a la contaminación del aire, agua, suelos, pérdidas de las cubiertas vegetales, carencia de áreas verdes urbanas, profunda segregación social de sus habitantes, entre otros (Azócar et al., 2003). Las áreas metropolitanas del territorio nacional, como Santiago, Concepción Talcahuano, Temuco y Padre las Casas han debido ser declaradas ambientalmente saturadas debido a que sus

medios naturales ya no son capaces de reciclar o disipar las enormes cantidades de desechos domésticos, vehiculares e industriales que emiten a la atmósfera y que contaminan también el suelo y los cuerpos de agua. Lo grave es que este proceso de deterioro conduce a una pérdida de la calidad de vida de los habitantes de la mayoría de las ciudades de la región latinoamericana, que se agudiza por la continua migración desde el campo hacia sectores urbanos. La presencia de la ciudad modifica las condiciones atmosféricas naturales. Las construcciones alteran la rugosidad de la superficie, la humedad del suelo y el balance térmico en la superficie, lo cual trae aparejado una capa atmosférica urbana que suele ser más seca y cálida que el entorno (Ulriksen, 1993).

Este aumento de la temperatura dentro de la ciudad con respecto al entorno (isla térmica), se manifiesta de preferencia en las noches despejadas de invierno. La isla térmica que se produce en Santiago por ejemplo en algunas noches es 10°C mayor que el entorno suburbano (Salinas, 1982). El efecto de isla térmica tiende a elevar la capa de mezcla sobre la ciudad por sobre el entorno, debilitando la ventilación natural. A esto se suma la mayor rugosidad superficial en el centro de las ciudades, todo lo cual frena el flujo de aire a nivel superficial, que es donde viven las personas (Ulriksen, 1993). Esta situación ha obligado a realizar estudios en las grandes ciudades, que han permitido predecir la calidad del aire ante ciertos eventos atmosféricos. En las localidades del sur de Chile el problema no es diferente la Comisión del Medio Ambiente Región de La Araucanía (CONAMA IX) ha realizado monitoreos de PM₁₀ fracción respirable desde 1997 a la fecha, cuyos resultados indican la existencia de altas concentraciones de este contaminante que ha superado el valor de la norma en varios días. Por esta razón CONAMA IX está formulando un Plan de Aire a fin de llegar a niveles de este contaminante que aseguren la protección a la población. De los estudios que avalan el Plan de Aire, se desprende que uno de los principales aportes al MP10 corresponde a las emisiones de combustión residencial de leña.

Es así como este estudio consistió en compilar, sistematizar, e informatizar la línea base de emisiones residenciales, a fin de contar con una herramienta que permita evaluar en forma rápida escenarios de emisiones, las que serán utilizadas posteriormente para evaluar su impacto sobre la calidad del aire de la ciudad de Padre Las Casas. Los habitantes de Padre Las Casas siempre han utilizado la leña para calefaccionar sus hogares y para cocinar, sin embargo, esta práctica es una de las causas principales de emisiones de MP y gases que en algunas ocasiones hacen elevar las concentraciones de contaminantes por sobre las

normas de calidad del aire. La reducción de las emisiones de MP₁₀ contribuye significativamente a mejorar la salud de la población además de permitir un ahorro por concepto de una mayor eficiencia de calefacción.

Las estrategias para reducir las emisiones de MP₁₀ de la combustión de biomasa implican una amplia gama que va desde la educación y buenas prácticas de uso de los equipos, restricciones en el uso de sistemas abiertos, estándares de emisión y mejoramiento de las envolventes térmicas de las casas construidas y una nueva norma técnica que permita tener esta variable incluida desde el comienzo en la construcciones.

En éste ámbito desde la crisis del petróleo en 1973, hasta la actual, consecuencia del calentamiento global, el mundo entero ha diversificado estrategias para hacer un uso más eficiente de la energía en construcciones y viviendas. Chile ha participado de este proceso. Aplicar criterios de eficiencia energética a las viviendas sociales, es para este Ministerio un parámetro más de calidad y sustentabilidad. No solo porque se traduce en una mejor calidad de vida de las personas, sino también porque contribuye a un desarrollo amigable con el medioambiente. Un estudio realizado a viviendas construidas anterior a la Reglamentación Térmica (2000) nos da cuenta de la mala evaluación que tenemos los chilenos con respecto al confort térmico de nuestras viviendas. Por ello, usar materiales constructivos apropiados, puede significar para una familia vulnerable un ahorro del 20% en energía o permitir que su vivienda mantenga un mayor tiempo las condiciones de confort interior.

De la mano de dos concursos de arquitectura se les ha planteado el desafío a jóvenes profesionales para generar diseños modernos y eficientemente energéticos en las viviendas sociales. Esta experiencia ha demostrado que, pese a las restricciones que imponen el tamaño y los recursos disponibles, es posible obtener un

gran nivel de confort mediante la adecuación del diseño, la geometría, la orientación y la construcción de viviendas adecuadas a las condiciones climáticas de su entorno. Bajo esta mirada es esencial comprender que el uso eficiente de la energía en una vivienda debe considerarse desde las primeras etapas de diseño. De este modo, es muy importante que el diseño arquitectónico busque acercarse lo más posible al confort de los usuarios, haciendo mínima la necesidad de gastar energía para alcanzar condiciones ambientales adecuadas para la actividad humana.

