



DSS
ambiente
ingeniería
innovación



PLAN DE COMPENSACIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS DEL PROYECTO

“Modificación Zona de Extracción RCA 307/2004”

DE LA SOCIEDAD ARIDOS LIVIO MAGGI LTDA.

○ NOVIEMBRE DE 2019 ○



Concepción: Los Pensamientos 197
San Pedro de la Paz +56-41-2287848 / +56-41-2285324

Santiago: Av. Del Valle Sur 512 Oficina 304
Ciudad Empresarial, Huechuraba. +56-2-23494104



DSS
ambiente
ingeniería
innovación



Índice General

INDICE DE TABLAS.....	2
INDICE DE FIGURAS	3
1 INTRODUCCIÓN.....	4
2 OBJETIVOS.....	5
3 PLAN DE COMPENSACIÓN DE EMISIONES.....	5
3.1 ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DEL PROYECTO	6
3.2 MEDIDA DE COMPENSACIÓN	7
3.2.1 <i>Cuantificación de la reducción de las emisiones atmosféricas por el recambio de estufas</i>	<i>7</i>
3.2.2 <i>Efectividad de la reducción de las emisiones</i>	<i>33</i>
3.2.3 <i>Verificación de que la medida propuesta es adicional.....</i>	<i>38</i>
3.2.4 <i>Permanencia de reducción de las emisiones</i>	<i>38</i>
4 FORMA, OPORTUNIDAD Y UBICACIÓN DE LOS ESTABLECIMIENTOS EN DONDE SE EFECTUARÁ EL RECAMBIO DE CALEFACTORES E INDICADORES DE CUMPLIMIENTO	38
5 CRONOGRAMA	42

Indice de Tablas

Tabla 1 Emisiones del proyecto	6
Tabla 2 Emisiones del proyecto	7
Tabla 3 Establecimientos, tipo y número de arfacto de recambio	7
Tabla 4 Consumo y humedad de la leña en cada establecimiento	8
Tabla 5 Densidad de la leña según su estado	22
Tabla 6 Densidad representativa de la leña en los establecimientos	23
Tabla 7 Nivel de Actividad, consumo de leña	24
Tabla 8 Factores de Emisión de MP10 según tipo de artefacto	25
Tabla 9 Factor de emisión por establecimiento	27
Tabla 10 Estimación de emisiones por establecimiento.....	28
Tabla 11 Poder Calorífico de la Leña	30

Tabla 12 Poder calorífico inferior representativa de la leña en los establecimientos	30
Tabla 13 Nivel de actividad, proyección del consumo de pellet	31
Tabla 14 Emisiones proyectadas	32
Tabla 15 Reducción de las emisiones en cada establecimiento.....	33
Tabla 16 Superficie de las salas de los establecimientos educacionales en donde se realizará el recambio de calefactores	34
Tabla 17 Equipos referenciales para el recambio.....	37
Tabla 18 Ubicación de los establecimientos	40
Tabla 19 Documentos de seguimiento del PCE	42
Tabla 20 Carta Gantt de actividades	43

Indice de Figuras

Figura 1 Estufas es la Escuela Confluencia.....	11
Figura 2 Estufas en el Jardín Infantil Rinconcito Encantado	12
Figura 3 Estufas en la Escuela María Amalia Saavedra.....	16
Figura 4 Estufas en el Jardín Infantil Gotitas de Amor	17
Figura 5 Estufas en la Escuela Portugal	19
Figura 6 Estufas en la Escuela Paul Harris	21
Figura 7 Frecuencia según forma de uso del tiraje de la estufa.....	21
Figura 8 Esquema de recambio de calefactores	39
Figura 9 Ubicación espacial de los establecimientos	41

1 Introducción

El proyecto de extracción de áridos **"Modificación Zona de Extracción RCA 307/2004"**, consiste en la modificación de la zona de extracción de áridos considerada en la Resolución de Calificación Ambiental (RCA) N°307/2004. En este contexto, el proyecto se sometió al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) mediante una Declaración de Impacto Ambiental (DIA), obteniendo la RCA favorable N° 40/2019.

Cabe destacar que el mencionado proyecto se desarrollará en el sector Huechupin, comuna de Chillán, es decir, inmerso en la zona declarada como saturada por las concentraciones de promedio 24 horas de MP10 y MP2,5, y como zona latente por las concentraciones de MP10 promedio anual mediante el D.S. N° 36/2012 del Ministerio del Medio Ambiente (MMA), sobre la cual se encuentra plenamente vigente el Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica para las Comunas de Chillán y Chillán Viejo (PPDA, D.S. N°48/2016 del MMA).

Respecto a las emisiones de un proyecto que ingresa al SEIA, el PPDA en su artículo 54 establece que:

"Desde la publicación en el Diario Oficial del presente Plan, todos aquellos proyectos o actividades, incluidas sus modificaciones, que se sometan al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, y que, directa o indirectamente, generen emisiones respecto de su situación base, iguales o superiores a 1 ton/año de MP, deberán compensar sus emisiones en un 120%. Para lo anterior, el titular deberá presentar un programa de compensación de emisiones equivalente a toda la vida útil del proyecto o de la actividad.

En concreto, en el considerando 5°, tabla 5.1 de la RCA N° 40/2019 indica que:

"No obstante lo anterior, la sumatoria de las emisiones proyectadas para la fase de construcción y operación del Proyecto, superan el límite establecido en el PPDA, por tanto, el titular deberá compensar el 120% de la totalidad del material particulado, adoptando un Programa de Compensación de Emisiones ante la SEREMI del Medio

Ambiente Regional...

Por su parte, la RCA señala en el considerando 4.3.2. que el Titular deberá compensar sus emisiones en 5,11 ton/año. Es en este contexto, que se extiende el presente Plan de Compensación de Emisiones (PCE) a la SEREMI del Medio Ambiente.

2 Objetivos

Presentar un PCE orientado al recambio de estufas, que garantice la compensación en un 120% las emisiones de MP del proyecto, lo que significa que la compensación debe asegurar un total de 5,11 ton de MP/año.

3 Plan de Compensación de Emisiones

De acuerdo con el considerado 5° de la RCA N° 40/2019, el titular del proyecto debe presentar un Plan de Compensación de Emisiones conforme a las disposiciones del artículo 54 y 56 del PPDA de Chillán y Chillán Viejo, D.S. 48/2016 del MMA.

Al respecto, el artículo 56 del PPDA señala:

Los proyectos o actividades, que deban compensar sus emisiones presentarán un programa de compensación de emisiones, ante la SEREMI del Medio Ambiente, cuyo contenido será, al menos, el siguiente:

1) Una estimación anual de sus emisiones en la fase operación, señalando el año y etapa en que se prevé se superará el umbral de 1 ton/año de MP.

2) Las medidas de compensación deberán cumplir los siguientes criterios:

a) Cuantificable, esto es, que permita valorar la reducción de las emisiones que se produzcan a consecuencia de ella.

b) Efectiva, esto es, que genere una reducción de emisiones real y medible.

c) Adicional, entendiéndose por tal que la medida propuesta no responda a otras obligaciones a que esté sujeto el titular, o bien, que no corresponda a una acción que conocidamente será llevada a efecto por la autoridad pública o particulares.

d) Permanente, entendiéndose por tal que la rebaja permanezca por el período en que el proyecto está obligado a reducir emisiones.

