

VIVIENDAS SOCIALES EN TIERRA DEL FUEGO: RESIDUOS FORESTALES PARA CALEFACCIÓN, AGUA CALIENTE SANITARIA Y REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO₂

Alfarano Javier², Luque Vazquez Florencia¹, Moreno Valeria¹, Monasterolo Nicolás¹, Carranza Juan Ignacio¹

¹Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, Grupo de Investigación en Control Avanzado de Procesos y Producción (GICAPP)

²Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Tierra del Fuego
Tel. 2964-651728 – e-mail: jalfarano@frtdf.utn.edu.ar

RESUMEN: Este artículo presenta una solución técnica y sostenible a nivel energético, orientada a la calefacción y Agua Caliente Sanitaria (ACS) para 1.400 viviendas sociales en la provincia de Tierra del Fuego. La propuesta se centra en reducir emisiones de carbono y aprovechar residuos forestales de Tolhuin, clasificada en la zona VI según la Norma IRAM 11.603, con inviernos muy rigurosos y temperaturas mínimas de -16.0°C. En lugar de optar por gas natural, se proponen calderas alimentadas con pellets de madera derivados de biomasa forestal local. Una evaluación técnica detallada de las calderas que consideró potencia térmica, rendimiento y horas de funcionamiento, y teniendo en cuenta la variabilidad en la disponibilidad de pellets, identifica que la implementación podría incrementar en un 2% la cantidad de hogares calefaccionados en la provincia. Esta propuesta no solo tiene el potencial de reducir emisiones de CO₂ y valorizar residuos forestales, sino también de impulsar la economía local y diversificar la matriz energética. A través de este estudio, se establecen bases técnicas para abordar desafíos ambientales y energéticos, promoviendo un enfoque de climatización sustentable frente al cambio climático. Se aclara que el enfoque es energéticamente sostenible, sin abordar aspectos constructivos de las viviendas.

Palabras clave: reducción de emisiones, residuos forestales, energías renovables, calderas a pellets, Tierra del Fuego.

INTRODUCCIÓN

La problemática habitacional en Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur es un tema de alta prioridad, habiéndose declarado la emergencia habitacional, de infraestructura edilicia y equipamiento comunitario, en todo el ámbito de la provincia mediante ley provincial N°1152 en 2017. En medio de esta crisis, el Instituto Provincial de Vivienda adquirió recientemente tierras urbanizadas para la construcción de más de 1.400 viviendas sociales en esta provincia (IPV, 2019). Con la expansión urbana en marcha, se plantea la necesidad de proporcionar servicios esenciales como calefacción y Agua Caliente Sanitaria (ACS) de manera eficiente y sostenible, evitando inversiones costosas en infraestructuras de gas natural.

En este contexto, este trabajo propone un sistema de calefacción y ACS basado en la utilización de residuos forestales de la localidad de Tolhuin, convertidos en pellets de madera, como fuente de energía renovable (kaminoticias, 2021). Esto presenta un esquema de beneficio dual: se abordan parcialmente los desafíos habitacionales y se propone una solución sostenible para los residuos forestales, reduciendo simultáneamente las emisiones de CO₂.

Este trabajo enfatiza la sostenibilidad de la propuesta, que busca reducir tanto la inversión necesaria para infraestructuras de gas como la huella de carbono. Al abordar la necesidad habitacional a través de la calefacción y ACS en viviendas sociales, se pretende que este modelo sirva como punto de partida para futuras políticas y estudios sobre sistemas de calefacción y ACS basados en energías renovables, con el objetivo de contribuir a un futuro más sostenible y equitativo.

METODOLOGÍA

Para llevar a cabo el estudio, se ha adoptado una metodología estructurada en varias fases. Gracias a la ejecución de cada una de estas se pudo realizar un análisis profundo y detallado de la situación actual para luego proyectar la situación futura. En el análisis se incluye el nivel de materia prima para la producción del combustible a través de biomasa, como así también, el requerimiento energético para la calefacción de los hogares en la zona de estudio. Con los estudios preliminares y datos de entrada, se analizó la factibilidad del sistema de calderas a pellets de madera para calefacción y ACS aplicadas en 1.400 viviendas sociales.

Fase 1: Relevamiento inicial

Se realizará un relevamiento exhaustivo de los aserraderos ubicados en Tierra del Fuego con el objetivo de obtener información detallada sobre su capacidad de producción, procesos de fabricación y materias primas utilizadas. Se recopiló de manera prioritaria información relevante sobre su operación y producción.

Fase 2: Proporción de aserraderos y localización de línea de pellets

Los datos del relevamiento servirán para proponer la ubicación ideal de una planta productora de pellets teniendo en cuenta la proporción que cada uno de los aserraderos aportaría al total.