Marco Teórico

La comuna de Padre las Casas, se encuentra a una distancia de 5 km al norte de la ciudad de Temuco, con una superficie de 400,7 km², lo que representa un 1,3% de la superficie de la Región. La comuna limita Oeste con la comuna de Nueva Imperial, al sur con la comuna de Freire y al este con la comuna de Vilcún. Su población representa el 7,7% de la población regional, lo que corresponde a un 9,6% de la población provincial. La distribución por sexo muestra que por cada 100 mujeres hay 97,1 hombres.

Indicador	Comuna	Región
Superficie en Km ²	400,7	31.842,3
% Superficie de la Región	1,3	--
Población 2012*	74.134	907.333 hab.
% Pobl. De la Región	7,7	--
Densidad	186,5	30,7 hab./Km ²
% Pobl. Provincial	9,6	--
% Hombre	50,2	49,5
% Mujeres	49,8	50,5
% Pobl. 0 – 14 años	24,3	23
% Pobl. 15 – 64 años	68,3	67,1
% 65 años y más	7,5	9,9
Índice Masculinidad	100,9	98,2
Índice de Dependencia	46,5	49,1
Índice de Swaroop	72,0	75,7
% Ruralidad	48,10	32,1
% Población étnica	52,5	32,1

Fuente: CASEN 2009
*Proyecciones de población INE 2012

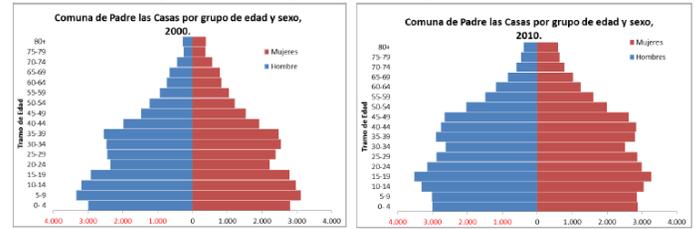


Fuente: Perfil Sanitario del Servicio Araucanía Sur

Tabla 1: Datos Demográficos de Padre las Casas, 2009. Grafico 1: Mapa comuna Padre las Casas

La comuna de Padre las Casas, según proyecciones del INE para el año 2012, tiene una población de 74.134 habitantes, que la ubica dentro del primer tercio de comunas con más de 30 mil personas.

La población de Padre las Casas representa el 7,7% de la población regional; con respecto a sus características; tiene un 50,2% de hombres y el 68,3% se encuentra entre los 15 y 64 años.



Fuente: Elaboración propia, INE

La tendencia en la composición de la población expresada en los cambios de la pirámide demográfica refleja progresivo envejecimiento y aumento de la población entre 40 y 44 años y disminución de la población infantil, principalmente de niños entre 5 y 9 años.

En cuanto a sus indicadores socioeconómicos, la comuna presenta una situación de pobreza superior a la nacional y a la regional, la población presenta menos años de escolaridad promedio que la Región y mayores niveles de analfabetismo que la región.

Indicadores Socioeconómicos	Padre las Casas	Región	País
Pobreza no indigente	22,0	18,1	11,4
Porcentaje de Indigencia	13,3	9,0	3,7
Porcentaje de Pobreza Total	35,3	27,1	15,1
Promedio Ingreso Autónomo Total ¹	\$ 290.803	\$ 431.218	\$ 735.503
Promedio Años de Escolaridad 2009	8,2	9,1	10,4
Promedio Años Escolaridad de las personas de 25 años y más. 2009	7,4	8,5	10,0
Porcentaje Analfabetismo	9%	6,9	3,5
Porcentaje Analfabetismo por sexo	7% Hombres 12% Mujeres	8% Hombres 11% Mujeres	3% Hombre 4% Mujeres
Porcentaje Población Activa Ocupada	37,4	42	50
Porcentaje de Hogares totales con Saneamiento Deficiente	40,8	20,8	6,4

Fuente: Casen 2009

Tabla 2: Principales Indicadores Socioeconómicos de la Comuna de Padre las Casas, 2009

La contaminación del aire por MP₁₀ en Padre Las Casas ha sido medida desde 1997 a través de monitoreos exploratorios, y desde mediados del año 2000 con mediciones continuas. Los valores observados demuestran que las concentraciones de MP₁₀ representan riesgos para la salud de la población debido a sus altas concentraciones

principalmente en el período otoño-invierno, lo que ha originado la reacción de las autoridades encargadas de velar por el bienestar de la población. Es así como la Comisión Nacional del Medioambiente de la Región de la Araucanía, ha decidido encarar la problemática a través de una serie de estudios que permitan generar los antecedentes necesarios para determinar la estrategia óptima que conjugue la disminución de emisiones necesarias para alcanzar niveles de concentración de contaminantes seguros, con la realidad cultural, social, y económica de la comuna.

Métodos

1) Asunciones Iniciales

Se supone que el MP que se genera durante un año en la comuna de Padre las Casas, es producto en gran medida del consumo de leña en el sector residencial. De acuerdo al inventario de emisiones para MP₁₀, elaborado por CENMA, se desprende que de las distintas actividades antropogénicas, la leña, es responsable del 73.67% de las emisiones. Ver Figura- 1

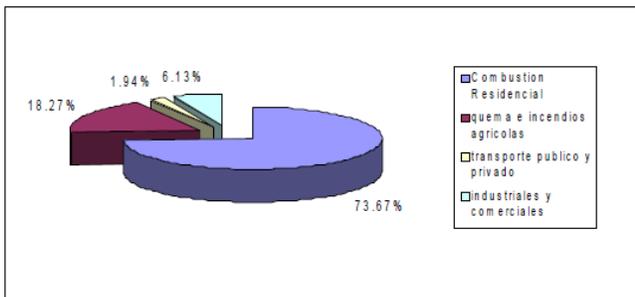


Figura1 Participación de las emisiones en Temuco y Padre las casas

Para esto, se revisaron los antecedentes referidos a las medidas de aislamiento térmico (techos, envolvente y pisos) a estudiar a fin de facilitar su implementación de acuerdo a dos escenarios. Uno donde las emisiones de MP como resultado del consumo de leña dividido en artefactos como cocinas, salamandras, estufas simples, estufas doble cámara y chimeneas, son

generados por los distintos niveles sociales (clase baja, media y alta), en una proyección de diez años sin intervención alguna partiendo del conocimiento que para la comuna se consumen al año 600.000 m³ de leña en total desglosado en la participación de artefactos como lo muestra la tabla 3.