3) Forma, oportunidad y ubicación en coordenadas WGS84, de su implementación, con un indicador de cumplimiento del programa de compensación.

4) Carta Gantt, que considere todas las etapas para la implementación de la compensación de emisiones. Las condiciones mencionadas en relación con la compensación de emisiones no sustituirán las exigencias impuestas en otras normativas vigentes en las comunas de Chillán y Chillán Viejo y deberán apuntar a la reducción de emisiones de material particulado.

3.1 Estimación de las Emisiones del proyecto

Las estimaciones anuales del proyecto en sus distintas fases fueron presentadas dentro de la evaluación ambiental. En la siguiente tabla se presenta la cuantificación de las emisiones de MP del proyecto.

Tabla 1 Emisiones del proyecto

Emisiones de MP (ton/año)	Fase del proyecto	
	Construcción	Operación
	1,07	3,40

Fuente: Tabla 4.3.1.1 y 4.3.2.2 de la RCA 04/19

De acuerdo con la Carta Gantt del proyecto, la fase de construcción tiene una duración de 4 semanas, con lo cual, la estimación de emisiones por año del proyecto queda de la siguiente forma.

Tabla 2 Emisiones del proyecto

Fase	Construcción + Operación	Operación
Contaminante	Año 1	Año 2 en adelante
MP	4,18	3,40

En total, las emisiones máximas del proyecto se estiman en 4,18 ton/año, las que de acuerdo a las disposiciones del PDA, deben ser compensadas en un 120%, es decir 5,02 ton/año. No obstante, de acuerdo a las exigencias de la RCA, el titular del proyecto compensará 5,11 ton/año, tal como lo indica el considerando 4.3.2.

3.2 Medida de compensación

La medida de compensación propuesta es el recambio de 36 estufas a leña por estufas a pellet certificadas en 6 establecimientos educacionales de la comuna de Chillán:

Tabla 3 Establecimientos, tipo y número de artefacto de recambio

Establecimiento	Número de Artefacto	Tipo de artefacto
Escuela Confluencia	5	Estufas de combustión lenta
Jardín Infantil Rinconcito Encantado	3	Estufas de combustión lenta
Escuela María Amalia Saavedra	12	Estufas de combustión lenta
Jardín Infantil Gotitas de Amor	4	Estufas de combustión lenta
Escuela Portugal	8	Estufas de combustión lenta
Escuela Paul Harris	4	Estufas de combustión lenta

3.2.1 Cuantificación de la reducción de las emisiones atmosféricas por el recambio de estufas

Para cuantificar la reducción de las emisiones por el recambio de los calefactores, se visitó cada uno de los establecimientos con el fin de identificar el tipo de estufas actuales, consumo y humedad de la leña.

Es importante mencionar que las escuelas y liceos mencionados se encuentran bajo la administración del DAEM de la Municipalidad de Chillán, por lo que el terreno se realizó en compañía de sus profesionales.

3.2.1.1 Caracterización de las fuentes emisoras: Levantamiento de información

A continuación, se describen los aspectos más relevantes que se obtuvieron del

levantamiento de información. Para más detalles, ficha y registros fotográficos consultar el Anexo 1.

a. Consumo de leña.

En la Tabla 4 se presenta el consumo y humedad de la leña para cada establecimiento. Este dato fue consultado a los directores u operadores de cada establecimiento, los que posteriormente fueron confirmados por el director del DAEM de la comuna de Chillán (ver Anexo 2).

Tabla 4 Consumo y humedad de la leña en cada establecimiento

Establecimiento	Consumo de leña total (m ³ /año)	Humedad de la leña (%)	
		Seca	Húmeda
Escuela Confluencia	61,0	70%	30%
Jardín Infantil Rinconcito Encantado	24,4	70%	30%
Escuela María Amalia Saavedra	96,0	60%	40%
Jardín Infantil Gotitas de Amor	32,5	100%	0%
Escuela Portugal	64,0	70%	30%
Escuela Paul Harris	32,5	50%	50%

b. Tipo de leña.

La leña que se utiliza en los establecimientos es de origen variado. De hecho, gran parte de ella llega como donaciones, aportes de apoderados y profesores.

En terreno se pudo constatar que la leña era de hualle, pino, aramo y eucaliptus. La proporción de su uso es variable debido a que gran porcentaje de la leña que se utiliza en los establecimientos es donada, por lo tanto, no se tiene control o registros del tipo.

Los resultados obtenidos del terreno son congruentes con la información bibliográfica. De hecho, el informe técnico "Diagnostico del Mercado de Leña en Chila" (CNE, 2006)¹, señala que en la comuna de Chillán, el 58% de la leña es de Hualle, en tanto que el 21%

¹ Disponible en: http://metadatos.mma.gob.cl/sinia/articles-50791_informe_final.pdf

corresponde a Aromo.

Por lo tanto, para efectos del cálculo, se ha supuesto que los porcentajes de los distintos tipos de leña utilizado en los establecimientos, tiene el mismo patrón que en sector residencial en cuanto al uso de astillas de Hualle y Aromo, mientras que el restante, se ha supuesto que equivale en partes iguales entre pino y eucaliptus.

c. Tipo de artefactos.

En la visita a terreno se pudo constatar que en un establecimiento cuentan con varias estufas ubicadas en salas de clases. Estas estufas son mayormente de doble cámara no certificadas, pues su instalación data de antes de la entrada en vigencia del D.S. 39/2011², es decir, antes de los inviernos de los años entre 2009 y 2013.

En las siguientes figuras, se presentan las estufas en las distintas salas de las escuelas y jardines infantiles.

² Según las disposiciones del decreto, la vigencia es a partir de octubre de 2013.

Registro fotográfico de las estufas en Escuela Cofluencia



a. Biblioteca (Sala)



b. Sala 2



c. Sala 1ero y 2do



Figura 1 Estufas es la Escuela Confluencia

Registro fotográfico de las estufas en el Jardín Rinconcito Encantado



a. Hall



b. Sala Nivel Medio



c. Sala Cuna

Figura 2 Estufas en el Jardín Infantil Rinconcito Encantado

Registro fotográfico de las estufas en la Escuela María Amalia Saavedra



a. 1° básico



b. Kinder



c. Sala de Profesores

Registro fotográfico de las estufas en la Escuela María Amalia Saavedra



d. Biblioteca



e. Sala Computación



f. 8° básico

Registro fotográfico de las estufas en la Escuela María Amalia Saavedra



g. 7° básico



h. 6° básico



i. 5° básico

Registro fotográfico de las estufas en la Escuela María Amalia Saavedra



Figura 3 Estufas en la Escuela María Amalia Saavedra

Registro fotográfico de las estufas en el Jardín Infantil Gotitas de Amor



a. Patio Cubierto



b. Nivel Medio Mayor



c. Nivel Medio Menor



d. Sala Cuna

Figura 4 Estufas en el Jardín Infantil Gotitas de Amor

Registro fotográfico de las estufas en la Escuela Portugal



a. Sala 6



b. Sala 5



c. Sala 4



d. Sala 3

Registro Fotográfico de las Estufas en Escuela Portugal



a. Sala 1



b. Sala 2



c. Sala 7

Figura 5 Estufas en la Escuela Portugal

Registro fotográfico de las estufas en la Escuela Paul Harris



a. Comedor



b. 1° y 2° y 3° básico



c. 4°, 5° y 6° básico



d. 7° y 8° básico

Figura 6 Estufas en la Escuela Paul Harris

d. Hábitos de operación de las estufas.

