



UNIVERSIDAD Y TECNOLOGÍA
FUNDACIÓN PARA LA TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA

Determinación de un índice de remoción de contaminantes atmosféricos para el territorio nacional

Informe de avance N°1

**Revisión bibliográfica y determinación de metodología
inicial**

30 de Octubre 2014

Preparado por

La Fundación de Transferencia Tecnológica

Para

El Ministerio de Medio Ambiente

Tabla de Contenidos

1	Introducción	3
2	Objetivos del estudio	3
3	Objetivo 1.1: Revisión bibliográfica.....	4
3.1	Índice de ventilación	6
3.2	Índice de estabilidad	8
3.3	Índice de recirculación	10
4	Experiencias Nacionales.....	12
5	Objetivo 1.2: Selección del Índice de Remoción.....	13
6	Pasos a seguir	15

1 Introducción

El presente reporte presenta los resultados pertinentes a los objetivos 1.1 y 1.2 del estudio “Determinación de un índice de remoción de contaminantes atmosféricos para el territorio nacional”. En particular, se presentan los antecedentes sobre las variables más relevantes en la remoción de contaminantes que han sido recopilados hasta el momento (objetivo 1.1). Esta revisión bibliográfica está enfocada en documentar las características de los *índices de remoción* que han sido usados en el pasado, tanto a nivel nacional como internacional. En base de la información ya obtenida, se ha tomado una decisión tentativa con respecto a la metodología que se aplicará en el presente estudio para el índice de ventilación a nivel nacional (objetivo 1.2). Es importante enfatizar que el contenido del presente informe es preliminar y tanto la revisión bibliográfica como la discusión de los resultados pondrían ser extendidas y/o modificadas en las siguientes etapas de proyecto.

La estructura de este informe es la siguiente: en la sección 2 se detallan brevemente los objetivos 1.1 y 1.2. En la sección 3 se presenta la revisión de información bibliográfica que existe en materia de índices de ventilación o el potencial meteorológico de contaminación atmosférica que han sido aplicados en otras partes del mundo. Esa revisión recurre a la literatura científica, informes técnicos y descripciones de servicios de pronóstico disponibles en Internet. En la sección 4 se describe brevemente los antecedentes sobre el uso de índices de potencial de contaminación a nivel nacional, que, por razones obvias, es dominado por los estudios relacionados con el problema de calidad del aire en la ciudad de Santiago. En la sección 5 se presenta una síntesis de la información obtenida en la revisión bibliográfica, lo cual permite la selección del Índice de Ventilación (VI) como mas apropiado para el presente estudio. Finalmente en la sección 6 se detallan los pasos a seguir en las siguientes etapas del proyecto.

2 Objetivos del estudio

Este estudio presenta de manera parcial los avances relativos a los objetivos 1.1 y 1.2. Estos objetivos son los siguientes:

1.1 Determinar las variables más relevante en la remoción de contaminantes, específicamente el efecto de transporte y dilución de contaminantes tanto material particulado como gases en distintas zonas del país. Incorporar en la revisión parámetros geográficas y meteorológicas. Respalda la propuesta con información bibliográfica especializada nacional e internacional de análisis de fenómenos de contaminación atmosférica y la experiencia del consultor.

1.2 Proponer una metodología cuantitativa y objetiva para determinar un índice de ventilación a nivel nacional, considerando las siguientes características:

i. Que incorpore las variables cuantitativas que permiten explicar adecuadamente la remoción de contaminantes atmosféricas y que se hayan identificados en 3.1

ii. Que permita la intercomparación entre diferentes zonas del país para generar zonas de buenas y/o mala capacidad de remoción en términos relativos.

iii. Que el o los índice propuestos en escalas de tiempo de ciclo diario, mensual y anual

Hasta el momento, la revisión bibliográfica se ha concentrado en la revisión de la literatura sobre el desarrollo y uso de índices de remoción (o ventilación) de contaminantes a nivel internacional, que representan los antecedentes menos conocidos por el equipo consultor. En particular, se ha enfatizado la búsqueda de documentos que dan cuenta de esfuerzos similares al presente estudio ya llevados a cabo en otros países, los cuales pueden servir como guía y respaldo de las metodologías que se adoptarán en el presente estudio. Una discusión más general sobre las variables asociados con procesos dispersivos se incluirá en el informe final.

