



Universidad de Chile
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Escuela de Ingeniería

Contaminación a Leña

Curso : IQ588
Alumnos : Fernando Gomez
Profesor :Cristihan Santana

INDICE

Introducción	1
Descripción Poder de Combustión	2
Composición Combustible	2.1
Etapas Típicas de Combustión	2.2
Etapas de Combustión al Interior de la Estufa	2.3
Evolución de la eficiencia y Emisiones	2.4
Factores de Emisiones y Cocinas	2.5
Conclusiones referente al proceso de combustión	2.6
Orígenes de Emisiones de Estufa	3
Emisiones	3.1
Efecto de la característica del combustible	3.2
Emisiones de Material Particulado	3.3
Reducción de Emisiones	3.4
Conclusión	4

1 Introducción

Un estudio preliminar realizado en la ciudad de Temuco, Novena Región, durante 11 días en 1996, evidenció que la atmósfera de esa ciudad podría ser más contaminante que la de la capital, al menos en el período del monitoreo. Los resultados de las mediciones arrojaron alta concentración de partículas respirables (PM10), mientras, en el exterior se constataron niveles que superaron el Índice de Calidad del Aire 500, que en Santiago implicaría decretar estado de emergencia. En la investigación se midieron monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), fracción respirable de material particulado (PM10) e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs). Esta situación sugiere la conveniencia de establecer una red urbana de monitoreo y estudiar la implementación de medidas de pre-emergencia y emergencia para bajar los niveles de contaminantes en períodos de alta contaminación, además de evaluar la posibilidad de regular el uso de la leña como combustible en la ciudad. Por lo cual el problema principal es la contaminación a leña

En el siguiente trabajos nos centraremos en el estudio de la Contaminación a leña que ocurre en forma más importante. En Temuco y Padre Las Casas, este trabajo estará en función de tres aspectos principales, el primero el poder de combustión a leña, en este ítem se analizará la composición química de la madera y el grado de humedad de esta, ya que dependiendo del grado de humedad de esta, se tendrá una combustión completa o incompleta, y si es incompleta se producirán residuos contaminantes. Otro aspecto relevante es el Origen de las emisiones, es decir el tipo de cocina a leña y los diferentes mecanismos para tener una combustión casi completa y así reducir los contaminantes, y se muestra como tendría que ser la cocina ideal. y por último la Emisión de material particulado, es decir el contaminante específico que se genera en un proceso de combustión incompleta a leña y se muestra un modelo para reducir emisiones. Como parte complementaria se analizará el impacto Ambiental que afecta a la población

2 Descripción Poder de Combustión

2.1 Composición del combustible

Vamos a dar una pincelada de la composición química como las propiedades físicas de la madera. Ya que determinan las características de este combustible sólido. El combustible madera puede ser analizado según su estructura química, en la figura 1 podemos observar sus componentes principales.

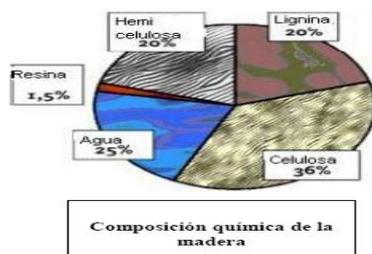


figura 1

La composición química, el patrón que nos importa es la humedad o el agua en el interior de la madera, en la que se almacena en las cavidades de las células muertas, el agua en la madera fresca representa aproximadamente la mitad de su peso (50% en base húmeda). En la zona de Temuco se detecta una alta humedad de equilibrio de 20 a 30 % base húmeda. Los compuestos orgánicos de la madera son principalmente celulosa, hemicelulosa y lignina. Una pequeña fracción corresponde a resinas. En el proceso de combustión la lignina se transforma principalmente en carbono fijo. Los otros compuestos se liberan como elementos volátiles, por lo cual el quemado de esta fracción se realiza con reacciones similares a las de un combustible gaseoso.

La composición química elemental nos indica que la madera seca libre de agua es un combustible rico con 43 % de carbono (C) y con 7 % de hidrógeno (H). El resto corresponde con 49 % a oxígeno (O₂). Esta composición elemental no sufre mayores variaciones en las diferentes especies de madera, como por ejemplo roble, eucalipto, aramo, etc. Las propiedades de combustión de las diferentes especies diferencian principalmente por diferentes densidades, porosidades y contenidos de humedad (ver figura 2).