Todas las estufas de las salas de los establecimientos son estufas de doble cámara con sistema de regulación de la entrada de aire para la combustión, conocido como tiraje. Así, si este está cerrado, la combustión no es completa y por tanto hay más emisiones de partículas, constituyendo una mala práctica de la operación del artefacto. Por el contrario, si el tiraje se encuentra abierto, la combustión es completa y las emisiones son inferiores.

Lo anterior (gestión del tiraje) constituye un factor difícil de determinar, por lo que al momento de la visita a terreno se consultó sobre el uso del tiraje siendo las alternativas: abierto para encender la estufa y luego cerrado, siempre abierto, siempre cerrado, otro; en la siguiente figura se presenta la frecuencia del uso en cada categoría, en donde se puede observar que el 80% de los establecimientos considerados en este PCE utilizan el tiraje abierto sólo para encender la estufa y luego lo cierran, con el fin de las estillas de leñas tengan una mayor duración.

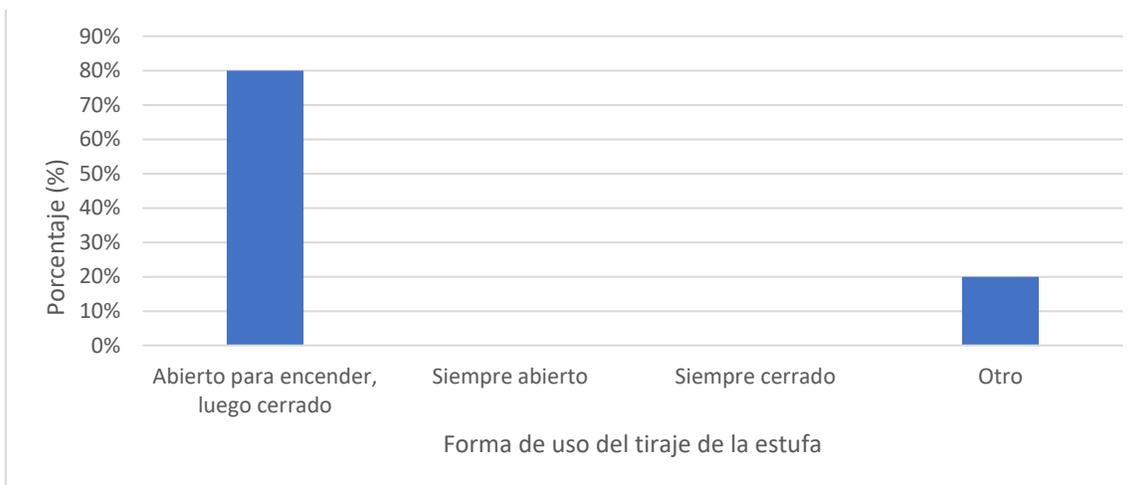


Figura 7 Frecuencia según forma de uso del tiraje de la estufa

Con base en lo anterior, para efectos del cálculo se ha supuesto un escenario conservador, en donde el periodo en el que las estufas mal operan equivale al 20%, aunque se presume que este podría ser mayor. Densidad de la leña.

En vista de que los consumos de leña se conocen en metros cúbicos al año y que los factores de emisión están determinados por el total de la masa de leña expresada en kilos al año, se utilizó la densidad de la leña para el cambio de unidades.

La densidad de la leña es específica para cada tipo de leña, y su vez, esta varía según el contenido de humedad. En la siguiente tabla, se presentan los valores de la densidad basados en la información disponible en el estudio elaborado para el Ministerio de Energía “Medición del Consumo Nacional de Leña y otros Combustibles Sólidos Derivados de la Madera” (CDT, 2015)³.

Tabla 5 Densidad de la leña según su estado

Tipo de leña	Porcentaje de uso (%)	Densidad (kg/m ³)	
		Leña seca	Leña Húmeda
Hualle	58,0	438	771
Aromo	21,0	655	739
Pino	10,5	543	612
Eucalipto	10,5	645	726
Densidad estimada	-	517,3	724,9

Fuente: Medición del consumo nacional de leña y otros combustibles sólidos derivados de la madera, CDT (2015).

Se calculó una densidad estimada, de acuerdo con la prevalencia del uso de cada tipo de leña, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$D_{seca} = \frac{U_{Hualle} \times D_{seca\ Hualle} + U_{Aromo} \times D_{seca\ Aromo} + U_{Pino} \times D_{seca\ Pino} + U_{Eucalipto} \times D_{seca\ Eucalipto}}{100\%}$$

$$D_{Húmeda} = \frac{U_{Hualle} \times D_{humada\ Hualle} + U_{Aromo} \times D_{humada\ Aromo} + U_{Pino} \times D_{humada\ Pino} + U_{Eucalipto} \times D_{humada\ Eucalipto}}{100\%}$$

Donde,

D, es la densidad (kg/m³)

³ Disponible en:

dataset.cne.cl/Energia_Abierta/Estudios/Minerg/MEDICIÓN%20DEL%20CONSUMO%20NACIONAL%20DE%20LEÑA%20Y%20OTROS%20COMBUSTIBLES%20SÓLIDOS%20DERIVADOS%20DE%20LA%20MADERA.pdf

U, es la relación del uso del tipo de leña (%).

De esta forma, la densidad estimada según el contenido de humedad será:

$$D_{seca} = \frac{58\% \times 438 \left(\frac{kg}{m^3}\right) + 21\% \times 655 \left(\frac{kg}{m^3}\right) + 10,5\% \times 543 \left(\frac{kg}{m^3}\right) + 10,5\% \times 645 \left(\frac{kg}{m^3}\right)}{100\%} = 517,3 \left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

$$D_{humeda} = \frac{58\% \times 771 \left(\frac{kg}{m^3}\right) + 21\% \times 739 \left(\frac{kg}{m^3}\right) + 10,5\% \times 612 \left(\frac{kg}{m^3}\right) + 10,5\% \times 726 \left(\frac{kg}{m^3}\right)}{100\%} = 742,9 \left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

Como el contenido de humedad es variable en cada establecimiento, se calculó una densidad para cada uno de la siguiente forma:

$$D_n = \frac{A_n \times C_{seca} + B_n \times D_{humeda}}{100\%}$$

Donde:

A, es el porcentaje de leña seca en el establecimiento n

B, es el porcentaje de leña húmeda en el establecimiento n

C_{seca}, es la densidad de la leña estimada seca, estimada en 517,3 (kg/m³)

D_{humeda}, es la densidad de la leña estimada húmeda, estimada en 724,9 (kg/m³)

De esta forma se obtuvieron las densidades representativas para cada establecimiento, cuyos resultados se presentan en la siguiente ecuación.