Tabla 3: Distribución de equipos que usan leña según nivel socioeconómico

2) Estado Final

Se mide el descenso de MP₁₀ en relación con la propuesta presentada por la autoridad política, en base al **Plan de Descontaminación Atmosférico** y la medida 6: Mejoramiento térmico de la Vivienda existente por medio de la aplicación de Subsidio SERVIU.

Esta medida está orientada a disminuir el consumo de combustible para calefacción de las viviendas existentes, mediante la incorporación de sistemas de aislamiento que serán fomentados a través de subsidios. Para esto se considera la normativa técnica descrita en la Medida 5 (Análisis de medidas para incorporar al plan de descontaminación atmosférica de Temuco y Padre las Casas; Gobierno de Chile), pero para ser cumplida por viviendas existentes. Esto implica un esfuerzo mayor por parte del Estado a fin de entregar subsidios que incentiven, en el corto y mediano plazo, el mejoramiento térmico de las viviendas. No obstante lo señalado, en lo que dice relación con la pertinencia legal de la compensación de emisiones, se debe tener presente el inciso 2º del artículo 57 del actual PPDA de la Región Metropolitana, que dispone que CONAMA “coordinará un estudio tendiente a establecer el

procedimiento que haga operativo la compensación de emisiones para estos equipos. Este estudio servirá de base para la dictación del decreto mediante el cual se establecerá dicho mecanismo". El estudio al que se alude, se encuentra en etapa de licitación en la COREMA RM. Respecto a la viabilidad legal de la compensación de emisiones, la Ley 19300 en el literal h) del artículo 45 ordena que como contenido mínimo de un plan, se puede proponer "cuando sea posible" mecanismos de compensación de emisiones. Este mecanismo puede ser parte del decreto supremo que establezca el plan de descontaminación, en donde el procedimiento y las metodologías deben estar definidos.

Finalmente, si existieran los estudios que permitan contar con un procedimiento operativo para la compensación de emisiones, se puede utilizar como instrumento legal para dar vida jurídica a la metodología apropiada, el Decreto Supremo N° 19/2001 del MINSEGPRES, que Faculta a los Ministros de Estado para firmar "Por Orden del Presidente del República", los decretos supremos relativos a las materias que allí se detalla; entre ellas se faculta al Ministro Secretario General de la Presidencia para dar su "Aprobación de procedimientos técnicos para evitar la contaminación".

En este contexto, las viviendas debe ser consideradas como un sistema que muestra efectividad en conseguir confort térmico (concepto que se define más adelante), haciendo uso de estrategias que necesiten el menor consumo de energía posible. Con esto se quiere indicar que aplicando un conjunto de estrategias, con efectos superpuestos, se pretende conseguir la eficiencia energética de las viviendas, en otras palabras, por ejemplo, si se aplica determinada estrategia para conseguir confort en cierto periodo, esta debe complementarse con otras para conseguir eficiencia en idéntico periodo y a lo largo de todo el año. Puede, en un cierto caso, usarse la estrategia de alta inercia de absorción

(o alta efusividad para ser más precisos) en una vivienda para conseguir confort térmico en verano, aminorando en el interior las temperaturas máximas. Si ella no se complementa con la protección solar en ventanas, para evitar la ganancia solar en la indicada estación, prácticamente se anula el efecto de la alta efusividad del edificio y por tanto el confort no se consigue.

Este aspecto, fundamental para conseguir confort con eficiencia energética, debe también considerar que la vivienda tiene que presentar un buen comportamiento térmico en todo periodo del año, por lo que las estrategias a considerar deben ser compatibles con este objetivo. Una buena estrategia para periodos fríos de año, debe al menos no afectar el confort en periodos calurosos. La eficiencia energética en los edificios y en particular en las viviendas, puede ser conseguida con la aplicación de una serie estrategias de diseño arquitectónico y de técnicas constructivas, las que se han desarrollado fuertemente a partir de la mencionada crisis del petróleo de 1973. Junto a ello, también se ha evolucionado significativamente en la búsqueda de sistemas (instalaciones) de alta eficiencia para acondicionamiento térmico. Iluminación artificial y ventilación. Parte de estos sistemas son consumidores de recursos energéticos fósiles (petróleo, gas natural, carbón) por lo que también se ha invertido gran cantidad de recursos en la generación de sistemas de acondicionamiento con uso de recursos renovables (sol, viento, intercambio de calor con el subsuelo y otros). La figura 2 muestra esta evolución, a partir de un uso intensivo de recursos energéticos fósiles, pasando por la aplicación de sistemas basados en recursos energéticos renovables con pequeño uso de energías tradicionales (sistemas activos), hasta el uso de tecnologías y estrategias efectivas de diseño que funcionan de manera natural (sistemas pasivos). La figura muestra tecnologías aplicadas separadamente a una vivienda para

facilitar la representación gráfica, pero se insiste en que cada tecnología o estrategia, especialmente las de energías renovables activas y pasivas, debe cumplir su rol correspondiente todo el año o en un periodo de este sin afectar el periodo restante.