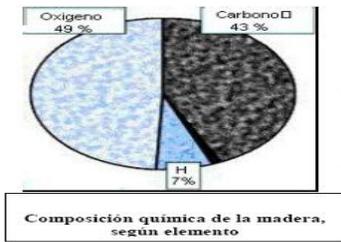


figura 2

La madera libre de agua posee un poder calorífico inferior de hasta 4.400 kcal/kg₃. Este valor se reduce aproximadamente a 3.500 kcal/kg en la madera secada al aire con 20 % de humedad residual. Con mayor grado de humedad, se reduce aún más el poder calorífico.

2.2 Etapas típicas de la combustión

La leña no es un combustible homogéneo como petróleo o gas natural. En comparación a combustibles líquidos y gaseosos, en el proceso de combustión de la madera se identifican varias fases de reacción: ver figura 3



figura 3

Secado de la madera:

Inicialmente la superficie exterior de leña recibe calor por radiación de las llamas, calentando el agua contenida en la madera por sobre su punto de evaporación. En este momento se inicia el proceso de secado, liberando la humedad en forma de vapor de agua. Este proceso de secado consume una fracción importante de la energía liberada en el proceso de combustión. Mientras mayor sea el contenido de agua inicial, una mayor cantidad de energía se consumirá en este proceso de secado y más lento se torna la primera etapa de calentamiento de la leña. Ver figura 4

Secado de la madera:



figura 4

Gasificación y oxidación de la materia volátil:

Al calentarse la madera seca por encima del punto de ebullición del agua, se inicia la

segunda fase de pirólisis con la liberación de la materia volátil. En esta etapa, la leña comienza a humear. El humo es el resultado visible de la descomposición térmica de la madera y se compone principalmente de una nube de gotitas combustibles de gases e hidrocarburos (alquitrán). Éstos se oxidan sólo bajo altas temperaturas y si además existe presencia de suficiente oxígeno. Este proceso de combustión con liberación de calor produce llamas largas y brillantes, que son características de la combustión de la leña seca.⁵ Si la materia volátil no se quema por completo al interior del fogón, se emitirán gases no quemados, que condensarán sobre las paredes frías de los ductos de evacuación, formando los depósitos de creosota. También estos compuestos no quemados serán emitidos posteriormente como humo de color visible con una fuerte contaminación atmosférica en el área. El humo también representa una pérdida de eficiencia, porque contiene una gran parte de la energía presente en la madera. Ver figura 5

Gasificación y oxidación de la materia volátil:



figura 5

Quemado del carbón residual:

Al liberarse completamente la materia volátil de la madera, permanece como producto residual el carbón sólido junto a la ceniza no combustible. Este compuesto sólido equivale al carbón de madera y se caracteriza por su combustión superficial con un resplandor rojo y llama muy pequeña generando una alta temperatura entre 600 y 1.000 °C. El carbón es un combustible limpio que se quema fácilmente con presencia de suficiente oxígeno sin generar humos.

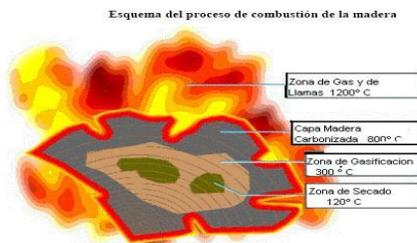
En la práctica, las tres fases de combustión de madera anteriormente descritas ocurren simultáneamente. Esto significa que los gases de la materia volátil pueden estar quemándose con largas llamas mientras que sobre la superficie del combustible el carbón se quema con el característico resplandor rojo y el agua en el centro de la leña se evapora lentamente. Ver figura 6

Quemado del carbón residual:



figura 6

Esquema del proceso de combustión de la madera



Para lograr una combustión completa de los productos de la descomposición térmica de

la madera se requieren las siguientes condiciones que se resumen

Temperatura: La temperatura mínima que se requiere mantener al interior de un hogar para garantizar la combustión completa de los productos gaseosos debe ser lo más alta posible. En la literatura se indican valores promedios en la zona de combustión de mínimo 800 °C a máximo 1.000 °C.

Tiempo: Para lograr una combustión completa se debe garantizar un tiempo mínimo de residencia de los gases al interior del hogar. Por ejemplo, si se presentan temperaturas mayores a 900 °C, el tiempo de residencia mínimo debe superar los 0,5 segundos.