Tabla 6 Densidad representativa de la leña en los establecimientos

Establecimiento	Humedad de la leña (%)		Densidad de la leña estimada (kg/m ³)		Densidad de la leña estimada para cada establecimiento (kg/m ³)
	Seca	Húmeda	Seca	Húmeda	
	A	B	C	D	D _n = (A x C + B x D)/100%
Escuela Confluencia	70%	30%	517,3	724,9	584,3
Jardín Infantil Rinconcito Encantado	70%	30%			584,3
Escuela María Amalia Saavedra	60%	40%			606,9
Jardín Infantil Gotitas de Amor	100%	0%			516,3
Escuela Portugal	70%	30%			584,3
Escuela Paul Harris	50%	50%			629,6

3.2.1.2 Estimación de las emisiones actuales

La metodología aplicada a la estimación de emisiones es la recomendada por EPA, la que se basa en la siguiente relación:

$$E = \frac{FE M10_n \times NA}{1 \times 10^6}$$

Donde

E , es la emisión de MP10 (ton/año)

NA , es el nivel de actividad, que en este caso corresponde al consumo de leña anual en cada establecimiento (kg/año)

FE_n , es el factor de emisión para el establecimiento n (g/kg de leña)

a. Estimación del nivel de actividad, consumo de leña actual

En la visita a los establecimientos se levantó información sobre el consumo de leña y el contenido de humedad de estos (ver sección 3.2.1.1 a), los que posteriormente fueron confirmados por el DAEM de la comuna de Chillán, declarando el consumo en cada establecimiento en metros cúbicos al año (m³/año) (revisar Anexo 2).

El nivel de actividad se refiere al consumo de leña expresado en kilos al año (kg/año), por lo tanto, se usó la densidad de la leña para la conversión de unidades. Por su parte, la determinación de la densidad de la leña, fue presentada en la sección 3.2.1.1 0.

En la siguiente tabla se presenta el nivel de actividad para cada establecimiento.

Tabla 7 Nivel de Actividad, consumo de leña

Establecimiento	Consumo de leña total (m ³ /año)	Densidad de la leña (kg/m ³)	Nivel de actividad (kg/año)
	A	B	C= A x B
Escuela Confluencia	61,0	584,3	35641,6
Jardín Infantil Rinconcito Encantado	24,4	584,3	14256,7

Establecimiento	Consumo de leña total (m ³ /año)	Densidad de la leña (kg/m ³)	Nivel de actividad (kg/año)
	A	B	C= A x B
Escuela María Amalia Saavedra	96,0	606,9	58266,4
Jardín Infantil Gotitas de Amor	32,5	516,3	16780,7
Escuela Portugal	64,0	584,3	37394,5
Escuela Paul Harris	32,5	629,6	20461,8

b. Factores de Emisión de los artefactos actuales

Para la estimación de las emisiones de MP10 actuales, se usaron como referencia aquellos expuestos en la Tabla 5-3, Capítulo V del estudio "Inventario de emisiones atmosféricas para las ciudades Chillán y Los Ángeles VIII Región", (Universidad Católica de Temuco, 2009)⁴, el que sienta las bases técnicas para la elaboración del PPDA de Chillán y Chillán Viejo. En la siguiente tabla, se presentan los factores de emisión.

Tabla 8 Factores de Emisión de MP10 según tipo de artefacto

Tipo de artefacto	Factor de Emisión (g/ kg leña)		
	Leña seca	Leña Húmeda	Mala operación ^a
Combustión lenta - calefactor a leña sin templador – calefactor a leña con templador ^b	15,0	24,2	76,0

Fuente: Tabla 5-3, Capítulo V del estudio "Inventario de emisiones atmosféricas para las ciudades Chillán y Los Ángeles VIII Región", (Universidad Católica de Temuco, 2009)

^a Para leña seca y húmeda. ^b Utilizado para las estufas de combustión lenta encontrada en los establecimientos. ^c Utilizada para la estufa hechiza que se encontró en la Escuela Quinchamalí.

Como se ve en la tabla precedente, el factor de emisión es variable según la proporción de leña seca y húmeda utilizada para la calefacción, así como también, el porcentaje del tiempo en el que la operación del artefacto se realiza de forma errónea, es decir, cuando se restringe el ingreso de aire.

⁴ Disponible en:

http://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2018/proyectos/Estudios_utilizados_para_la_elaboracion_del_PDA_LA.pdf

Hay otras malas prácticas que no se pueden cuantificar en las emisiones debido a la inexistencia de factores de emisión para ello, por ejemplo, el uso de otros elementos distintos de leña para encender las estufas, tales como cera y desechos de distintos orígenes, prácticas que son recurrentes según lo que se catastró en el terreno realizado. Sin embargo, es claro que estas prácticas generan un aumento en la emisión de partículas y de otros componentes que pueden ser dañinos para la salud de la población, como tal es el caso del uso de solventes o productos químicos.

Por consiguiente, el factor de emisión será variable para cada establecimiento, puesto que se incluye dentro del mismo, el porcentaje de leña seca y húmeda que se utiliza, así como también el tiempo de mala operación de los artefactos. Esto se puede estimar según la siguiente expresión:

$$FE_{MP10_n} = ((1 - k)A_n \times FE_{MP10_{ls}}) + ((1 - k)B_n \times FE_{MP10_{lh}}) + (k \times FE_{MP10_{mo}})$$

Donde,

FE_n , es el factor de emisión en el establecimiento n (g/kg de leña).

FE_{ls} , es el factor de emisión para el artefacto con uso de leña seca (g/kg de leña).

FE_{lh} , es el factor de emisión para el artefacto con uso de leña húmeda (g/kg de leña).

FE_{mo} , es el factor de emisión para el artefacto mal operado (g/kg de leña).

n, establecimiento.

k, es la fracción del tiempo en el que el artefacto funciona en mal estado. Por consiguiente $1 - k$, es la fracción del tiempo en el que el equipo opera de forma correcta.

A_n , es la fracción de la leña total catalogada como seca en el establecimiento n.

B_n , es la fracción de la leña total catalogada como húmeda en el establecimiento n.

Tabla 9 Factor de emisión por establecimiento

Nombre del establecimiento	Tipo de calefactor	Fracción de la leña según su calidad		Facción del tiempo en el que mal opera	Factor de Emisión MP10 (g/kg año)			Factor de Emisión específico para cada establecimiento MP10 (g/kg leña)
		Seca	Húmeda		Leña seca	Leña húmeda	Mala operación	
		A	B		k	FE _{ls}	FE _{lh}	
Escuela Confluencia	Estufa combustión lenta	70%	30%	0,2	15,0	24,2	76,0	29,41
Jardín Infantil Rinconcito Encantado		70%	30%	0,2				29,41
Escuela María Amalia Saavedra		60%	40%	0,2				30,14
Jardín Infantil Gotitas de Amor		100%	0%	0,2				27,20
Escuela Portugal		70%	30%	0,2				29,41
Escuela Paul Harris		50%	50%	0,2				30,88

c. Estimación de las emisiones actuales

Estimado los factores de emisión de MP10 para cada establecimiento y los niveles de actividad respectivos, las emisiones se estiman a partir de la ecuación general presentado al comienzo de este acápite.