3 Objetivo 1.1: Revisión bibliográfica

En la literatura internacional se ha encontrado varias referencias a índices diseñados para representar y/o categorizar las condiciones atmosféricas que tienen una alta potencial de contaminación atmosférica. Esos índices generalmente se usan como herramienta de gestión de calidad del aire en zonas urbanas o para el control de quema de leña tanto en zonas urbanas como rurales.

A grandes rasgos, los índices que han sido hallados se pueden agrupar en 3 categorías:

1) **Índice de ventilación** basada en la altura de capa de mezcla y el viento

2) **Índice de potencial meteorológico de contaminación atmosférica** basada en la estabilidad y posiblemente el viento

3) **Factor de recirculación** basado en la evolución temporal del viento

La tabla 1 contiene un resumen de las publicaciones que han sido encontrados y que desarrollan o utilizan dichos índices. En las siguientes secciones se describe en mayor detalle los antecedentes pertinentes a cada uno de los tres tipos de índice.

Autor	Año	Título	Revista	Lugar
Índice de Ventilación basada en la altura de capa de mezcla:				
Holzworth	1967	Mixing depths, wind speeds and air pollution potential for selected locations in the United States	Journal of applied meteorology*	EE. UU.
Jackman et al	1977	Some meteorological aspects of air pollution in Utah with emphasis on the Salt Lake Valley	NOAA technical Memorandum	Utah, EE. UU.
Ferguson et al	2003	Assessing Values of Air Quality and Visibility at Risk From Wildland Fires	Research Paper, United States Department of Agriculture	EE. UU.
Wu et al	2013	Observational studies of the meteorological characteristics associated with poor air quality over the Pearl River Delta in China	Atmospheric Chemistry and Physics*	China
Gross	1970	The National Air Pollution Potential Forecast Program	Technical Note, Environmental technical applications center	EE. UU.
Pope	1989	Respiratory Disease Associated with Community Air Pollution and a Steel Mill, Utah Valley	American Journal of Public Health	Utah, EE. UU.
Eugensson et al	2005	Development of a New Meteorological Ventilation Index for Urban Air Quality Studies	Technical Note, Sweedish meteorological Institute	Sueia
Ferguson et al	2003	Regional Pollution Potential in the Northwestern United States	Technical report, U.S. Department of Agriculture, Forest Service	Oregon, EE. UU.
Índice de potencial meteorológico de contaminación atmosférica basada en la estabilidad				
Joukoff	1982	Daily forecasting of Air Pollution Potential	Atmospheric pollution 1982 (Acta del congreso)	Bélgica
Morales	2006	PMCA y material particulado MP10	Contaminación atmosférica Urbana: Episodios críticos de contaminación ambiental en Santiago (libro)	Santiago de Chile
Williams	1963	Air pollution potential over Salt Lake Valley of Utah as related to stability and Wind Speed	Journal of Applied Meteorology*	Utah, EE. UU.
Niemeyer	1960	Forecasting Air Pollution Potential	Monthly Weather Review*	EE. UU.
Mitsumi	1999	Development of an objective forecasting algorithm for Santiago using Model Output Statistics.	Japanese Meteorological Agency	Santiago
Termonia et al	2003	A New Transport Index for Predicting Episodes of Extreme Air Pollution	Journal of Applied Meteorology*	Bélgica
Factor de recirculación RF				
Allwine and Whiteman	1994	Single-station integral measures of atmospheric stagnation, recirculation and ventilation	Atmospheric Environment	Arizona, EE. UU.
Venegas et al	1999	Atmospheric stagnation, recirculation and ventilation potential of several sites in	Atmospheric Research*	Argentina

Venegas et al	1999	Atmospheric stagnation, recirculation and ventilation potential of several sites in Argentina	Atmospheric Research*	Argentina
Wu et al	2013	Observational studies of the meteorological characteristics associated with poor air quality over the Pearl River Delta in China	Atmospheric Chemistry and Physics*	China
Pasch et al	2011	Meteorological characteristics associated with PM2.5 air pollution in Cleveland, Ohio, during the 2009 -	Atmospheric Environment	Ohio, EE. UU.