Como herramienta para la definición del baricentro geográfico se trabajará con herramientas de geoposicionamiento como la extensión “GeoCode by Awesome Table”. Esta proporciona un código o script que interpreta direcciones para entregar como output localizaciones en latitud y longitud con el agregado de generar un mapa con las posiciones. El objetivo es interpretar geoméricamente la situación de los aserraderos y avanzar sobre técnicas de baricentro ponderado según la información proporcionada por el gobierno nacional sobre las toneladas producidas.

La obtención del baricentro se realiza mediante ecuación matemática, considerando como variable de ponderación la proporción sobre el total de toneladas que cada aserradero genera.

Fase 3: Rendimiento y producción

Se procederá a estimar la evolución de la disponibilidad de pellets en un horizonte de 10 años. Para lograrlo se analizarán los niveles de desperdicio generados en los aserraderos de la zona y el rendimiento de una línea productiva de pellet.

La obtención de la estimación se realizará mediante un método matemático estadístico en donde se utiliza la función polinómica de los valores.

Fase 4: Determinación de la energía necesaria

Para entender el consumo de pellets que demandará una caldera que esté siendo solicitada en una vivienda social a lo largo de los años de estudio se planteará, como primera instancia, calcular la energía térmica [Kcal/año] requerida para calefaccionar y brindar ACS al hogar.

Se utilizará como base la energía térmica requerida en un hogar tipo de Tierra del Fuego. Se trabajará con datos de ENARGAS para estimar el consumo promedio mensual de gas natural durante el año 2022 en un hogar de Tierra del Fuego (ENARGAS, 2023).

Se utilizará como punto de partida para el análisis investigaciones previas (Alfarano et al., 2021) en donde se revela un desglose del consumo promedio mensual para comprender qué porción se destina en un hogar tipo de Tierra del Fuego a calefacción y ACS. Con base en esta información, las proporciones para cada tipo de consumo de gas natural son calefacción 76,1% ACS 14,84%, cocinar 9,06%.

Además, se calcularán los valores anuales de gas natural que efectivamente son requeridos para climatizar y producir ACS. Para ello, se tendrá en cuenta los rendimientos asociados a equipos promedios correspondientes a una estufa de gas natural y calefón. Los valores considerados contemplan una eficiencia del 60% y 80% respectivamente (Juanicó, 2007; Bezzo et al., 2013).

Por último, debido a que el hogar de estudio del presente artículo contempla a una vivienda que se encuentra por debajo de la media, para determinar la energía térmica requerida que debe entregar la caldera se llevará a cabo una encuesta a distintos usuarios de la provincia de Tierra del Fuego. El objetivo en esta instancia es conocer sus consumos mensuales y la información sobre la superficie de su hogar.

5. Fase 5: Determinación de la cantidad de pellets necesarios

Se analizarán diversos equipos disponibles en el mercado, teniendo en cuenta sus características técnicas, con el fin de determinar si la disponibilidad de pellets atiende a la demanda requerida por las calderas.

Los resultados obtenidos serán cuidadosamente analizados y se realizarán comparaciones de las emisiones de CO₂ generadas por los pellets con otras fuentes de energía utilizadas en la región, en este caso el gas natural.

DESARROLLO

1. Relevamiento inicial

Partiendo de que un de rollizo de madera está definido cómo una pieza de madera cilíndrica con largos que van desde los 2 a los 5 metros que se usan para construir estructuras sencillas donde es necesario desarmar y descortezar el tronco de un árbol para luego cortarlo en las medidas necesarias.

Realizando un análisis inicial de los principales ejemplares que se pueden encontrar en Tierra del Fuego, se llega a un valor de densidad del 0,755 Tn/m³ y volumen específico de 1,3245 m³/Tn del rollizo que se utilizará para los cálculos siguientes.

Utilizando los datos reales de extracción de rollizos desde el año 2015 hasta el año 2021 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación, 2022), se puede observar que la tendencia de extracción es ascendente (Tabla 1)

Tabla 1: Histórico (2015-2021) de extracción de rollizos en Tierra del Fuego.

Año	Cantidad [Tn/Año]	Cantidad [m³/año]	Variación Cantidad [Tn/año]
2015	47.647	63.108	
2016	42.488	56.275	-5.159
2017	48.031	63.617	5.543
2018	54.493	72.176	6.462
2019	56.723	75.130	2.230
2020	52.027	68.910	-4.696
2021	71.725	95.000	19.698

A fin de proyectar la extracción de rollizos a 10 años se ha utilizado una herramienta gráfica cómo lo es el trazado de una recta, donde utilizando los datos reales se graficó la línea de tendencia de los mismos.