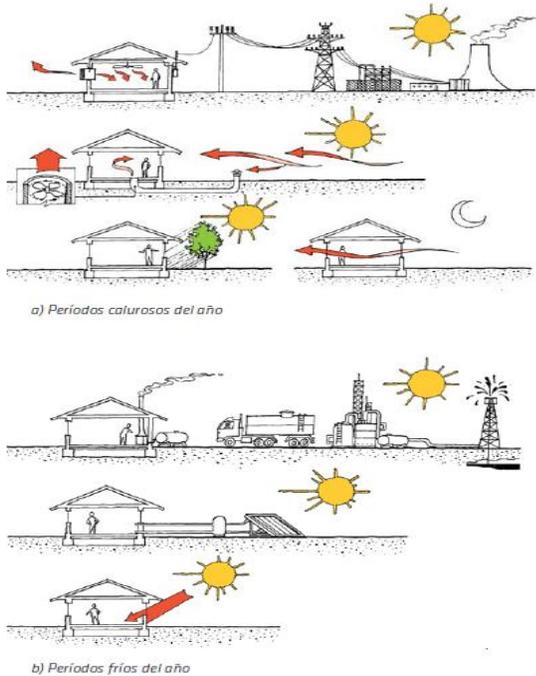


Figura 2: Viviendas que utilizan recursos energéticos no renovables (arriba), sistemas activos en base a recursos renovables (centro), y sistemas pasivos basados en energías renovables (abajo), según estación del año.

3) Construcción del Modelo

La filosofía de la dinámica de sistemas gira en torno al concepto de retroalimentación, o causalidad circular entre *variables observables*. Estas variables observables pueden describir algún atributo de los componentes básicos del sistema (p. ej. la velocidad de una partícula de gas en un recipiente), o referirse a alguna magnitud global del sistema (la presión en el recipiente). Bien es cierto que existe una tendencia generalizada en la dinámica de sistemas a utilizar *variables observables del sistema en su conjunto*. En ese caso, es importante darse cuenta desde un principio que

el mero hecho de estudiar magnitudes agregadas del sistema global (en vez de estudiar magnitudes de sus componentes básicos directamente) supone ya un alto grado de abstracción. A diferencia de la simulación basada en agentes (donde se estudian interacciones entre los componentes básicos del sistema), el foco de atención en la dinámica de sistemas reside en la relación existente entre *variables observables*. Estas relaciones son, en general, suficientemente complejas de por sí. En la mayoría de los sistemas complejos existen variables observables que no están ligadas por una relación lineal causa-efecto. Las relaciones lineales causa-efecto en el sentido tradicional del término se caracterizan por las siguientes propiedades (Scholl, 2001):

1. la causa precede al efecto en el tiempo,
2. existe una fuerte correlación empírica entre causa y efecto, y
3. esta relación no es el resultado de ninguna otra variable.

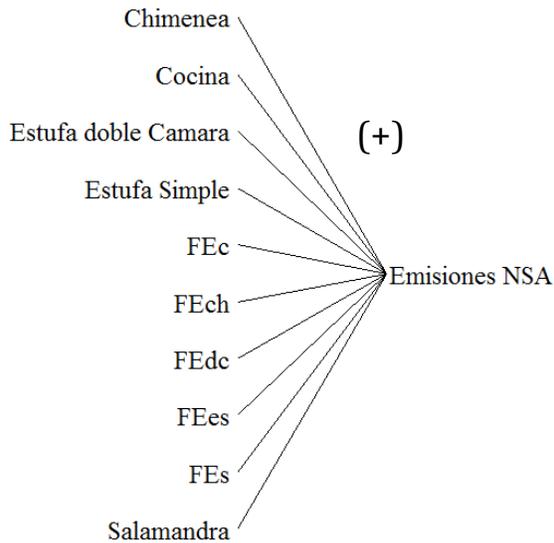
Para el caso que nos reúne, se tomaron variables que nos permiten conocer la relación existente entre los artefactos estudiados: Cocina, Salamandra, Estufa simple y de doble cámara como Chimeneas todas residenciales, con la leña consumida. Cada variable independiente anteriormente descrita se relaciona con la generación de emisiones de PM₁₀ expresada en Ton/año, a través de un factor de emisión que es exclusivo para cada artefacto como lo muestra la tabla 4

Humedad de la Leña	Tipo de Artefacto	Factor de Emisión de MP10 (g/Kg)
Seca	Cocina	9.7
	Salamandra	5.3
	Estufa simple	5.1
	Estufa doble cámara	5.1
	Chimenea	9.3
Húmedo	Cocina	12.2
	Salamandra	11.4
	Estufa simple	11.2
	Estufa doble cámara	8.6
	Chimenea	12.2

Tabla 4 Factores emisivos de MP10 Promedios

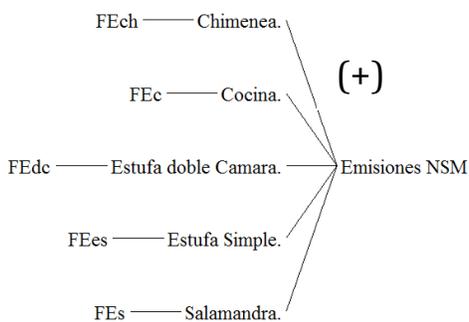
Se utiliza para esta simulación los factores correspondientes a leña húmeda por ser la más ampliamente usada en la zona.