Tabla 1. Lista de referencias sobre el desarrollo y/o aplicación de índices para representar el potencial meteorológico para contaminación atmosférica. Se separan en las 3 categorías mencionadas anteriormente. Esta lista no es exhaustiva.

3.1 Índice de ventilación

Por lejos el índice más común que se encuentra en la literatura es el llamado Índice de Ventilación (VI), que en inglés es denominado como el *Ventilation Index* o *Venting Index* o *Clearing Index*.

El VI supone que las concentraciones de contaminantes emitidas de una fuente cerca de la superficie dependen de dos factores: 1) el espesor de la llamada “capa de mezcla” en que se distribuyen los contaminantes y 2) la tasa de remoción debido al viento dentro de esta capa. Entonces, el índice de ventilación normalmente se define como el producto del espesor de la capa de mezcla superficial por el viento dentro de la capa. Es decir:

$$VI = h\bar{V}$$

donde h es la altura de la capa y V es el viento medio. Definido así, el índice VI representa efectivamente el un flujo (con unidades de m^2/s) por el que se dispersan los contaminantes emitidos en la superficie durante un determinado periodo de tiempo. Un mayor VI indica dispersión a través de un flujo mayor y, por ende, menores concentraciones de contaminantes y mejor calidad del aire.

Esta formulación del índice fue originalmente propuesta por Holzman (1967) y desde entonces ha sido mencionado y utilizado en numerosas publicaciones e informes técnicos a nivel internacional, tanto para el control de contaminación urbana como para la regulación de combustión en fuegos abiertos. La tabla 1 (parte superior) muestra la lista de publicaciones encontrados. Se puede apreciar que el índice de ventilación ha sido aplicado en diversos lugares en el mundo (Estados Unidos, Europa, Asia) y en trabajos recientes (como Wu 2014) lo que indica que este índice, a pesar de su antigüedad, sigue siendo relevante hoy en día.

La ecuación para VI es relativamente sencilla y su interpretación física es muy intuitiva. Sin embargo, el cálculo o la estimación de los parámetros h y V en cualquier sitio requiere conocimiento de la estructura vertical de la temperatura y el viento. En

la literatura existe mucha discusión sobre los métodos que se deben utilizar para calcular la altura de la capa de mezcla a partir de datos de radiosonda o modelos numéricos. En general h se determina a través del método de levantamiento de parcelas, originalmente descrito en Holzworth 1967. En esta metodología la altura de la capa de mezcla se calcula como la altura donde una parcela de aire, levantado adiabáticamente desde la superficie, obtiene una temperatura menor que la temperatura ambiental en la misma altura. Modificaciones a esta metodología han sido propuestas para tomar en cuenta inversiones nocturnas y otros casos cuando efectivamente no hay capa de mezcla (que suele ocurrir en las cubres de cerros) (Ferguson et al 2003).

Cabe señalar que los modelos numéricos modernos, tanto regionales como globales, generalmente calculan continuamente la altura de la capa de mezcla durante la integración numérica. En el caso de las simulaciones WRF que se usarán en el presente estudio, estimaciones de la altura de la capa de mezcla se disponen en los archivos de salida con un intervalo de una hora. Esta información, en combinación con perfiles de viento simulados por WRF, permite realizar el cálculo del VI de manera relativamente sencilla para cada punto de grilla del modelo.

El valor de VI típicamente varía entre 0 y 10000 m²/s, con cualquier valor por sobre 3000 m²/s indicando buenas condiciones de ventilación. A modo de ejemplo, la tabla 1 muestra la escala categórica del índice de ventilación usada por Ferguson et al (2003). Note que en algunas aplicaciones del VI se aplican factores de escala para obtener resultados en rangos “cómodos” como 0 a 100 m²/s o 0 a 1000 m²/s.

Rango VI (m ² /s)	Categoría	Inglés (original)
0 a 1175	Pobre	Poor
1176 a 2350	Marginal	Marginal
2351 a 3525	Moderado	Fair
> 3525	Buena	Good

Tabla 1. Clasificación del Índice de Ventilación usado por Ferguson et al (2003).