Turbulencia: La última condición necesaria para asegurar una combustión óptima se relaciona con una intensa turbulencia requerida para mezclar el oxígeno con la materia volátil en combustión. Para intensificar este proceso de mezcla se acostumbra inyectar aire secundario precalentado directamente en la zona de combustión por encima de la cama de combustible.

Solamente si se cumple con estas tres reglas básicas de temperatura mínima, tiempo de residencia mínimo y alta turbulencia se puede generar las condiciones para realizar una combustión óptima de la leña con la mínima emisión de contaminantes

El desafío de un diseño óptimo de una estufa o una cocina es conjugar estas tres condiciones básicas permitiendo garantizar siempre una combustión completa, minimizando las emisiones de contaminantes. En especial se deberá considerar las características de humedad, densidad, tamaño y especie de madera para dimensionar correctamente el volumen y forma de la cámara de combustión. Sólo de esta forma se podrán lograr altas eficiencias y gases de combustión limpios sin la presencia de humos visibles.

2.3 Etapas de la combustión al interior de estufas

Al realizarse el quemado de la leña al interior del fogón de una estufa o cocina, se deberá tener el cuidado de crear las condiciones que garanticen el completo desarrollo de las diferentes etapas de combustión anteriormente descritas. Por ejemplo, en las dos figuras siguientes se representan en forma esquemática el desarrollo ideal de esta compleja cadena de reacciones físicas y químicas que se desarrollan simultáneamente durante las etapas de secado, quemado y enfriamiento de los gases.

En la etapa N°1 del esquema se inicia el secado conjuntamente con la fase de gasificación en presencia de aire primario. Posteriormente en la etapa N° 2, se continúa el quemado de la materia volátil, agregando aire secundario para iniciar la combustión de todos los productos gaseosos. Luego los gases deben trasladarse a una segunda cámara de postcombustión para finalizar completamente el proceso de combustión en presencia de una alta turbulencia con suficiente oxígeno. Estas tres etapas deben desarrollarse a alta temperatura y con un tiempo de residencia apropiado. ver figura 7



figura 7
Desarrollo típico del proceso de quemado de la madera

Una vez finalizado el proceso de combustión comienza el aprovechamiento del calor presente en los gases mediante un intercambio con el aire exterior a calentar (Etapa N°4). El calor se transmite hacia el exterior por conducción y convección a través de las paredes del calefactor. Los gases se enfrían en la última etapa, cediendo el calor al ambiente. Finalmente estos gases con una menor temperatura son evacuados desde el equipo calefactor a través de los ductos o chimenea, según lo representado en la etapa N°5 de la figura anterior. Las cinco etapas descritas anteriormente se pueden apreciar en la figura 5., que representa a una estufa ideal.

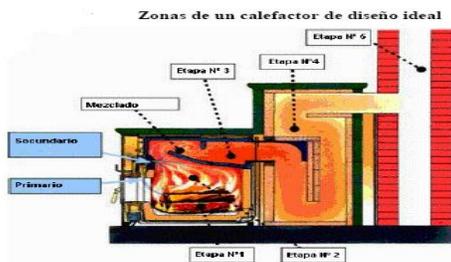


figura 8

2.4 Evolución de la eficiencia y emisiones

Las nuevas normativas ambientales internacionales han obligado a los fabricantes de estufas a mejorar permanentemente sus diseños de modo de lograr altas eficiencias y muy bajas emisiones de contaminantes. El desarrollo de mejores equipos ha permitido llegar a lograr resultados que en la actualidad son comparables con el desarrollo tecnológico de estufas para otros combustibles como petróleo y gas.

Como ejemplo de este importante avance tecnológico, se puede apreciar en los ensayos de certificación de calefactores para leña realizados en Austria.

Comparación estándares internacionales

En la literatura internacional se citan valores en cuanto a volumen específico de la cámara de combustión expresados en litros/kW que deberían poseer los equipos de calefacción a leña. Se mencionan valores mínimos de 6,0 lt/kW para la cámara principal de combustión y de 1,3 lt/kW para cámara secundaria de combustión.

La tabla siguiente muestra las características más importantes en el diseño de algunos

modelos de calefactores a leña que cuentan con cámara de combustión secundaria. Se puede apreciar que el volumen específico de estos modelos varía entre 5 y 8 lt/kW, volumen que se asemeja bastante al valor mínimo recomendado de los 6 lt/kW.