Luego se han utilizado dos métodos de estimación, uno por recta lineal y otro por recta polinómica. Y teniendo en cuenta el valor de R² para determinar cuál tiene mayor error respecto a lo que sería una

gráfica lineal. El valor R^2 nos indica cuál función tiene una mejor relación con los datos tomados. Si se aproxima a 1 la relación es mejor (Novales, 2010).

Si se tiene en cuenta la ecuación lineal, se podría obtener un resultado más conservador, pero se cree que con menos precisión por los bajos valores que se dieron en la pandemia del 2020. Es por este motivo principalmente que se ha decidido realizar los cálculos con la función polinómica (valor $p=2$) ya que los valores de proyección son más optimistas (Fig. 1).

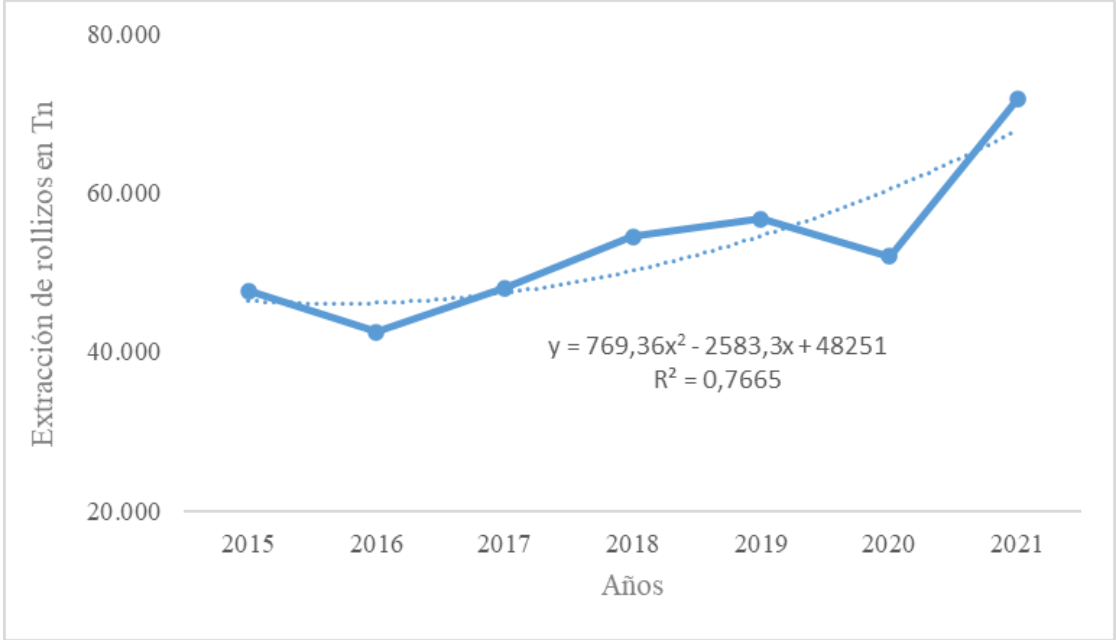


Figura 1: Tendencia función polinómica (valor $p=2$).

Por otro lado, obteniendo el polinomio a partir de los puntos, se puede ver en la Fig. 2 que la función polinómica que representa los valores actuales es de grado 5 (valor $p=5$) (Fig.2).