Diagrama para Nivel Socioeconómico Alto



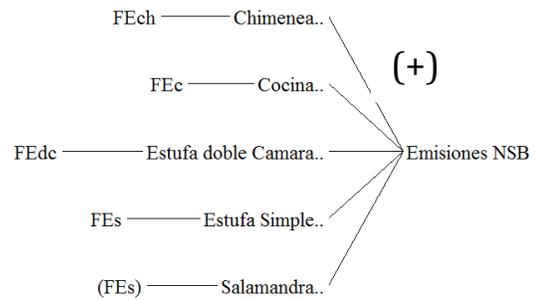
Podemos observar un bucle positivo, que nos indica que a mayor numero de artefactos mayor numero de emisiones de PM₁₀.

Diagrama para Nivel Socioeconómico Medio



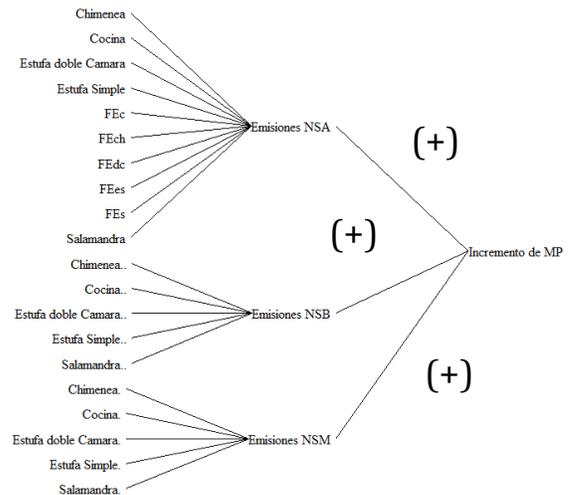
Podemos observar un bucle positivo, que nos indica que a mayor numero de artefactos mayor numero de emisiones de PM₁₀.

Diagrama para Nivel Socioeconómico Medio



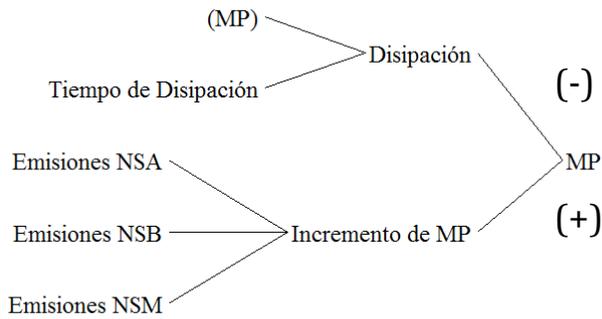
Podemos observar un bucle positivo, que nos indica que a mayor numero de artefactos mayor numero de emisiones de PM₁₀.

Diagrama para la variable incremento de PM



Cada una de estas variables independientes alimentan las emisiones medidas por nivel socioeconomico, pero como todas ellas llegan a la atmósfera se contabilizan como una sola gran variable categorizada como **Incremento de PM** la cual tiene una relación positiva con sus variables de alimentación.

Diagrama para las variables flujo y nivel.



Aquí encontramos presente una situación donde se aprecia que la variable disipación afecta negativamente el valor de la acumulación de PM₁₀ en la atmósfera.

El diagrama completo se aprecia en la figura 3

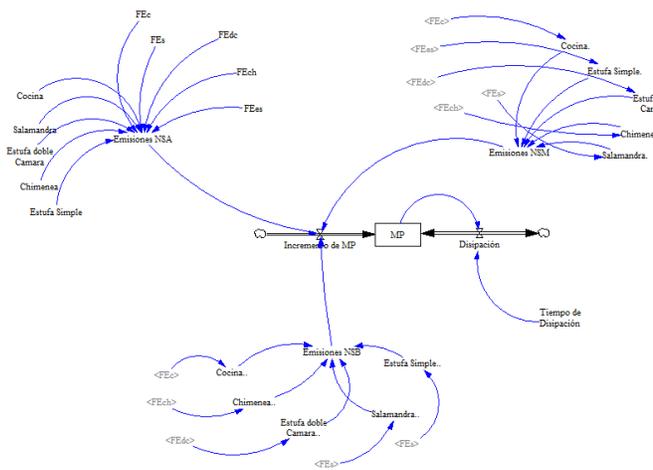
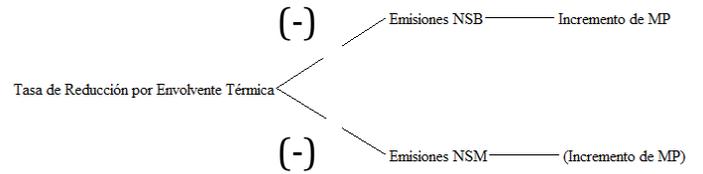


Figura 3, diagrama de dinamica de sistemas para el caso estudiado, escenario sin intervención.

Para el caso del segundo escenario se estudia el desenso en el PM₁₀, que las politicas de estado enfocadas a los niveles socioeconomicos bajos y medios tendran en lo relativo a subsidios entregados para realizar trabajos de reconversión en viviendas enfocadas a mejorar la aillación térmica de la casa (techos, envolvente y pisos).