El VI ha sido utilizado para la caracterización espacial del potencial de contaminación atmosférica. En particular, en el estudio de Ferguson *et al*, (2003) utilizaron datos de radiosonda junto con un modelo numérico para estimar el VI con alta resolución espacial para todo EE. UU. continental y generaron mapas de VI para diferentes estaciones y horarios, tal como se pretende hacer en el presente estudio. Ejemplos de los mapas del índice de ventilación logrados en este estudio se muestran en la figura 1.

En la actualidad se encuentran varios servicios operativos que pronostican rutinariamente el VI. Estos incluyen el Utah, Salt Lake Clearing Index¹ y el British

¹ <http://www.airmonitoring.utah.gov/clearingindexarchive/>

Columbia Venting Index² . Ambos servicios se aplican principalmente para el control de combustión a fuego abierto.

3.2 Índice de estabilidad

En la literatura internacional se encuentra referencias a otros índices, similares al VI pero basadas en la estabilidad atmosférica en vez del espesor de la capa de mezcla. La estabilidad del aire (que depende esencialmente del gradiente vertical de la temperatura) cerca de la fuente controla la dispersión del contaminante por dispersión turbulenta en la vertical. Condiciones de mayor estabilidad tienden a asociarse con mayores concentraciones ya que se inhibe la mezcla de contaminantes emitidas cerca de la superficie con las capas del aire superiores. De aquí en adelante se referirá a esta clase de índice con el termino general PMCA (potencial meteorológica de contaminación atmosférica) que es el nombre que ha sido utilizado para el índice de contaminación para Santiago (ver la sección 3), que también es de esta categoría.

La tabla 2 (parte central) muestra las publicaciones encontradas que hacen referencia a, o utilizan, índices tipo PMCA. La definición de PMCA no es tan uniforme como el índice de ventilación, ya que cada estudio tiende definir su índice de manera *ad-hoc*, dependiendo de las características del lugar de estudio y los datos disponibles. Un aspecto común que todos comparten es la utilización del gradiente de temperatura en la formulación del índice.

A modo de ejemplo, las ecuaciones abajo muestran la formulación del índice PMCA usado por Jaukoff 1980 para varias ciudades en Bélgica:

$$s = 10 \frac{H_d}{H} - 9$$

$$PMCA = \frac{25 - T}{\sqrt{v} s}$$

Donde H es el espesor de la capa de aire entre las alturas de 1000 hPa y 700 hPa y H_d es la altura que la misma capa tendría en condiciones de estabilidad neutra. El valor de H_d/H depende únicamente de la estabilidad del aire dentro de esa capa. Además, la ecuación incluye un termino \sqrt{v} junto con la temperatura T (que en este caso es utilizado para representar el efecto del uso de fuentes de calor de hogares) .