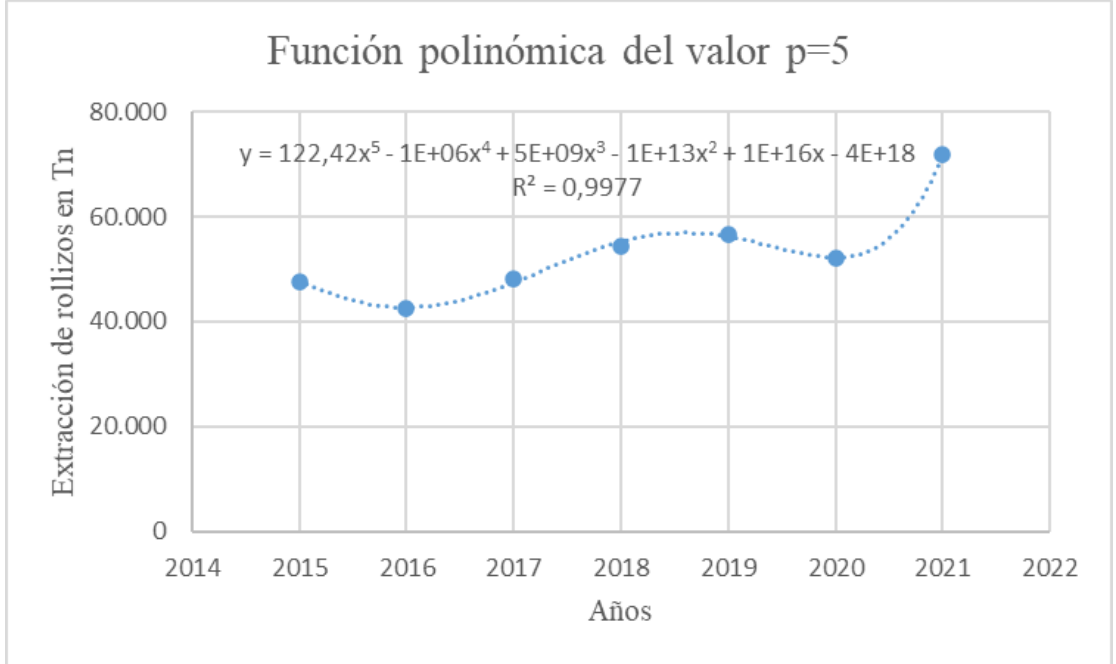


Figura 2: Función polinómica de valor $p=5$

Finalmente se realiza la proyección al año 2033 (con función polinómica valor $p=2$) (Tabla 2).

Tabla 2: Proyección 2022 - 2033 de extracción de rollizos en Tierra del Fuego.

Año	Cantidad [Tn/Año]	Cantidad [m ³ /año]
2022	76.824	101.753
2023	87.319	115.655
2024	99.354	131.594
2025	112.927	149.572
2026	128.039	169.588
2027	144.690	191.642
2028	162.879	215.734
2029	182.608	241.864
2030	203.874	270.032
2031	226.680	300.238
2032	251.024	332.482
2033	276.907	366.764

2. Proporción de aserraderos y Localización de línea de Pellets

Dentro del marco del estudio sobre el uso de pellets como fuente de energía, se persiguió un entendimiento integral del impacto ambiental asociado. Una parte esencial de este análisis se centra en la valorización de los residuos del proceso productivo, transformándolos no solo en un recurso útil para la sociedad, sino también en una vía para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero vinculadas a la calefacción de viviendas.

Sin embargo, es importante subrayar que, aunque no se cuantificaron las emisiones derivadas del transporte de estos insumos en este estudio, este factor no debe ser omitido en futuras evaluaciones. Es crucial considerar tanto el trayecto desde los aserraderos hasta las plantas de pelletización como desde estas últimas hasta los puntos finales de consumo. La razón de destacar esta omisión radica en la premisa de que el análisis parcial de la cadena podría omitir soluciones sustanciales. Cabe mencionar que "a nivel global, el transporte contribuye con el 15% de las emisiones de gases efecto invernadero. En Argentina, ese porcentaje es del 14%, y las emisiones por transporte no muestran signos de reducción." (Marchini, 2022). Estos datos resaltan la necesidad de incorporar la dimensión del transporte en análisis subsiguientes.

En este contexto, aunque las emisiones del transporte no se calcularon en el presente estudio, su importancia en la ecuación global no puede ser subestimada. Por ello, se sugiere como enfoque futuro la centralización de la producción de pellets, considerando especialmente la localización geográfica y la accesibilidad de los aserraderos.

Tabla 3: Proporciones del mercado de aserraderos de TdF

Aserraderos	Ubicación	Proporción
Aserradero 1	Km 2952,7 según Ruta N°3	0,18
Aserradero 2	Km 2953,4 según Ruta N°3	0,08
Aserradero 3	Km 2953,1 según Ruta N°3	0,04
Aserradero 4	Km 2954 según Ruta N°3	0,11
Aserradero 5	Km 2954,8 según Ruta N°3	0,02
Aserradero 6	Km 2955,3 según Ruta N°3	0,02
Aserradero 7	Km 2954,2 según Ruta N°3	0,02
Aserradero 8	Próximo a la estancia Campo Chico	0,38
OTROS	N/A	0,15

Se hizo referencia a diversas fuentes para identificar los aserraderos (Tabla 3), y se realizó una investigación específica en la región de Tolhuin y alrededores (Cárdenas y Meneses, 2014), resultando en una tabla con ubicaciones precisas (Tabla 4).

Tabla 4: Ubicación de aserraderos.

Aserradero	Latitud	Longitud
Aserradero Mansilla	-54.5107766	-67.1929895
Aserradero Van Olphen	-54.5108893	-67.1929895
Aserradero Iguazu Diosnel Fregosini	-54.5145979	-67.1936302
Forestal del Sur	-54.51798607	-67.18703318
Aserradero Guarani	-54.5090007	-67.1898088
Aserradero El Litoral	-54.5176875	-67.1914375
Aserradero EL ARAUCANO	-54.4964062	-67.2124203
Gage Heibeck Sawmill	-54.50583621	-67.17628652
Piedras Y Maderas	-54.51593486	-67.19274124
Lenga Patagonia SA	-54.45404426	-67.20621827
Baricentro Geografico	-54.50960134	-67.18703906

Detallando acerca del baricentro obtenido se puede mostrar cómo el mismo se encuentra en la localidad de Tolhuin, aun así, su emplazamiento resulta en una zona cubierta de vegetación por lo que se plantea como alternativa moverlo al punto geográfico viable más cercano.