Sin embargo, las cámaras de combustión secundarias de los modelos nacionales son muy pequeñas con valores entre 0,5 y 0,8 lt/kW. Estas cámaras de post-combustión deberían poseer un volumen mínimo de 1,3 lt/kW, por lo tanto no se pueden lograr las condiciones

2.5 Factores de emisión de estufas y cocinas

Un método universalmente reconocido para la estimación de la emisión de los diferentes compuestos gaseosos y material particulado es el método del factor de emisión (FE) basado Esta metodología fue aplicada en el estudio CENMA en Temuco y Padre las Casas para evaluar la emisión proveniente de estufas y cocinas. El documento complementario indica las concentraciones típicas de los contaminantes PM10, NOx, CO, VOC y SOx para chimeneas y diferentes tipos de estufas. Existen varias clasificaciones de estufas, como por ejemplo equipos convencionales, catalíticos y para pellets.

De igual forma tampoco es válido aplicar estos factores típicos de emisión a cocinas a leña que poseen cámaras de combustión significativamente menores a los de las estufas. Los factores reales de emisión para estufas convencionales y cocinas en Temuco deberían ser por lo tanto significativamente mayores

2.6 Conclusiones referentes al proceso de combustión

Una de las formas de mitigar en gran medida las emisiones contaminantes provenientes de estufas es mejorando la tecnología de los equipos de combustión a leña. Aquí radica la importancia de que los fabricantes apliquen mejoras tecnológicas en sus equipos, como por ejemplo incorporar cámaras de post-combustión de mayor volumen con inyección de aire secundario precalentado. Además los diseños deben contemplar la incorporación de una mayor masa refractaria para generar zonas de alta temperatura de combustión. Para garantizar una alta transferencia de calor hacia el ambiente, los modelos deberían aumentar por lo tanto de tamaño. Solamente dos fabricantes a nivel nacional poseen modelos que cumplen con estos requerimientos, pero los precios de estos calefactores son significativamente más altos a los equipos que no cuentan con refractarios en la cámara de combustión .

Para garantizar una combustión completa con mínima emisión no basta con usar equipos calefactores de última tecnología. Estos equipos además requieren de un combustible con un alto poder calorífico para así garantizar las altas temperaturas que se requieren al interior de la cámara de combustión . Un alto contenido energético del combustible solamente se logra utilizando un combustible con un bajo contenido de humedad. Al utilizar leña se debe procurar que ésta posea una humedad menor al punto de saturación de la fibra, lo que equivale a un contenido de agua de aproximadamente 20 % a 30 % en base seca o 17 % a 23 % en base húmeda. El tipo de especie no influye mayormente en el poder calorífico, sólo afecta la densidad y por lo tanto la velocidad de quemado.

3 ORIGEN DE EMISIONES EN ESTUFAS

3.1 Emisiones

Como emisiones de estufas a leña se entiende la descarga a la atmósfera de compuestos intermedios de la cadena de reacciones incompletas de combustión. Como productos incompletos se consideran los siguientes compuestos:

Monóxido de carbono (CO) gaseoso proveniente de una combustión incompleta del elemento carbono. El monóxido de carbono puede utilizarse como un buen indicador de la calidad de la combustión. Bajo condiciones ideales todo el carbono se debería transformar en CO₂ sin presencia de monóxido de carbono CO. El monóxido se genera sólo si la temperatura de la

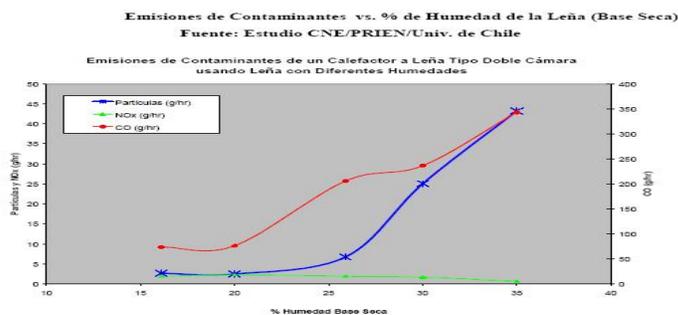
llama es inferior a 700 °C, bajo tiempo de residencia y/o falta de la turbulencia

Hidrocarburos (C_nH_m) compuestos de una serie de compuestos orgánicos volátiles formado por cadenas del elemento carbono (C) e Hidrógeno (H) saturadas, no saturadas y aromáticas (HAP's o PAH). La velocidad de reacción de estos compuestos intermedios de la cadena de reacción es significativamente mayor a la del CO, por cual si los índices de emisión de CO son bajos, también lo serán los de C_nH_m. En la literatura se indica que los PAH tienen características muy dañinas para la salud de la población (reacciones alérgicas, mutagénicas y cancerígenas).