En la siguiente tabla se presentan las emisiones estimadas para cada establecimiento, de donde se observa que las emisiones más altas se condicen con los establecimientos en donde hay mayor cantidad de estufas.

Tabla 10 Estimación de emisiones por establecimiento

Nombre del establecimiento	Tipo de calefactor	Nivel de actividad (kg/año)	Factor de Emisión MP10 (g/kg leña)	Emisión MP10 (ton/año)
		NA	FE	C = NA x FE/1 x 10 ⁶
Escuela Confluencia	Estufa combustión lenta	35641,6	29,41	1,05
Jardín Infantil Rinconcito Encantado		14256,7	29,41	0,42
Escuela María Amalia Saavedra		58266,4	30,14	1,76
Jardín Infantil Gotitas de Amor		16780,7	27,20	0,46
Escuela Portugal		37394,5	29,41	1,10
Escuela Paul Harris		20461,8	30,88	0,63
Total		-	-	-

En total, las emisiones actuales de todos los establecimientos se estiman en 5,41 ton/año, equivalentes a las 36 estufas a leñas presentes en los 6 establecimientos.

3.2.1.3 Estimación de las emisiones proyectadas

Para estimar las emisiones de los establecimientos cuando las estufas actuales hayan sido cambiadas por las estufas a pellet, se usó la siguiente expresión:

$$E = \frac{FE_{MP10} \times NA}{1 \times 10^6}$$

Donde

E, es la emisión de MP10 (ton/año)

Na , es el nivel de actividad, que en este caso corresponde al consumo de pellet anual en cada establecimiento (kg/año)

FE , es el factor de emisión para el pellet (g/kg de leña)

a. Estimación del nivel de actividad, consumo de pellets

Para estimar la demanda de pellet para la calefacción del recinto se usó la siguiente expresión:

$$NA = \frac{CL \times PCI_{leña}}{PCI_{pellets}} \times \frac{\eta_{leña}}{\eta_{pellets}}$$

Dónde:

NA , es el nivel de actividad, la que en este caso será es la demanda de pellet (kg/año-establecimiento)

CL , es el consumo de leña actual (kg/año)

η , es la eficiencia del artefacto (%)

La eficiencia de los artefactos depende de la tipología del mismos, por ejemplo, se estima que la eficiencia de una estufa con doble cámara sea de 65%, mientras que las estufas hechizas alcancen el 35%⁵. En tanto que las estufas a pellet tienen al menos un 85% de eficiencia⁶.

PCI , es el poder calorífico inferior del combustible(kcal/kg).

Se ha demostrado que el poder calorífico depende del tipo de leña y su contenido de humedad. En la siguiente tabla se presenta el PCI por cada tipo de leña y el valor estimado según el porcentaje en que cada una se utiliza⁷.

⁵ Los valores son en los que se basan los cálculos del estudio “Costo – Beneficio de implementar una red de gas natural en ciudades con consumo intensivo de leña”, (EULA, 2016), elaborado para el Ministerio de Energía.

⁶ Se usó un valor conservador para los cálculos basado en las fichas técnicas de estufas a pellets.

⁷ La forma de cálculo es igual a la presentada para la determinación de la densidad de la leña.

Tabla 11 Poder Calorífico de la Leña

Tipo de leña	Porcentaje de uso (%)	Poder Calorífico Inferior (kcal/kg)	
		Seca	Húmeda
Hualle	58,0	3959,3	3572,4
Eucalipto	21,0	3476,9	2130,7
Aromo	10,5	3769,3	2973,1
Pino	10,5	3582,0	3028,0
PCI estimado	-	3798,4	3149,6

Fuente: Medición del consumo nacional de leña y otros combustibles sólidos derivados de la madera, CDT (2015).

Como la humedad de la leña varía en cada establecimiento se estimó un valor del PCI para cada establecimiento, cuyos resultados se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 12 Poder calorífico inferior representativa de la leña en los establecimientos

Establecimiento	Humedad de la leña (%)		PCI estimado (kcal/kg)		PCI para cada establecimiento (kcal/kg)
	Seca	Húmeda	Seca	Húmeda	
	A	B	C	D	$D_n = (A \times C + B \times D) / 100\%$
Escuela Confluencia	70%	30%	3798,4	3149,6	3603,8
Jardín Infantil Rinconcito Encantado	70%	30%			3603,8
Escuela María Amalia Saavedra	60%	40%			3538,9
Jardín Infantil Gotitas de Amor	100%	0%			3798,4
Escuela Portugal	70%	30%			3603,8
Escuela Paul Harris	50%	50%			3474,0

Por su parte, de acuerdo con el estudio "Medición del Consumo Nacional de Leña y otros Combustibles Sólidos Derivados de la Madera" (CDT, 2015)⁸, el poder calorífico del pellet es 4.285 kcal/kg de pellet. Por consiguiente, el nivel de actividad para cada establecimiento será el que se presenta a continuación.

⁸ Disponible en:

http://dataset.cne.cl/Energia_Abierta/Estudios/Minerg/MEDICI%C3%93N%20DEL%20CONSUMO%20NACIONAL%20DE%20LE%C3%91A%20Y%20OTROS%20COMBUSTIBLES%20S%C3%93LIDOS%20DERIVADOS%20DE%20LA%20MADERA.pdf

Tabla 13 Nivel de actividad, proyección del consumo de pellet

Nombre del establecimiento	Tipo de calefactor	Consumo de leña (kg/año)	PCI Leña (kcal/kg)	PCI Pellet (kcal/kg)	Eficiencia equipos (%)		Nivel de Actividad Consumo de pellet proyectado (kg/año) NA= CL x (PCI _{leña} /PCI _{pellet}) x (η _{estufa} / η _{pellet})
		CL	PCI _{leña}	PCI _{pellet}	Actual	Pellet	
					η _{estufa}	η _{pellet}	
Escuela Confluencia	Estufa de combustión lenta	35641,6	3603,8	4285,0	65	85	22922
Jardín Infantil Rinconcito Encantado		14256,7	3603,8				9169
Escuela María Amalia Saavedra		58266,4	3538,9				36798
Jardín Infantil Gotitas de Amor		16780,7	3798,4				11375
Escuela Portugal		37394,5	3603,8				24050
Escuela Paul Harris		20461,8	3474,0				12686

b. Factor de emisión de estufas a pellet

Según “Actualización del inventario de emisiones atmosféricas y modelación de contaminantes de Concepción Metropolitano, año base 2013”, Capítulo I⁹ (SEREMI del Medio Ambiente, 2015), el factor de emisión para un artefacto a pellet certificado es 1,90 g/kg de pellet.

c. Estimación de las emisiones proyectadas

En consideración con lo expuesto en los literales anteriores, se estima que las emisiones por cada establecimiento sean las que se indican en la siguiente tabla, sumando en total 0,24 ton/año.