Si bien la ubicación reduciría los gastos de transporte en cuanto a las emisiones, no se debe descuidar el otro lado de la movilidad de pellets ya producidos hacia los diferentes puntos de consumo. Se proponen aun sin tener determinaciones de las ubicaciones de las viviendas sociales que se propongan medios de transporte de reparto, generando que el uso de vehículos contaminantes se reduzca al menos en una proporción. Se propone como futuro de la presente investigación un cálculo detallado de emisiones generadas por la movilidad o transporte, incluyendo una valoración de la propuesta anterior y búsqueda de alternativas mejores.

3. Línea de Pellets: Rendimiento y producción

Calculada la extracción de rollizos con una proyección para los próximos 10 años, es posible determinar la cantidad de pellets que se obtendrían debido a los residuos forestales derivados de la fabricación de productos madereros en donde se utiliza como materia prima dichos rollizos. El volumen de Biomasa sólida (Residuos Forestales) estará directamente relacionado con la capacidad productiva de los aserraderos tomados como análisis en la sección previa.

Como primer punto, es necesario conocer el volumen de desperdicios generados a partir del procesamiento de los rollizos. Para ello, se tuvo en cuenta un estudio realizado por el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), el cual determinó el rendimiento de un aserradero promedio para la fabricación de molduras en pino (Maslatón et al., 2011).

La investigación muestra que, del total de rollizo que entra a un aserradero, solo el 29% pasa por las tres etapas de transformación necesarias para producir molduras y tableros alistonados como producto final.

Por lo tanto, aproximadamente un 70% corresponde a desperdicios generados durante el proceso de fabricación de un producto maderero. Esto demuestra la gran cantidad de Residuos Forestales que genera el proceso productivo, a pesar de que estos rendimientos son considerados eficientes y representativos de las mejores prácticas internacionales.

Por medio de un relevamiento que abarcó a pequeñas y medianas empresas madereras en la zona de estudio, se observa la ciudad de Tolhuin como la de mayor actividad forestal. Se determinó que el rendimiento promedio en producto, aserrín y residuo sólido medido en los aserraderos de la Provincia

se encuentra en el orden del 37%, 32% y 31% respectivamente. Esto implica una generación de Residuos Forestales del 63% al año para la región de estudio (Cárdenas y Meneses, 2014).

Por supuesto, la investigación realizada por el INTI, corresponde a un aserradero promedio, la proporción de desperdicios varían según el tipo de aserradero, las transformaciones de la madera que estén involucradas y el tipo de rollizo (en Tierra del Fuego es la Lengua el que es destinado a la industria forestal). Lo cual el 63% resulta ser un valor que se aproxima a la media determinada por el Instituto.

Teniendo en cuenta los desperdicios generados, es posible estimar la cantidad de pellets de madera que se obtendrían del procesamiento de dichos residuos forestales.

El principal factor que define el rendimiento de una línea de pellets de madera, es el contenido de humedad de la materia prima. En promedio, el contenido de humedad de la madera en su estado natural puede ser mayor al 50%, esto depende de la zona y el tipo de árbol del que se esté tratando. Es importante mencionar, que la Lengua (*Nothofagus Pumilio*) presenta una gran característica, la cual tiene que ver con su gran resistencia a la humedad (Gut, 2017), trayendo consigo elevados rendimientos para la producción de pellets.

Considerando diversas investigaciones asociadas al aprovechamiento de Residuos Forestales para la producción de pellets de madera, los porcentajes de humedad de la materia prima (Desperdicios generados), rondan entre el 40-50%, en donde el contenido de humedad del pellet según los estándares establecidos debe ser menor al 12%.

Por lo tanto, esto ha llevado a que, de los estudios realizados previamente, se haya considerado como rendimiento promedio de una línea de pellets de madera el 65% (Bahamondes Levio, 2015; Prado et al., 2017; Aguinalde González et al., 2019).

De esta manera, con los parámetros correspondientes a porcentajes de desperdicios y rendimiento promedio de una línea productiva de pellets que opere en la zona de estudio considerada, es posible estimar la cantidad de pellets que se fabricarán para cada año proyectado en toneladas por año.

Teniendo en cuenta los parámetros definidos previamente, se estimará la disponibilidad de Pellets de Madera para los años de análisis. Es importante diferenciar que del 63% de residuos, 32% corresponde a desperdicios, pero en estado de Aserrín, chips y virutas, lo cual, a diferencia del 31% que forma parte de la Biomasa Sólida (cortezas, despuntes, entre otros), este último requiere de una operación previa en comparación al primero, que corresponde a la Trituración. De esta manera, la materia prima se encuentra apta para pasar a la etapa de molienda con el fin de homogeneizar todo el material.