Material particulado (MP) compuesto de la emisión de partículas provenientes de la combustión incompleta y de partículas de ceniza arrastradas por los gases de combustión. Como productos de la combustión incompleta se indican principalmente alquitranes, hollín e hidrocarburos en estado líquido. Estos productos provienen de una combustión incompleta de la materia volátil y pueden ser abatidos de igual forma que los elementos anteriores. La combustión incompleta con la generación de los compuestos anteriormente indicados puede tener como causas un combustible con características no adecuadas o bien una tecnología de combustión

3.2 Efecto de la característica del combustible

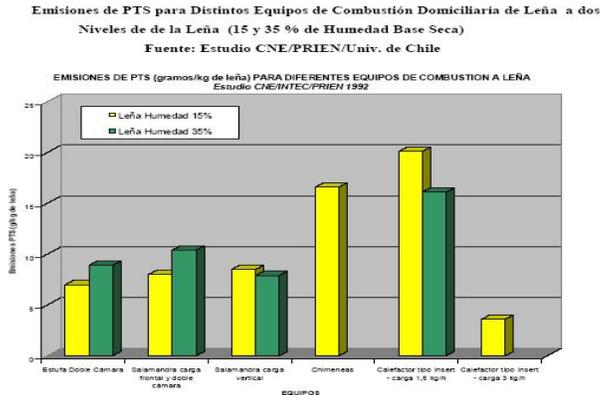
La principal incidencia del combustible sobre las emisiones se relacionan con la humedad de éste, tanto así que todas las normativas ambientales internacionales dan referencia a contenidos máximos de humedad del combustible. Por ejemplo en los estados de Washington y California se autoriza la comercialización y uso de leña con contenidos máximos de humedad del 20 % base húmeda o 25 % base seca. En Alemania la normativa no indica valores límites, pero sin embargo indica tiempo mínimo de almacenamiento de 1 a 2,5 años dependiendo de la especie. Resulta difícil encontrar información a nivel internacional que relacione altos niveles de humedad en el combustible, como los encontrados en el presente estudio, con las emisiones que ellos producen. Generalmente los reportes son a niveles de humedad más bajos.



Se debe tener en cuenta que el rango de humedad considerado es bajo, entre un 16% y un 35% en base seca (14% - 26% base húmeda). Si se comparan estos valores, con los resultados de los ensayos de humedad registrados en el presente informe, que indican contenidos de humedad de hasta 140% base seca (58% base húmeda) para la leña en Temuco, se puede deducir las emisiones de contaminantes serían aún mucho más elevadas. Sin embargo, es importante mencionar, que aunque para calefactores de doble cámara las emisiones de la combustión de leña con una humedad de 25 % base seca aumentan

moderadamente con respecto a la combustión de leña con una humedad de 20 % base seca, pero para dichos equipos después de este valor es cuando las emisiones aumentan de forma más acentuada respecto a la humedad.

Lo afirmado en los párrafos precedentes es válido exclusivamente para calefactores de doble cámara, leña de eucalipto y en el rango de humedades que se estudió. Al revisar dicho estudio para otros artefactos (Salamandras de carga vertical y calefactores tipo insert), la relación entre emisiones y humedad de la leña es distinta e incluso puede



3.3 Emisiones de Material Particulado

En el documento a que se hace referencia se señala “Las emisiones fueron medidas para un rango normal de prácticas de operación de los equipos en los hogares. Por ejemplo, promedios semanales de velocidades de quemado que estaban en el rango 0,6 – 2,0 kg de leña seca por hora y una humedad promedio de la leña en el rango de 9,8% a 112,1% en base seca (8,9% - 52,9 % base húmeda). Por otro lado, los factores de emisión obtenidos estuvieron en el rango de 1,9 – 20,8 g/kg de leña seca y las tasas de emisión en el rango 1,7 – 40,3 g/h. No hubo una relación estadística clara entre los factores de emisión y los velocidades de quemado y/o la humedad de la leña”.