Diagrama para la variable Tasa de Reducción por Envoltente Térmica



El diagrama completo se aprecia en la figura 4

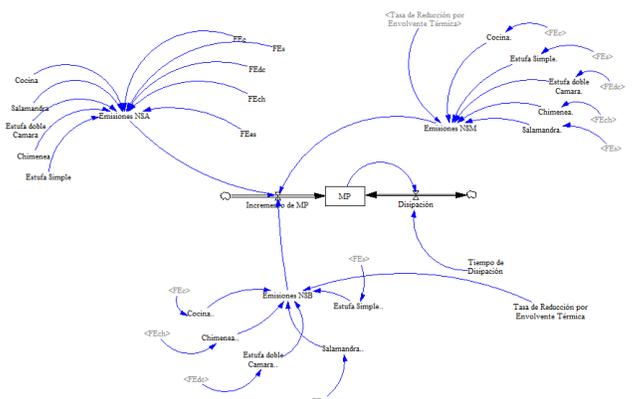


Figura 4, diagrama de dinamica de sistemas para el caso estudiado, escenario con intervención.

Para el desarrollo del modelo se parte de los datos de consumo de leña en la zona de Padre las Casas, la cual asciende a 600.000 m³ al año, lo cual representa una cantidad de 365.005 Ton/año si nos remitimos a los datos entregados por productores de leña de la zona que fijan el metro cubico estéreo de leña en 590,7 Kg. La tabla 3 y 4 muestran la cantidad de artefactos en estudio por nivel social, como así los factores de emisión para leña húmeda, que es la más ampliamente utilizada.

El cálculo de emisiones se realiza por medio de la siguiente formula:

$$E = \sum Na + Fe$$

Dónde:

Na: Tasa de consumo de leña por artefacto y nivel socioeconómico expresada en Ton/año

Fe: factor de emisión de PM₁₀, por equipo expresada en Ton PM/kg de leña consumida.

Para determinar el impacto de la medida aplicada en el PDA, se utilizan las proyecciones realizadas por la Universidad de Chile respecto a disminución de PM₁₀ en función de la envolvente térmica, los datos se presentan en la tabla 5

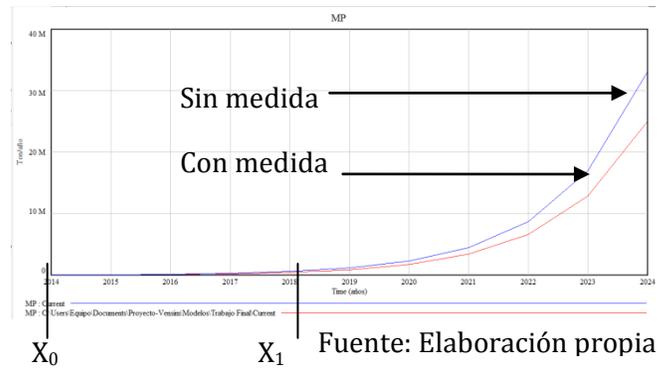
AÑO	EMISION M6_E3 (ton)		% REDUCCION M6_E3	
	ANUAL	DIARIA	ANUAL	DIARIA
2007	3570	26.2	6.3	6.8
2008	3369	24.6	12.5	13.4
2009	3158	22.9	18.6	20.2
2010	2962	21.3	24.5	26.6
2011	2776	19.8	30.2	32.9
2012	2583	18.2	35.8	38.9
2013	2384	16.6	41.5	45.0
2014	2214	15.3	46.6	50.3
2015	2033	13.8	51.7	55.9
2016	1861	12.4	56.5	61.1
2017	1946	13.1	55.4	59.8
2018	2005	13.6	54.8	58.9
2019	2083	14.2	53.8	57.9
2020	2165	14.9	52.8	56.7
2021	2251	15.6	51.8	55.6

Tabla 5: Reducción de emisiones de PM₁₀ debido a M6_E3.

Resultados

Partimos de una cantidad de emisiones totales estimada en 20294 Ton/año producto de los aportes generados por los distintos niveles socioeconómicos, cuando le entregamos los datos al modelo y realizamos los corrimientos la proyección estimada en 10 años presenta el siguiente comportamiento comparado, como nos muestra la figura 5.

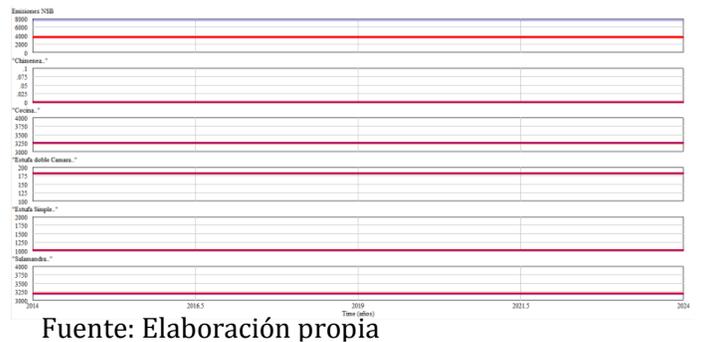
Figura 5: Escenario comparado entre el modelo con aplicación de medida y situación en statu quo.



Donde X₀ representa el año de inicio de estudio 2014 y X₁ el año 2018, donde se puede apreciar las dos curvas generando una diferencia entre los dos estados.

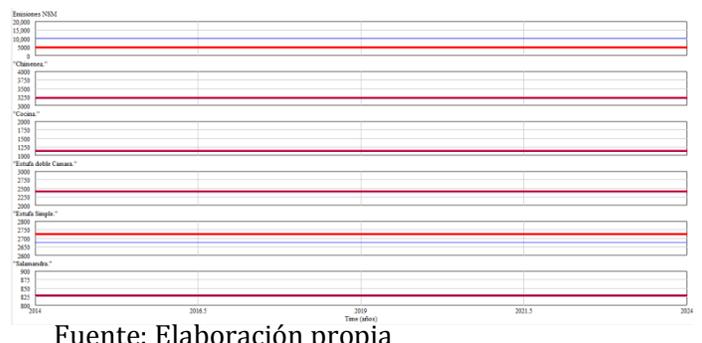
Las tablas 6 y 7 muestran los patrones de disminución de PM en los distintos niveles socioeconomicos.