Tabla 5: Desperdicios generados por aserraderos

Año	Rollizos [m³/año]	Desperdicios generados [m³/año]	Aserrín, chips, virutas [m³/año]	Residuo Sólido [m³/año]	Equivalente Aserrín [Tn/año]	Equivalente en Residuos Sólidos [Tn/año]
2024	131.594	82.904	42.110	40.794	9.475	12.238
2025	149.572	94.230	47.863	46.367	10.769	13.910
2026	169.588	106.840	54.268	52.572	12.210	15.772
2027	191.642	120.734	61.325	59.409	13.798	17.823
2028	215.734	135.912	69.035	66.877	15.533	20.063
2029	241.864	152.374	77.396	74.978	17.414	22.493
2030	270.032	170.120	86.410	83.710	19.442	25.113
2031	300.238	189.150	96.076	93.074	21.617	27.922
2032	332.482	209.463	106.394	103.069	23.939	30.921
2033	366.764	231.061	117.364	113.697	26.407	34.109
Total	2.369.508	1.492.790	758.243	734.548	170.605	220.364

Con los datos obtenidos podemos estimar el total de desperdicios generados por los principales aserraderos considerados para el análisis (Tabla 5), reflejando esos totales en toneladas anuales, teniendo en cuenta que la densidad de la Lengua en estado de aserrín corresponde a 225 kg/m³ y en estado de astilla (Residuos sólidos) 300 kg/m³.

Determinados los Residuos Forestales totales para cada año de estudio y teniendo en cuenta el rendimiento promedio de una línea productiva de pellets de madera en la zona de estudio, podemos estimar las toneladas anuales de pellets de madera disponibles (Tabla 6).

Tabla 6: Toneladas anuales de pellets de madera.

Año	Pellets a partir de aserrín [Tn/año]	Pellets a partir de Residuos Sólidos [Tn/año]	Producción Estimada [Tn/año]
2024	6.159	7.955	14.113
2025	7.000	9.042	16.042
2026	7.937	10.252	18.188
2027	8.969	11.585	20.554
2028	10.096	13.041	23.137
2029	11.319	14.621	25.940
2030	12.637	16.323	28.961
2031	14.051	18.149	32.200
2032	15.560	20.099	35.659
2033	17.165	22.171	39.335
Total	110.893	143.237	254.130

Estimada la producción anual de pellets en función de la disponibilidad de la materia prima, se debe calcular si el combustible obtenido podrá abarcar la demanda que requieren las calderas para climatizar y brindar ACS a las 1.400 viviendas sociales consideradas como objeto de estudio.

4. Determinación de la energía necesaria: Sustitución de Gas Natural

Teniendo en cuenta las características y el contexto socioeconómico de una vivienda social, es esperable que su consumo de gas natural se sitúe por debajo del promedio general de los hogares en Tierra del Fuego.

El poder calorífico del gas natural para uso residencial está normalizado por la Resolución ENARGAS 622/1998 a 9300 Kcal/m³, se calculó que en 2022 un Hogar Tipo de Tierra del Fuego requirió efectivamente **42.829.129 kcal** para climatizar y producir ACS.

Este último valor es de vital importancia, ya que esta Energía Térmica sirve como parámetro de la caldera, en donde debe alcanzar los mismos valores para así considerar que el confort térmico se satisface. Se recuerda que, debido a las dimensiones de una vivienda social, el confort se debería satisfacer con una cantidad menor de Kcal que la de un Hogar Tipo.

Con los datos obtenidos de la encuesta, fue posible conocer un valor aproximado de consumo asociado a un hogar cuyo tamaño se asemeja a la de una vivienda social, donde la demanda asociada corresponde a un hogar de 40 m², el cual fue el que se tomó como referencia para las viviendas sociales (Ministerio de Desarrollo Territorial y Hábitat, 2023).

De esta manera, se pudo determinar que el consumo efectivo promedio de una vivienda social se encuentra por debajo de la media y, por lo tanto, la energía térmica efectiva requerida será menor (Tabla 7).

Tabla 7: Datos fundamentales Hogar Tipo Tierra del Fuego y Vivienda Social.

Hogar de Análisis	Superficie [m ²]	Consumo efectivo promedio mensual del hogar [m ³ /mes]	Energía Térmica efectiva anual requerida para climatización y ACS [Kcal/año]
Hogar Tipo Tierra del Fuego	70	383,77	42.829.129
Vivienda Social	40	213,67	23.845.025

Este último valor es fundamental para la siguiente etapa, ya que él mismo nos indica la energía que debe entregar la caldera para cumplir su respectiva función y, por ende, determinar el consumo de pellets necesario.