A continuación se presentan algunos resultados de importancia a la hora de evaluar el efecto de la humedad de la leña en los factores de emisión de material particulado. Cabe mencionar que este

A mayor humedad de la leña, disminuye su eficiencia térmica, por mayor gasto de energía en evaporar el agua.

Una mayor humedad produce una combustión más incompleta, con la consiguiente mayor emisión de contaminantes.

Mientras para ciertos artefactos, tipos de leña y rangos de humedad se tiene información razonable de emisiones en función del porcentaje de humedad de la leña, en otros casos la información disponible e incluso en parte contradictoria entre si (Estudio CNE para artefactos distintos de estufas de doble cámara) y estudio de artefactos usados

Para cocinas, las cuales según resultados del presente estudio representan el 45 % de los artefactos usados en Temuco y Padre Las Casas no hay ninguna información de su emisión en función de la humedad.

Tampoco hay información de emisión en función de la humedad para los tipos de leña usados preferentemente en Temuco (roble).

Un parámetro que puede tener una influencia importante en las emisiones de equipos de calefacción a leña son las prácticas de operación de los equipos, sin embargo, deberían realizarse más estudios de modo de determinar su efectividad real en los equipos que están en funcionamiento actualmente en nuestro país y especialmente en la Novena Región.

Ello es crítico para poder evaluar el potencial de reducción de emisiones de material particulado vía reducción del porcentaje de humedad de la leña.

3.4 ESTIMACIÓN DE META DE REDUCCIÓN DE EMISIONES DE TEMUCO Y PADRE LAS CASAS

Dada las condiciones actuales de calidad de aire en Temuco y Padre Las Casas, ¿cuál es la reducción de emisiones requerida para cumplir con el estándar de calidad de aire? Esta respuesta depende de varios factores:

Porcentaje de reducción requerido de las emisiones totales de MP10

Porcentaje que, del total de las emisiones durante los días con episodios críticos, se deben a combustión a leña;

Porcentaje esperado de cambio en las emisiones de MP10 asociadas a fuentes distintas a la combustión de leña.

A partir de la información disponible, se estimó la reducción requerida de emisiones de material particulado de acuerdo a dos metodologías, la primera proporcionada por CONAMA Araucanía y; la segunda, una metodología utilizada en Tasmania, Australia. Sin embargo, debe aclararse que las dos metodologías en esencia no son diferentes, sin que sólo son diferentes la concentración base considerada en cada uno.

Para realizar la estimación de la reducción de emisiones, se consideró la siguiente información base: la Norma Primaria de Calidad de Aire de Material Particulado MP10, de 150 g/m³ como promedio de 24 horas

Las mediciones de MP10 de la Estación de Las Encinas de Temuco, que presentaron excedencia durante el período 2001

3.5 Estimación Meta de Reducción de Emisiones – Método Roll-Back

Metodología

Primera aproximación de la reducción de emisiones necesaria de implementar en las comunas de Temuco y Padre Las Casas para alcanzar el cumplimiento de la norma de material particulado respirable (MP10) promedio de 24 horas vigente en Chile. El método usado es una estimación del tipo roll-back, que asume un comportamiento lineal entre el nivel de emisiones y las concentraciones de un contaminante atmosférico, bajo la siguiente relación:

$$C_p = ((C_b - B_g) * E_p / E_b) + B_g \text{ (a)}$$

Donde:

C_p = Concentración con proyecto, o el nivel de calidad de aire que se desea alcanzar.

C_b = Concentración base o de la situación sin proyecto, en nuestro caso, la situación actual.

E_p = Emisión con proyecto, o nivel de emisiones para alcanzar la concentración C_p.

E_b = Emisión de la situación sin proyecto, o nivel de emisiones actuales.

B_g = Background o concentración de fondo, aquella ajena al control de la zona saturada.