Tabla 14 Emisiones proyectadas

Nombre del establecimiento	Consumo de pellet proyectado (kg/año)	Factor de Emisión de estufas a pellet (g/kg)	Emisiones proyectadas MP10 (ton/año)
	A	B	E=A x B
Escuela Confluencia	22922	1,9	0,044
Jardín Infantil Rinconcito Encantado	9169		0,017
Escuela María Amalia Saavedra	36798		0,070
Jardín Infantil Gotitas de Amor	11375		0,022
Escuela Portugal	24050		0,046
Escuela Paul Harris	12686		0,024
Total	-		-

3.2.1.4 Reducción de las emisiones actuales por la implementación de la medida compensatoria

El recambio de los calefactores en los establecimientos significará una reducción en las emisiones de 5,19 ton/año.

⁹ Disponible en: http://www.cpcc.cl/wp-content/uploads/2016/07/CAPITULO-I_Fuentes-area_Lena.pdf

En las primeras dos columnas de la siguiente tabla, se presenta una comparación entre las emisiones actuales que se generan y las que se esperan con la implementación de la medida mediante el recambio de las estufas actuales por estufas a pellet. Además se presenta en una tercera columna, la magnitud de las emisiones compensadas.

Tabla 15 Reducción de las emisiones en cada establecimiento

Nombre del establecimiento	Emisiones de MP10 (ton/año)		
	Actuales Estufas a leña	Proyectadas Estufas a pellet	Emisión compensada
	A	B	C= A-B
Escuela Confluencia	1,05	0,044	1,00
Jardín Infantil Rinconcito Encantado	0,42	0,017	0,40
Escuela María Amalia Saavedra	1,76	0,070	1,69
Jardín Infantil Gotitas de Amor	0,46	0,022	0,43
Escuela Portugal	1,10	0,046	1,05
Escuela Paul Harris	0,63	0,024	0,61
Total	5,41	0,222	5,19

3.2.2 Efectividad de la reducción de las emisiones

La medida propuesta es efectiva, puesto que tal como se presentó en la sección 3.2.1.4, Tabla 15 de este documento, el recambio de los 36 calefactores en los 6 establecimientos permite la compensación total de las emisiones del proyecto, de acuerdo con las indicaciones del PPDA.

Tal como se pudo ver en la Tabla 9 y la sección 3.2.1.3 letra b, los factores de emisión para los artefactos que utilizan leña y pellets son sustancialmente distintos, siendo estos últimos de menor magnitud.

La menor magnitud del factor emisión de pellets, se debe a:

- El pellet es biomasa prensada de humedad inferior al 12% y que cuya venta se encuentra en un mercado regulado. Por el contrario, la leña se vende en un mercado informal en el que no se garantiza la calidad de la leña, influyendo en que parte de

la leña que se utiliza para calefacción sea húmeda, lo que implica que su uso para calefacción genera más emisiones atmosféricas que si se usara leña seca.

- Las estufas a pellet son automatizadas lo que implica que la intervención del usuario es mínima. De esta forma se elimina malas prácticas operacionales como la quema de bolsas, basura y compuestos químicos como cera para encender la estufa.
- El poder calorífico del pellet es superior al de la leña, lo que significa que para satisfacer la misma demanda energética se requiere de menos cantidad que si se utilizara leña.
- Para garantizar el buen funcionamiento de los artefactos, el titular considera una capacitación sobre el correcto uso de las estufas a pellet, como parte del proceso de recambio. Esta capacitación será realizada por el proveedor, quedando registro de ésta, a través de un documento que forma parte del seguimiento del PCE (Tabla 19 del PCE).

La medida planteada es ampliamente utilizada en los Planes de Compensación de Emisiones o Programas de Recambio de Calefactores. Respecto a los últimos, según el Tercer Informe Trimestral de diciembre de 2016 sobre la implementación del PPDA de Chillán y Chillán Viejo, las estufas a pellets fue la alternativa más elegida como método de recambio de las estufas en los programas de la SEREMI del Medio Ambiente en un 64% por sobre otras alternativas como el gas y la parafina; en el año 2017 la cifra de elección aumentó a 88%. Estos indicadores demuestran la aceptación de la medida y, por tanto, se presume menos factible al fracaso por asuntos culturales.

Técnicamente, se asegurará que las estufas a pellets que se instalarán serán de la potencia adecuada para la calefacción de las superficies de las salas, las que no tienen una superficie mayor a 59 m², tal como se puede ver en la siguiente tabla.

Tabla 16 Superficie de las salas de los establecimientos educacionales en donde se

realizará el recambio de calefactores

Nombre del establecimiento	Sala	Dimensiones (m)		Superficie (m ²)
		Largo	Ancho	
Escuela Confluencia	Biblioteca (Sala)	5,90	5,90	34,81
	Sala 2	5,90	5,90	34,81
	Sala 1ero y 2do	5,90	5,90	34,81
	Comedor	9,20	6,40	58,88
	Biblioteca	5,90	5,90	34,81
Jardín Infantil Rinconcito Encantado	Hall	9,60	4,00	38,40
	Sala Nivel Medio	5,80	5,10	29,58
	Sala Cuna	6,40	5,20	33,28
Escuela María Amalia Saavedra	1° Básico	5,70	5,80	33,06
	Kinder	5,70	5,80	33,06
	Sala de Profesores	5,90	5,80	34,22
	Biblioteca	8,60	5,80	49,88
	Sala de Computación	8,60	5,80	49,88
	8° Básico	8,60	5,80	49,88
	7° Básico	8,60	5,80	49,88
	6° Básico	8,60	5,80	49,88
	5° Básico	8,60	5,80	49,88
	2° Básico	5,80	5,80	33,64
	3° Básico	5,80	5,80	33,64
	4° Básico	8,60	5,80	49,88
Jardín Infantil Gotitas de Amor	Patio Cubierto	9,50	6,10	57,95
	Nivel Medio Mayor	7,80	7,50	58,50
	Nivel Medio Menor	7,10	5,90	41,89
	Sala Cuna	7,40	7,00	51,80
Escuela Portugal	Sala 6	5,80	5,80	33,64
	Sala 5	5,80	5,80	33,64
	Sala 4	5,80	5,80	33,64
	Sala 3	5,80	5,80	33,64
	Sala 2	5,80	5,80	33,64
	Sala 1	5,80	5,80	33,64
	Sala 7	5,80	5,80	33,64
Escuela Paul Harris	Comedor	8,60	6,00	51,60
	1°, 2°, 3° Básico	5,90	5,90	34,81
	4°, 5°, 6° Básico	7,00	5,90	41,30
	7°, 8° Básico	7,00	5,90	41,30

Adicionalmente, cabe mencionar que en la mayoría de las salas las estufas existentes son

estufas tipo Bosca o Amesti pequeñas, presumiblemente de potencia nominal 6,3 kW, la cual tiene la capacidad de calefaccionar superficies entre rangos 70 y 110 m², aproximadamente.

En vista de lo anterior y de las superficies de las salas, se considera como equipos referentes los que se indican a continuación, sin perjuicio de que a la hora de la implementación puedan ser elegidos otros de similares características.