5. Determinación de la cantidad de pellets necesarios para alimentar las calderas

En esta sección, se llevó a cabo un análisis exhaustivo de diversas calderas, considerando una serie de parámetros esenciales para determinar la cantidad de pellets necesarios para su funcionamiento. Las calderas a pellet se evaluaron en función de los siguientes criterios:

- **Potencia Térmica Nominal Obtenida [kW]:** Se registró la potencia térmica nominal generada por cada caldera en kilovatios (kW).
- **Potencia Térmica Nominal Entregada [kW]:** Se tomó en cuenta la potencia térmica nominal entregada, teniendo en consideración el rendimiento de la caldera en términos de eficiencia.
- **Potencia Térmica Nominal en [Kcal/hora]:** Se calculó la potencia térmica nominal en unidades de calorías por hora (Kcal/hora) para una mejor comprensión de la capacidad calorífica.
- **Rendimiento de Potencia Nominal:** El rendimiento de la potencia nominal de cada caldera fue considerado en la evaluación.

Se plantearon diversos escenarios considerando las horas de funcionamiento:

- **Horas de Funcionamiento de la Caldera a Potencia Nominal [hs/día]:** Se determinaron las horas diarias durante las cuales la caldera operaría a su capacidad máxima.
- **Horas de Funcionamiento de la Caldera a Potencia Mínima [hs/día]:** Se establecieron las horas diarias en las que la caldera funcionaría a su potencia mínima.

Mediante la aplicación de estos parámetros y la consideración de las horas de funcionamiento previstas, se procedió a evaluar si existía la cantidad suficiente de pellets disponible para alimentar las calderas de manera eficiente.

Los resultados obtenidos revelaron que en todos los casos se disponía de una cantidad adecuada de pellets para satisfacer las necesidades de energía correspondiente a 23.845.02 [Kcal/año] mencionados en la sección 4.

Debido a los diversos tamaños de equipos que se consideraron para el estudio, se seleccionó el modelo Termo Modena de la empresa Ferroli (Ferroli S.p.A., 2023).

Teniendo en cuenta las especificaciones técnicas del equipo considerado (Tabla 8) y que el hogar de análisis es de 40 m², la caldera para llegar a la energía necesaria estaría funcionando a un 27% de su capacidad máxima.

Tabla 8: Datos caldera termo Modena.

Caldera a Pellet	Potencia Térmica Nominal obtenida [kW]	Potencia Térmica Nominal Entregada [kW]	Potencia Térmica Nominal en [Kcal/hora]	Rendimiento Potencia Nominal	Superficie máxima de climatización [m ²]
TERMO MODENA	12,70	11,59	9.975,57	0,91	98,00

Además, se llevó a cabo un control específico basado en la disponibilidad de pellets proyectada para el año 2024. Esta evaluación permitió determinar si se contaría con la cantidad necesaria de pellets en dicho período. En función de esta evaluación, se identificó el siguiente escenario:

- Cantidad Acorde: Se constató que, para la caldera elegida, la cantidad proyectada de pellets sería adecuada para respaldar su funcionamiento en los 1400 hogares de estudio durante el año 2024. Incluso con un sobrante de pellets de 5.611 Tn.

Considerando que actualmente existen aproximadamente 57.770 hogares (elaboración propia en base a (INDEC, s. f.)) en la provincia de Tierra del Fuego, esta cantidad de viviendas corresponden a un 2% del total en la provincia.

Este análisis de la cantidad de pellets requeridos desempeña un papel fundamental en la planificación y ejecución de la transición hacia sistemas de calefacción y ACS basados en energías renovables, permitiendo tomar decisiones informadas para garantizar un suministro energético sostenible y eficaz en la región de Tierra del Fuego.

Llegando al resultado de que la implementación de este tipo de caldera en hogares de 40 m² podrían dar energía a un mayor número de hogares, en este caso de 2.300.

Ahora considerando el hogar tipo Tierra del Fuego de 70 m², se puede concluir que la caldera utilizada anteriormente llegaría a abastecer 835 hogares que representan un menor número que los planteados inicialmente debido a la insuficiencia de pellets. Cabe destacar que en este caso trabajaría a 75% de su capacidad máxima.