² <http://www.bcairquality.ca>

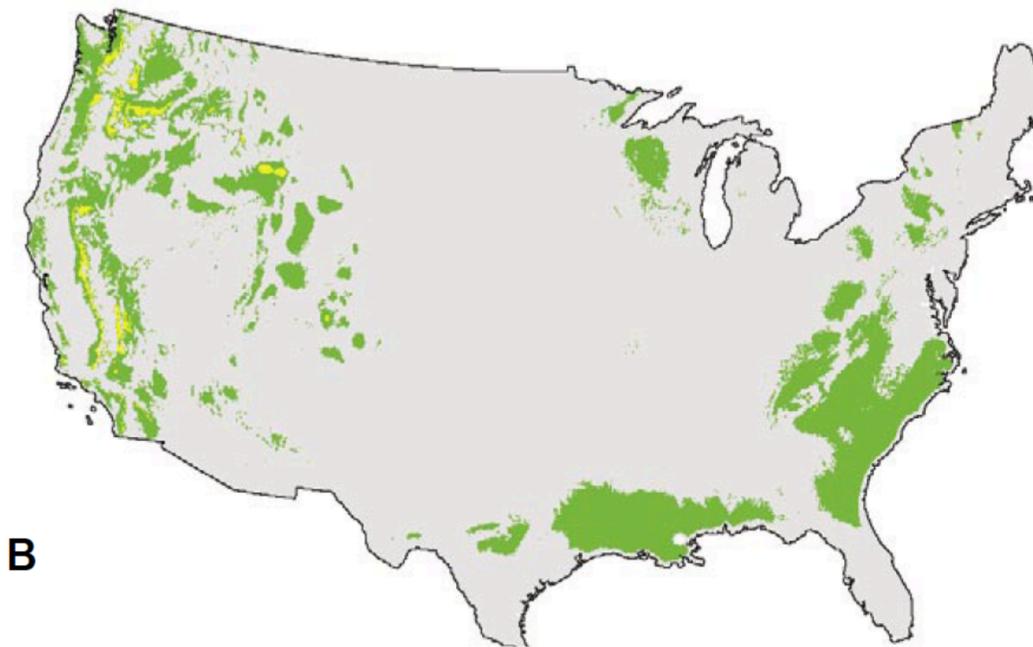
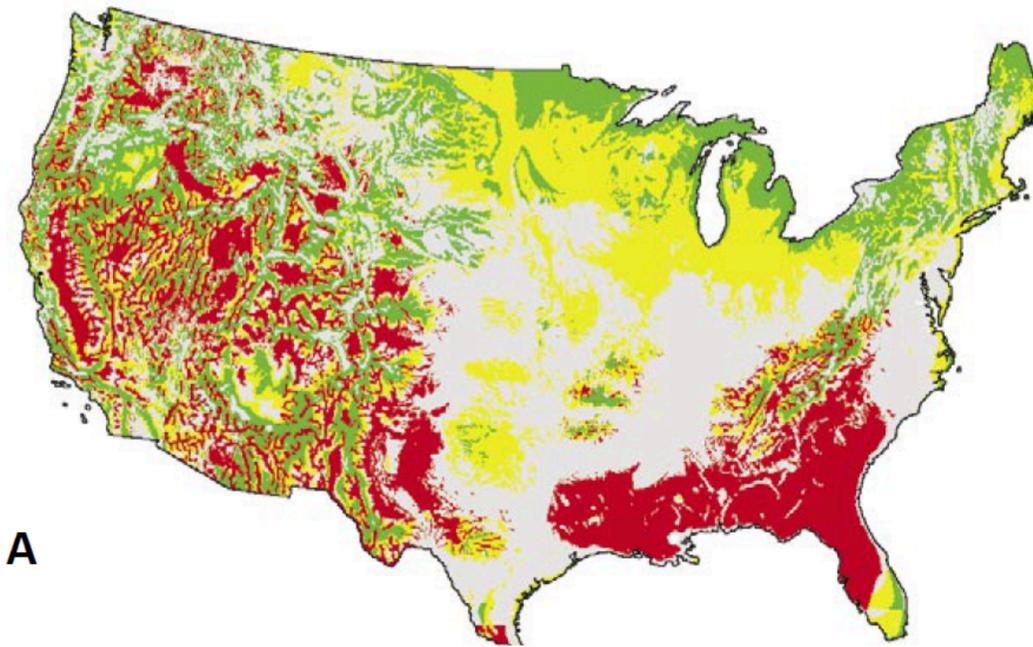


Figura 1. Ejemplo de mapas mensuales del índice de ventilación para la mañana (A) y tarde (B) para octubre calculado por Ferguson et al 2003. Rojo indica mala ventilación, amarillo es marginal, verde es moderado y gris significa buena ventilación. Esta figura es tomada de la figura 18 de Ferguson *et al* 2003.

Como otro ejemplo se presenta a continuación el índice documentado en Termonia *et al* (2003). En ese trabajo, el índice fue denominado como una “escala de longitud” (l) para la dispersión. Según Termonia *et al*, el PMCA se puede definir con la siguiente ecuación:

$$PMCA = \bar{u} \sqrt{\frac{g}{\theta} \frac{\partial \theta}{\partial z}}$$

donde u es la velocidad del viento cerca de superficie, θ es la temperatura potencial y $\partial\theta/\partial z$ es el gradiente vertical de la temperatura potencial. Note que este índice es definido solo para condiciones estables ($\partial\theta/\partial z > 0$).