Tabla 6: Nivel Socioeconomico Bajo



Fuente: Elaboración propia

Tabla 6: Nivel Socioeconomico Medio

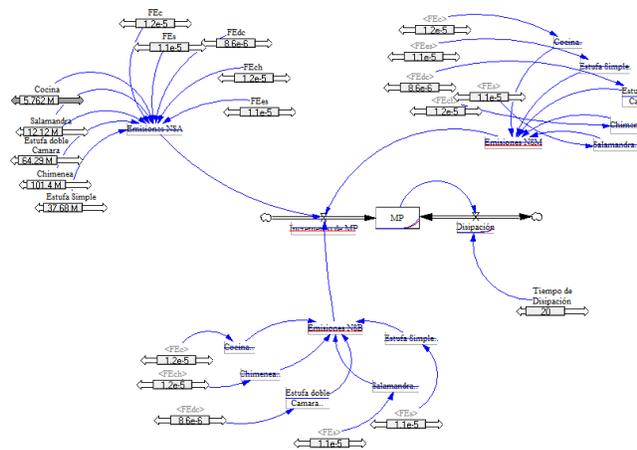


Fuente: Elaboración propia

El comportamiento del modelo podemos apreciarlo en la figura 6 y 7 donde la primera

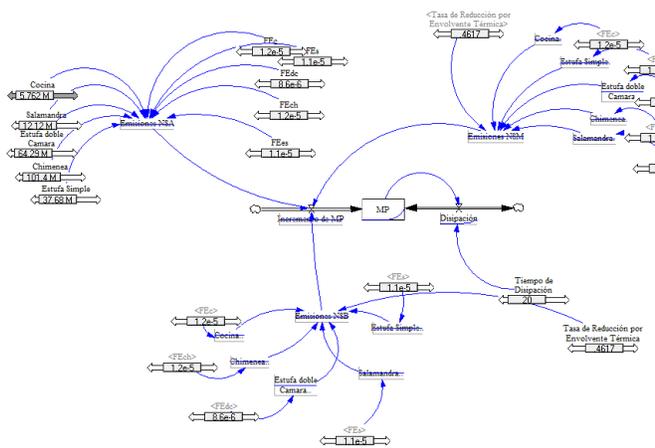
corresponde al escenario sin medida y la segunda la evaluación de la envolvente.

Figura 6: Modelo Evaluado sin Intervención



Fuente: Elaboración propia

Figura 7: Modelo Evaluado con Propuesta



Fuente: Elaboración propia

Discusión

Un modelo no es más que la descripción formal y simplificada de un proceso natural. Pero llegar a una abstracción tal no suele ser tarea fácil ya que requiere de la experiencia contrastada en campos variados del conocimiento; en el caso que nos ocupa en matemáticas y medio ambiente (Edelstein-Keshet 2005; Otto y Day 2007).

Es por esto, que una mayoría de los profesionales prefiere no pasar de una descripción meramente

relacional y estadística de su aproximación metodológica, observacional o experimental, aplicada a su sistema de interés. Pero una reformulación del proceso en términos matemáticos permitiría, en ciertos casos, conocer los elementos del sistema (la caja negra) por los que una dinámica espacio-temporal de entradas (estímulos) produce unas determinadas salidas (respuestas). Esta perspectiva matemática posibilitaría un conocimiento más hondo del fenómeno ambiental y la predicción de nuevas respuestas del mismo.

Es por esto que en el caso de estudio de Padre las Casas el PM₁₀ aparece como el principal contaminante por combustión de leña para calefacción y cocina del sector residencial, sería recomendable realizar estudios específicos para determinar el crecimiento de las emisiones de MP₁₀ provenientes del sector industrial, comercial, y transporte. Es así como se sugiere realizar al menos cuatro estudios específicos y un programa de educación a la población.

- 1.- Determinar factores emisivos de los equipos de calefacción residencial en operaciones reales para los hogares de la comuna de Padre Las Casas.
- 2.- Estudiar la factibilidad técnico-económica de implementar la calefacción distrital.
- 3.- Estudio de las emisiones y capacidad de absorción de MP por tipo de vegetación.
- 4.- Estimar en detalle las emisiones vehiculares y proyección de emisiones en Padre Las Casas, que involucre el flujo vehicular interurbano e interregional.

Respecto a la calefacción distrital, si bien se reconoce que esta medida tiene un potencial de reducción apreciable (reemplazo de varios calefactores por uno de alto estándar tecnológico), se sugiere que esta medida provenga del sector privado, dado que es una

alternativa de negocio que además posee una reducción de emisiones.