Tabla 17 Equipos referenciales para el recambio

Modelo	Marca	Potencia (kW)	Superficie de calefacción (m ²)	Eficiencia	Certificada	Garantía	Ficha Técnica
ITALY 6100	Amesti	6,6	70 – 118 m ²	84%	Si	1 año	https://www.amesti.cl/italy/355-estufa-a-pellet-amesti-italy-6100-rojo.html
ITALU 7000	Amesti	7,3	70 – 130 m ²	86%	Si	1 año	https://www.amesti.cl/italy/434-estufa-a-pellet-amesti-italy-7000-rojo.html
HERA	Bosca	6,8	Rango de 100 m ²	89%	Si	1 año	https://www.bosca.cl/wp-content/uploads/2019/07/Calef-Hera-Pellet_14x22.pdf
FACE	MCZ	6,0	70 – 90 m ²	89%	Si	1 año	http://www.mcz.cl/face-producto.html
KAIKA	MCZ	6,0	70 – 90 m ²	93%	Si	1 año	http://www.mcz.cl/kaika-producto.html

Nota: Las estufas a pellet presentadas en la tabla son referenciales.

Las estufas a pellet de recambio serán certificadas en conformidad con la norma de emisión establecida por el D.S. 39/2011 y sus modificaciones, con lo que el factor de emisión de las futuras estufas será el típico para un artefacto a pellet certificado. Según “Actualización del inventario de emisiones atmosféricas y modelación de contaminantes de Concepción Metropolitano, año base 2013”, Capítulo I¹⁰ (SEREMI del Medio Ambiente, 2015), el factor de emisión para un artefacto a pellet certificado es 1,90 g/kg de pellet.

¹⁰ Disponible en: http://www.cpcc.cl/wp-content/uploads/2016/07/CAPITULO-I_Fuentes-area_Lena.pdf

3.2.3 Verificación de que la medida propuesta es adicional

El recambio de estufas a leña por otras a pellet se realizará en los establecimientos educacionales propuestos los que no se encuentran acogidos a ningún Programa de Recambio de Calefactores implementado por la SEREMI del Medio Ambiente; así como tampoco a un plan de recambio efectuado por un particular.

Por el contrario, el recambio de los calefactores constituye una medida exclusiva para el PCE del proyecto "**Modificación Zona de Extracción RCA 307/2004**", que se enmarca dentro de las exigencias indicadas en la RCA N°04/2019, por lo que no forma parte de otras responsabilidades o compromisos que el titular mantenga de manera diferenciada o independiente al mencionado proyecto y RCA.

En consecuencia, se puede concluir que la medida cuenta con el carácter de adicional, exigida por el art. 56 letra c) del PDA, en el sentido de que la medida propuesta no responde a otras obligaciones a que esté sujeto el titular y no consiste en una acción que conocidamente será llevada a efecto por la autoridad pública o particulares.

3.2.4 Permanencia de reducción de las emisiones

Los calefactores a pellet pueden tener una vida útil indefinida, de realizarse correcta y oportunamente las mantenciones correspondientes. En cualquier caso, un criterio conservador permitiría indicar que estos calefactores cuentan con una vida útil de aproximadamente 20 años, lo que a su vez coincide con el periodo evaluado para el proyecto aprobado por la RCA N° 04/2019.

4 Forma, oportunidad y ubicación de los establecimientos en donde se efectuará el recambio de calefactores e indicadores de cumplimiento

a. Forma y oportunidad en la que se efectuará el recambio de calefactores

La medida compensatoria presentada en este PCE considera el recambio de 36 estufas a leña existente en 6 establecimientos de la comuna de Chillán por otra a pellet, según el

siguiente esquema.

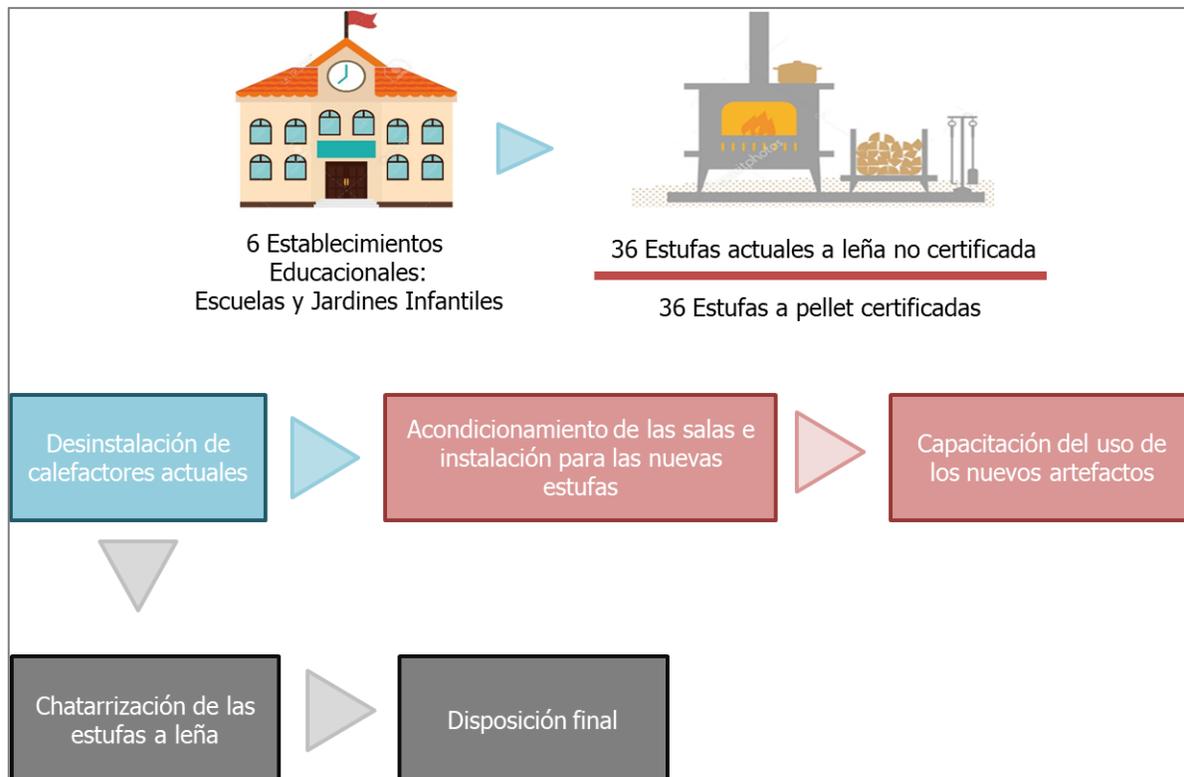


Figura 8 Esquema de recambio de calefactores

Una vez aprobado el PCE, el titular del proyecto dispondrá de un contratista, quien tomará contacto con los profesionales del DAEM para coordinar la implementación del PCE. Esto es la desinstalación de las estufas a leña actuales, las que una vez desinstaladas se chatarrizarán y se llevarán a disposición final; en paralelo, se acondicionarán las salas para la instalación de las nuevas estufas a pellets, las que una vez instaladas, serán sometidas a una prueba de funcionamiento. Una vez que se compruebe el correcto funcionamiento de las nuevas estufas a pellet, se realizará una capacitación sobre el uso de los nuevos artefactos a los operadores de cada establecimiento.