3.3 Índice de recirculación

Otro índice mencionado a menudo en la literatura es el llamado “factor de recirculación” o *recirculation factor* en inglés (RF). El factor de recirculación trata de cuantificar eventos de recirculación de flujo que generalmente se asocian con una alta potencial de contaminación atmosférica. En este tipo de flujo, parcelas del aire (contaminado) inicialmente se transportan lejos de la fuente pero luego, debido a cambios en la dirección de viento, se devuelvan a su lugar de origen. El factor de recirculación fue introducido en términos formales por Allwine and Whiteman (1994). El calculo del RF requiere como insumo una secuencia temporal de mediciones de velocidad y dirección de viento en un cierto sitio. Dada una serie de viento V_j de intervalo T , es posible definir el factor de recirculación de la siguiente manera:

$$S_i = T \sum_{j=i}^{i+p} |\vec{V}_j| \quad \text{wind run}$$

$$X_i = T \sum_{j=i}^{i+p} u_j \quad \text{distancia oeste - este}$$

$$Y_i = T \sum_{j=i}^{i+p} v_j \quad \text{distancia norte - sur}$$

$$L_i = \sqrt{X_i^2 + Y_i^2} \quad \text{distancia de transporte resultante}$$

$$R_i = 1 - \frac{L_i}{S_i} \quad \text{Factor de recirculación}$$

Donde V_j es la velocidad de viento en la hora j , u es el componente este-oeste de la velocidad y v es el componente norte-sur de la velocidad. Como se puede apreciar, el factor de recirculación (R_i) se define como el ratio de la distancia de transporte de un

contaminante a la distancia de transporte escalar y su valor varia entre 0 y 1. Un valor $RF = 0$ indica transporte en una línea recta, mientras un valor de $RF = 1$ indica que no hay transporte neta. El $RF = 0$ puede ocurrir debido a una recirculación perfecta (aire que efectivamente se devuelve al lugar de origen durante el periodo considerado) o que simplemente la velocidad del viento se mantiene calma (condición de estancamiento, $V = 0$). La figura 2 proporciona un diagrama que ayuda la interpretación las ecuaciones que definen el RF.

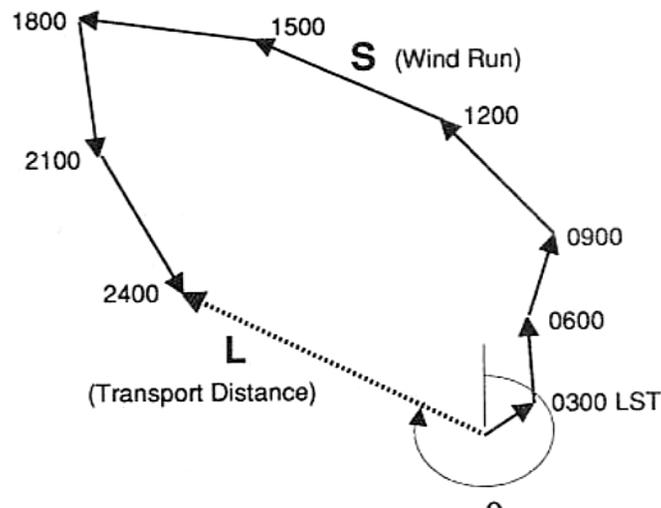


Figura 2. Ilustración de la definición del “wind run” S, “transport distance” L para un caso de $T = 24$ horas con observaciones en intervalos de 3 horas (Figura tomada de Allwine and Whiteman (1994)).

La tabla 2 (parte inferior) contiene una lista de algunos estudios que han ocupado el índice de recirculación. El índice de recirculación ha sido utilizado en estudios en diversos países como Estados Unidos, China y Argentina.

Si bien el RF entrega información interesante sobre la circulación atmosférica relevante para episodios de contaminación, tiene algunas limitaciones importantes en el contexto de los objetivos del actual estudio:

- Toma en cuenta solo la velocidad horizontal del viento en un determinado lugar. No toma en cuenta la dispersión vertical que es un mecanismo de dispersión muy importante en muchos flujos reales.
- No se puede calcular para un instante. Se tiene que usar una secuencia de mediciones (Normalmente se usa un día de observaciones) por lo tanto no es posible generar estimaciones de este índice a nivel horario.