Para el caso donde se busca estimar la reducción de emisiones (Re) desde un escenario base de calidad de aire (C_b) necesaria para alcanzar un determinado nivel de calidad de aire (C_p), la relación puede expresarse en forma independiente del nivel de las emisiones, mediante:

$$R_e = E_p / E_b = (C_p - B_g) / (C_b - B_g);$$

Este método de estimación es muy simple, pero permite contar con una aproximación gruesa de las metas de reducción de emisiones, ante la ausencia de información que posibilite la aplicación de métodos más complejos. Su principal incerteza radica en asumir un comportamiento del tipo lineal entre las emisiones y la calidad del aire, relativamente cierto para contaminantes primarios, y, en algunos casos, muy impreciso para el material particulado, el cual es un contaminante que tiene tanto componentes del tipo primario como del tipo secundario, la incerteza del método anterior aumentará mientras mayor sea la proporción de la componente secundaria sobre el total del material particulado, en especial de sulfatos y de aerosoles orgánicos, donde la no linealidad con las emisiones de los precursores es mayor. Además, el método roll-back requiere del conocimiento del nivel de contaminación de fondo (Bg) el cual muchas veces se desconoce. Este último punto se suele subsanar asumiendo que el aire de renovación de la zona de control se encuentra libre de contaminación, es decir, que el nivel de concentración de fondo del contaminante analizado es cero. Obviamente, ello rara vez ocurre en la atmósfera, por lo que nunca, por lo que cada vez que se adopta dicho supuesto (Bg = 0) se comete una subestimación del nivel de reducción de emisiones (Re)

Comentario

De los resultados obtenidos en el punto anterior se desprende que se requiere reducir del orden de un 70% las emisiones que actualmente se registran en la ciudad de Temuco para alcanzar el cumplimiento de la norma primaria de MP10 promedio de 24 horas y para que nunca el nivel establecido en ella sea superado. Ello puede corresponder a una subestimación pues no se ha tomado en cuenta ni las condiciones de contaminación de fondo ni la peor condición de dispersión.

Por otro lado, dado que la solución a los problemas de contaminación atmosférica en Temuco y Padre Las Casas parece ser de mediano a largo plazo es conveniente tener presente que en ese periodo las normas de material particulado chilenas pueden sufrir modificaciones. En este sentido es probable que en un mediano plazo (4-5 años) se haya dictado una norma primaria de material particulado fino (MP2.5)¹⁵. Si bien no se tiene certeza de cuál será el nivel que puede adoptar dicha norma, parece razonable que se encuentre cercano al definido en EEUU que alcanza a $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio de 24 horas. Asumiendo, por una parte, que todos los supuestos y cálculos realizados en este documento para MP10 fuesen similares para MP2.5 y, por otra, un valor promedio de 0.8 para la relación MP2.5/MP10 para los días de elevadas concentraciones de material particulado en Temuco¹⁶, entonces para alcanzar $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP2.5 (del orden del 90% de la norma de USA) como promedio y máximo de la ciudad, se requeriría un nivel de emisiones equivalente al 20% y 15% del actual, respectivamente.

4. Conclusión

Según este trabajo podemos concluir que uno de los problemas importantes es reducir el Nivel de humedad de la leña, tenemos que recalcar que no hay un estudio acabado sobre la humedad de la leña, ya que los estudios se hicieron bajo normas norteamericanas, pero estas, consideran en sus cálculos bajo contenido de humedad y que difieren mucho sobre la leña en Temuco y Padre las Casas, este factor incide en el proceso de combustión ya que si tiene una cierta cantidad de humedad el proceso de combustión será incompleto por lo que emitirá residuos tóxicos (MP10, Monóxido de Carbono, Hidrocarburos), por lo que cobra importancia el diseño de la cocina a leña, ya que con un buen diseño se puede reducir la humedad y por ende tener mejor Combustión y por ende menor contaminación de las fuentes emisoras (cocinas). También se muestra un modelo para reducir el nivel de emisiones y no sobrepasar la Norma legal Establecida para la leña ($150\text{mg}/\text{m}^3$), este modelo es una aproximación ya que para tener una mejor estimación hay que considerar muchos otros procesos como el químico que afecta a los contaminantes y por la cual no se tiene mucha información.

Propuestas

Sin negar que la leña es el combustible básico para la calefacción en la ciudadanía temuquense, la propuesta es clara: utilizar este material de forma controlada, en otras palabras, leña seca.

No hay una normativa que regule que la leña cuenta con una sequedad adecuada para la combustión. Desde el punto de vista químico, mientras más seca es la leña, más se minimizan las partículas nocivas que llegan a nuestro organismo".para poder bajar los índices de contaminación una de las primeras medidas es una campaña comunicacional efectiva para que la población tome conciencia del daño que produce la quema de leña húmeda.