En vista de que, para efectuar la medida, es necesario realizar trabajos en las salas de clases, y que estos de asegurar la seguridad de los mismos, se propone implementar la medida una vez que los alumnos se encuentren en periodo de vacaciones.

b. Ubicación

El recambio de estufas se realizará en 9 establecimientos de la comuna de Chillán, cuya ubicación se presenta en la Tabla 18 y Figura 9.

Tabla 18 Ubicación de los establecimientos

Nombre del establecimiento	Dirección	Coordenada UTM (m) WGS 84		HUSO
		Este	Norte	
Escuela Confluencia	Confluencia km 33.	728.497,8	5.941.457,5	18S
Jardín Infantil Rinconcito Encantado	Km 14m, camino a Huape	764.593,2	5.951.003,8	18S
Escuela María Amalia Saavedra	Simon Bolivar N°1500	755.784,0	5.944.605,1	18S
Jardín Infantil Gotitas de Amor	Pasaje Maoullín N°1079, Chiloé Los Volcanes	761.023,0	5.943.531,4	18S
Escuela Portugal	Antartica Chilena N° 549	756.904,9	5.944.866,0	18S
Escuela Paul Harris	Camino Nahueltoro km 12, sector Reloca	768.219,7	5.950.735,4	18S

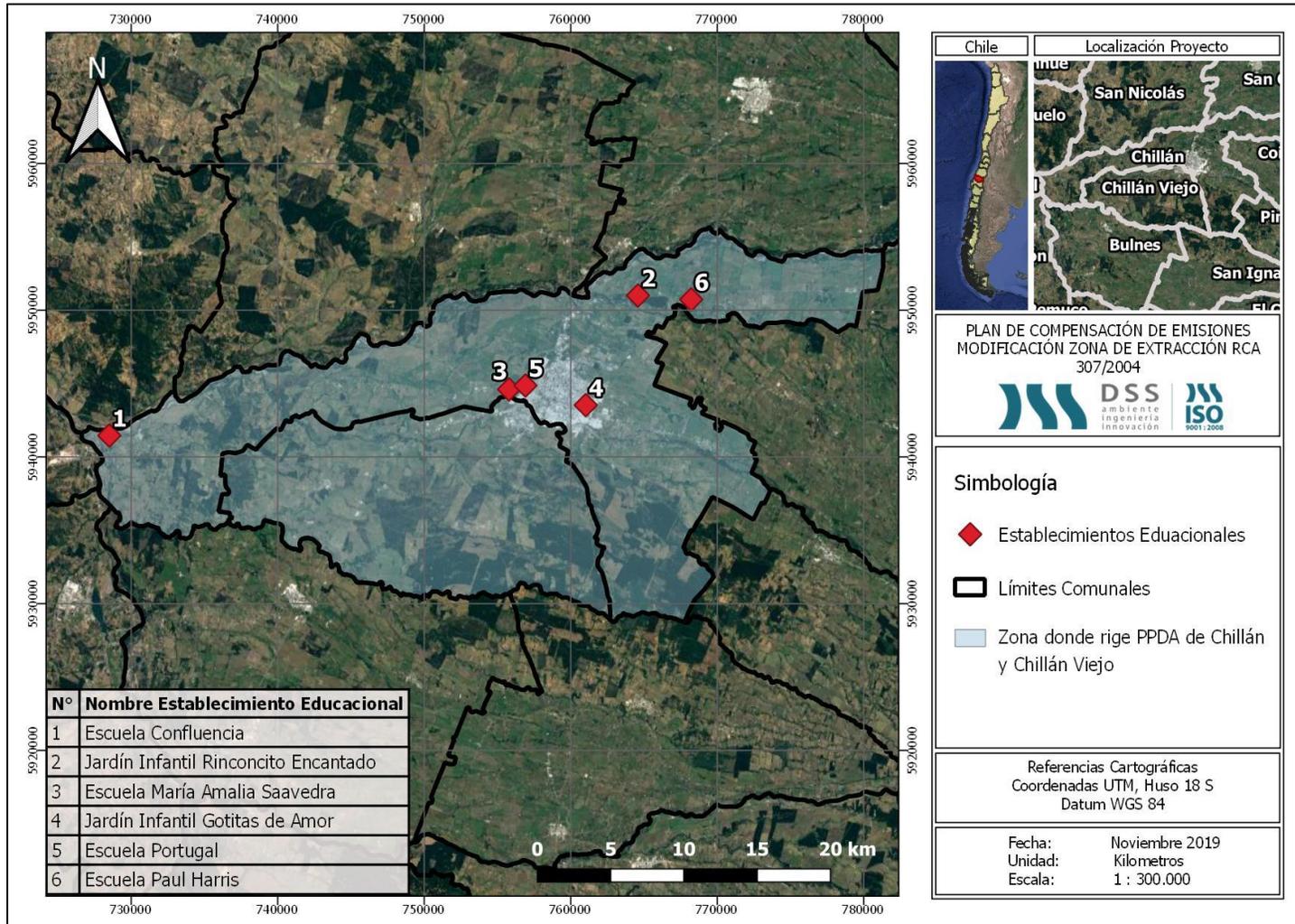


Figura 9 Ubicación espacial de los establecimientos

c. Indicadores de Cumplimiento

Como medios de verificación se presentará a la SEREMI del Medio Ambiente los siguientes documentos:

Tabla 19 Documentos de seguimiento del PCE

Ítem	Documento de verificación	Anexo	Plazo
Desinstalación de la estufa actual	Se entregará a la SEREMI del Medio Ambiente un documento que de cuenta de la desinstalación de la estufa actual, el que será acompañado con registros fotográficos.	3	15 días hábiles después de efectuado el último recambio
Capacitación de la operación de la estufa a pellet.	Se entregará a la SEREMI del Medio Ambiente un documento que acredite que el proveedor de estufas efectuó una capacitación para la correcta operación de la estufa a pellet	4	

5 Cronograma

Para efectos de la gestión e implementación de la medida, se estima que la medida estará totalmente operativa desde marzo de 2020, de modo de que se puedan usar a partir de ese invierno.

Las razones que sostienen estos plazos son:

- Se deben evitar trabajos en los meses invierno, debido a que las condiciones meteorológicas pueden afectar la correcta instalación de los caños, anillos y rosetas en las vías de salida de gases. De este modo se busca evitar filtraciones, fisuras y/o problemas operacionales.
- Se propone evitar los trabajos durante la jornada estudiantil a fin de no interferir con ruidos molestos y principalmente, evitar los riesgos a los que los estudiantes y profesores pudieran verse expuestos en el proceso de implementación de la medida.

En este contexto, se propone comenzar con los recambios en los establecimientos durante

el mes de enero, partiendo por la desinstalación de las estufas actuales e instalación de las estufas a pellets. Las actividades de chatarrización y disposición final de los artefactos actuales podrán realizarse en paralelo, a medida que se vayan efectuando los recambios, o bien, de una vez al término de la desinstalación de las estufas actuales.

El cronograma tentativo es el que se presenta a continuación:

Tabla 20 Carta Gantt de actividades

Actividad	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4
Desinstalación de las estufas actuales				
Instalación de estufas a pellets				
Chatarrización de estufas actuales				
Disposición final de chatarra				
Capacitación sobre el funcionamiento de las estufas				

Nota: Los plazos indicados son tentativos