- El índice es diseñado para caracterizar solo la recirculación del flujo. Sin embargo, existen otras situaciones (inversiones térmicas) que son adversas en el contexto de calidad del aire que no se representan con el RF.

4 Experiencias Nacionales

Prácticamente todos las aplicaciones de índices de remoción de contaminación en Chile tienen que ver con el problema general de calidad del aire en Santiago.

El Potencial Meteorológico de Contaminación Atmosférica (PMCA) es un índice meteorológico propuesto con fines de uso en el pronóstico de la contaminación atmosférica invernal en Santiago. Relaciona las situaciones sinópticas típicas que se presentan en el valle central del país con las condiciones de dispersión en la cuenca de la Región Metropolitana. Para efectos operacionales, sobre la base de las condiciones observadas y analizadas en 1996, se efectuó una tipificación de condiciones sinópticas asociadas a distintos valores del PMCA. Se definieron cinco categorías del PMCA que se resumen en la tabla 3. Cabe señalar que el PMCA es una variable subjetiva y discreta.

Existen algunas variaciones del PMCA que incluyen medidas objetivas de estabilidad como el índice de Mitsumi (Misumi, 1998) y el índice de Showalter (Morales et al, 2006) Ambas representan la estabilidad atmosférica. El índice de Mitsumi calcula la estabilidad a partir del gradiente en temperatura observada entre una estación de monitoreo en la ciudad y otra estación en un punto elevado en la Cordillera de la costa (Lo Prado) mientras el índice de Showalter se basa en la temperatura superficial y la temperatura en 500hPa obtenido de radiosonda o modelos numéricos.

En el contexto del presente estudio, el PMCA para Santiago resulta poco relevante ya que es, en gran parte, subjetiva y depende fuertemente por la condición sinóptica de gran escala. Además, ha sido desarrollado específicamente para la ciudad de Santiago y no es transferible a otros lugares³. Entonces ese índice no puede cumplir con las exigencias del estudio del requieren que el índice permite distinguir entre diferentes zonas del país y ser evaluable para cada hora del día.

Categoría del, PMCA (Nº de denominación)	Condiciones de ventilación/dispersión de contaminantes	Características
1 Bajo	Muy buenas	<ul style="list-style-type: none"> • Ausencia de inversión térmica de subsidencia. • Sistemas frontales activos • Marcada inestabilidad
2 Regular/bajo	Buenas	<ul style="list-style-type: none"> • Inversión térmica de subsidencia débil y/o

³ Una versión de PMCA ha sido aplicado a la ciudad de Coyhaique pero su adaptación a esta zona involucraba estudios adicionales y cambios en la definición del índice

		elevada. <ul style="list-style-type: none"> • Sistemas frontales de regular actividad o inestabilidad ligera • Advecciones generalizadas de aire húmedo y nubosidad baja. • Bajas segregadas o núcleos fríos.
3 Regular	Regulares	<ul style="list-style-type: none"> • Predominio anticiclónico normal del período invernal • Ausencia de precipitaciones • Advecciones débiles de nubosidad baja al sector poniente de la cuenca
4 Regular/Alto	Malas a críticas	<ul style="list-style-type: none"> • Presencia de configuraciones tipo A o BPF. • Índice de circulación zonal medio o alto.
5 Alto	Críticas	<ul style="list-style-type: none"> • Presencia de configuraciones tipo A o BPF. • Bajo índice de circulación zonal.

Tabla 3: Definición del PMCA para MP10 Una versión más detallada se puede encontrar en Morales et al 2006, donde también se puede encontrar una versión de PMCA que ha sido desarrollado para Ozono.