En relación a los factores de emisión, existe una falta de conocimiento que se traduce en incertidumbre la cual se incrementa en el caso de equipos viejos de chimeneas, salamandras, estufas, y cocinas. Las mediciones en sistemas de calefacción residencial no es una práctica habitual, y se requiere una gran cantidad de mediciones para obtener datos confiables que aseguren políticas medioambientales que logren reducir el problema. Se espera que con la dictación de la norma nacional de emisión de equipos de combustión residenciales a leña, se avance en la dirección correcta que involucre además los métodos para medir emisiones y el procedimiento de certificación de equipos. En esta dirección podrían generarse a nivel nacional, fondos para incentivar el desarrollo de nuevos equipos más limpios y eficientes. Al respecto existe experiencia en otros países en que se ha logrado un apoyo entre el gobierno y la industria para investigar opciones más eficientes. Para el caso chileno, los proyectos Innova de CORFO están en la dirección correcta. En relación a los planes de arborización y emisiones biogénicas, se sabe que la vegetación en general, y los árboles en particular, generan y remueven materia particulada y gases de la atmósfera. Es ampliamente reconocida la generación de polen y la emisión de compuestos orgánicos volátiles (COVs) a través de su proceso de desarrollo de las plantas, entre los cuales los isoprenos y monoterpenos son los principales. Dado que las ciudades de Temuco y Padre Las Casas no poseen problemas de ozono (siendo los COVs una familia de los gases precursores), se estima que un programa de arborización podría tener más ventajas que problemas en la calidad del aire de las comunas. Para esto se debería realizar un estudio específico tendiente a evaluar distintas especies y su grado de remoción de MP_{10} .

Por otra parte el estudio, no se aventura a realizar una modelación de la influencia del PM_{10} en enfermedades respiratorias y el consiguiente gasto en salud asociado, se espera profundizar este tema, de momento no es posible realizarlo ya que la comuna no presenta datos de las enfermedades relacionadas al contaminante.

Estos datos se encuentran agregados en el hospital de Temuco y no es posible desagregarlos.

Conclusiones

Las principales conclusiones que se desprenden de este estudio son las siguientes:

Se cumplió con el objetivo de estructurar un escenario donde evaluar una de las medidas más importante que se desprenden del PDA, como lo es el estudio de la envolvente térmica y su influencia en la disminución del consumo de leña y por consecuencia la disminución de emisiones.

De las múltiples medidas que podríamos citar para la reducción de la contaminación, es el diseño arquitectónico el que nos proporciona las mejores expectativas de mejorar el estado situación las viviendas no tienen por qué estar únicamente destinadas a proporcionar refugio. Ahora, las estructuras pueden ser diseñadas para responder a los fenómenos naturales, las condiciones subterráneas, la permeabilidad de los materiales y el consumo de energía. Los beneficios son múltiples: aparte de un consumo energético 'casi cero' y una mayor rentabilidad económica, la vida útil de las edificaciones se alarga, ya que la autosuficiencia es análoga a la durabilidad.

Otro elemento interesante de destacar es que la desigualdad social nos sigue demostrando que es un factor clave para los diferentes problemas ambientales, el modelo demuestra que aunque se realicen inversiones en los niveles bajos y medios, la diferencia de ingresos siempre pondrá en mejor situación a las clases más altas. Es por

esto que las políticas sociales deben apuntar a acortar las brechas entre las clases más altas y las bajas.

Vélez, Roberto (2007). *La Ecología en el Diseño Arquitectónico. Datos prácticos sobre diseño bioclimático y ecotecnias*. Trilla, México D.F., México.

Referencias

Lisette Flores, "Aplicación de un modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos para estimar el impacto sobre la calidad del aire de las emisiones de material particulado, en la ciudad de Temuco", Tesis Ingeniería Civil en Geografía, Universidad de Santiago de Chile, 2002.

CONAMA, "Priorización de Medidas de Reducción de Emisiones por Uso Residencial de Leña para la Gestión de la Calidad del Aire en Temuco y Padre Las Casas", Universidad de Concepción, 2002.

Sanhueza P, Vargas C, Mellado P. Impacto de la contaminación del aire por PM10 sobre la mortalidad diaria en Temuco. *Rev Méd Chile* 2006; 134: 754-61.

Jorge Martínez; Sara Varela, "Modelo de valoración ambiental del impacto de la contaminación atmosférica por fuentes móviles en el municipio de Pereira, Universidad Tecnológica de Pereira, 2012

García Juan Martin, teoría y ejercicios prácticos de dinámica de sistemas, Barcelona 2003

Bustamante, W.; S, Lucí y M. Santibáñez (2001). *Clima y Vivienda. Guía de Diseño*. Disponible en web http://www.uc.cl/sw_educ/vivienda/, Santiago, Chile.

Lavigne, Pierre (2003). *Arquitectura climática. Una contribución al desarrollo sustentable. Tomo 1. Bases físicas*. Universidad de Talca, Talca, Chile.

Lavigne, Pierre (2003). *Arquitectura climática. Una contribución al desarrollo sustentable. Tomo 2. Conceptos y dispositivos*. Universidad de Talca, Talca, Chile.

Universidad de Chile et al (2004). *Bienestar Habitacional. Guía de Diseño para un Hábitat Residencial Sustentable*. Instituto de la Vivienda (fau) U. de Chile, Santiago, Chile.

Dinámica de Sistemas

<http://www.dinamica-de-sistemas.com/>



Vensim

<http://www.atc-innova.com/>

Libros

Cursos Online



[Ejercicios](#)



[Curso Básico Intensivo en Dinámica de Sistemas](#)



[Avanzado](#)



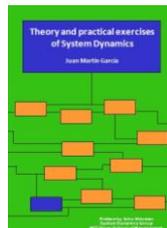
[Curso Superior en creación de modelos de simulación](#)



[Conceptos](#)



[Modelos de simulación en ecología y medioambiente](#)



[English](#)



[Planificación de empresas con modelos de simulación](#)



[Português](#)



[System Thinking aplicado al Project Management](#)