5 Objetivo 1.2: Selección del Índice de Remoción

La revisión bibliográfica realizada en la sección anterior permite apreciar que existe una cantidad importante de antecedentes y experiencias relativos al uso índices de remoción a nivel internacional. De hecho, índices de ventilación han sido utilizados en Estado Unidos y otros partes del mundo desde los años 60 y hoy en día es posible encontrar estudios científicos, servicios de pronóstico, y mapas oficiales basados en ellos. Entonces, se considera que el punto de partida para el presente estudio debe ser la aplicación de un índice de remoción existente y comprobado.

La tabla 4 presenta una comparación de las características de clases de índice que fueron documentos en la sección anterior. La tabla considera varios aspectos que se consideran relevantes para los objetivos del presente estudio.

A partir de los datos de la tabla es posible apreciar de inmediato que el Índice de Ventilación (VI) se destaca como el más adecuado para el presente estudio. El VI es simple e intuitivo y toma en cuenta las variables conocidos como las más relevantes para la dispersión atmosférica. Este índice es fácilmente calculable con las salidas del modelo WRF ya que la altura de la capa de mezcla es una de las variables guardadas en los archivos de salida del modelo. Además, es el índice que se encuentra con mayor frecuencia tanto en estudios científicos como en proyectos aplicados. Fue seleccionado y utilizado exitosamente por Ferguson *et al.* (2003) para generar mapas de ventilación para todo el Estados Unidos continental para y el informe que entregaron al Departamento de Agricultura de EE.UU. y podría servir como un referencia fundamental para el presente estudio en Chile.

Los índices de potencial de contaminación atmosférica basados en la estabilidad del aire también representan una opción razonable y fácil de implementar con los datos del modelo WRF. Además, índices tipo PMCA tiene una larga historia de uso a nivel nacional en la ciudad de Santiago (y mas recientemente en Coyhaique). Sin embargo, estos índices no tienen una definición uniforme y cada estudio tiende definir ecuaciones de una manera *ad-hoc* dependiendo de la disponibilidad de datos y la asociación empírica entre la estabilidad y contaminación en la zona del estudio. La interpretación del índice tampoco es muy intuitivo y no se ha encontrado estudios que intentan hacer mapas de PCMA.

Por otra parte, el factor de re-circulación parece el más débil de las tres opciones ya que no provee un representación completa de los procesos de dispersión relevante y tampoco dispone información a nivel intra-diaria. Eventualmente, este índice podría ser considerado como un producto adicional complementario al índice principal, pero por si solo es insuficiente para los fines del estudio.

	Índice de Ventilación (VI)	Índice de potencial de contaminación basada en estabilidad (PMCA)	Factor de recircularon (RF)
Incorpore todas las variables relevantes	Si	Si	No
Permite la generación de mapas según estación del año y hora del día	Si	Si	No <i>(No es posible generar información a nivel sub-diario con esta índice)</i>
Simplicidad del método	Simple	No simple, no intuitivo, ad-hoc	No simple
Calculable en base de la información que dispone el Modelo WRF	Si	Si	Si
Usado en estudios anteriores para construir mapas de ventilación	Si <i>(Ferguson et al 2003)</i>	No encontrado	No encontrado
Publicada en revistas científicas reconocidas	Si	Si	Si

Tabla 4. Intercomparación de los índices de remoción de contaminantes evaluados en este estudio.

6 Pasos a seguir

Los pasos a seguir consisten en realizar una estimación preliminar del índice de ventilación para todo el país. En la práctica, esta tarea consiste en la extracción de datos del viento y altura de la capa de mezcla de las bases de datos del modelo WRF. Dada la cantidad de datos involucrados, este procesamiento podría demorar entre 1 -2 semanas. Este producto consistiría en mapas (formato GeoTiff) que se compartirán con la contraparte técnica del Ministerio de medio Ambiente.

Una vez desarrollado este producto preliminar, se procederá a realizar una evaluación de la misma, que consistirá en la comparación de índice con observaciones metrológicas y de calidad del aire y con los resultados de modelos de dispersión en puntos seleccionados). En base de los resultados de la evaluación, se determinara las acciones a tomar para lograr el producto definitivo, considerando posible ajustes de la metodología para tomar en cuenta aspectos meteorológicos adicionales (como por ejemplo la influencia de la precipitación) y las características especiales de fuentes en altura (como por ejemplo chimeneas de altura mayor a 50 m).