Y, por último, teniendo en cuenta que las emisiones generadas por la caldera a pellets se consideran nulas, se puede decir que en 1400 hogares se estarían eliminando 19.873 [TneqCO₂]. Para realizar este cálculo, se planteó un escenario en el que se examinaron las emisiones potenciales que serían generadas por 1400 hogares y se tuvo en cuenta un factor de emisión basado en el consumo de Gas Natural (GN). A partir de este cálculo, se derivó el valor de emisiones de CO₂ equivalente. Es fundamental señalar que las emisiones producidas por la caldera que utiliza pellets son consideradas nulas, ya que se basan en biomasa, un recurso renovable. Sin embargo, cabe destacar que este estudio centró su atención exclusivamente en las emisiones generadas por el consumo energético directo, dejando fuera factores asociados al transporte y otros elementos relacionados con la cadena de valor. De esta manera, el valor obtenido de 19.873 [TneqCO₂] se focaliza en emisiones directas y no incluye emisiones asociadas a etapas previas o posteriores del proceso. Es importante mencionar que los valores y factores de conversión utilizados en este análisis son preexistentes y están basados en estándares reconocidos en la industria.

CONCLUSIONES

En el presente estudio, se propone una solución innovadora y sustentable para enfrentar las emisiones de carbono y el aprovechamiento de residuos forestales en la región de Tierra del Fuego, mediante la implementación de sistemas de calefacción y Agua Caliente Sanitaria (ACS) que se fundamentan en energías renovables. La transición de equipos convencionales de gas natural a calderas a pellets de madera marca un avance importante hacia la reducción de la huella de carbono y la optimización de recursos naturales. Este estudio ofrece un análisis exhaustivo en términos de viabilidad técnica, económica y ambiental, y propone un marco para adaptar la solución en otras regiones con desafíos análogos.

La evaluación metódica de diversas calderas, tomando en cuenta parámetros esenciales como la potencia térmica, el rendimiento y las horas de funcionamiento, brinda una perspectiva completa sobre las necesidades energéticas y la viabilidad técnica de la propuesta. El análisis destaca que, aunque en ciertos contextos existe una cantidad apropiada de pellets para alimentar las calderas, en otros se evidencia una carencia en la disponibilidad de estos. Este hallazgo subraya la necesidad de una administración eficaz de los recursos y una planificación estratégica para asegurar un suministro energético constante y fiable.

La propuesta no solo promueve un impacto ambiental positivo, reduciendo las emisiones de CO₂ y valorizando los residuos forestales, sino que también trae consigo beneficios económicos y sociales. La utilización de biomasa forestal como recurso energético incentiva la generación de empleo en la región, fortaleciendo su economía, y a la vez, potencia la autosuficiencia y diversificación energética.

Es imperativo subrayar que para que esta propuesta sea exitosa se requiere de una colaboración estrecha entre el Gobierno de Tierra del Fuego, la industria maderera, comunidades locales y otros actores clave. Adicionalmente, es vital asegurar una gestión sostenible de la biomasa forestal para prevenir impactos adversos en los ecosistemas locales. Esta gestión sostenible no solo beneficia al medio ambiente, sino que también potencia la economía local y la independencia energética de la región.

En resumen, este estudio presenta una estrategia integral y viable para enfrentar retos ambientales y energéticos en Tierra del Fuego. La adopción de sistemas renovables no solo representa un paso hacia la conservación y sostenibilidad, sino que también establece un camino más resiliente en el combate al cambio climático.

REFERENCIAS

- Aguinalde González, X., Garry, J. M., Pucciarelli, I. E., & Rodríguez Bosque, J. M. (2019). Producción de pellet de madera a base de residuos y subproductos de la industria forestal [UTN-FRLP].
- Alfarano, J., Pereyra, G., Martina, N., & Moreno, V. K. (2021). Impacto de la aplicación de buenas prácticas en el uso de calefacción tradicional y renovable en la Patagonia Argentina. En COINI 2020—XIII Congreso Internacional de Ingeniería Industrial (pp. 63-74). edUTecNe.
- Bahamondes Levio, M. (2015). Formulación y evaluación de proyecto de fábrica de pellets de madera en la región de Los Lagos [Universidad Austral de Chile].
- Bezzo, E. J., Bermejo, A., Cozza, P. L., Fiora, J. A., Maubro, M. A., Prietoy, R., & Gil, S. (2013). Eficiencia de calefones—Importancia de los consumos pasivos. Encuentro Latinoamericano de Uso Racional y Eficiente de la Energía, Buenos Aires.
- Cárdenas, E., & Meneses, C. (2014). Generación de energía eléctrica a partir de biomasa forestal [Proyecto Final]. UTN-FRRG.
- ENARGAS. (2023). Datos Abiertos. Datos operativos de Transporte y Distribución de Gas. Dirección URL: <<https://www.enargas.gov.ar/secciones/transporte-y-distribucion/datos-operativos.php>> [consulta: 13 de agosto de 2023].
- Ferrolí S.p.A. (2023). TERMO MODENA [Ficha Técnica]. En www.ferroli.com/media/ficha-tecnica-termo-modena.pdf Recuperado de URL el 13 de agosto de 2023.
- Gut, B. (2017). Árboles nativos e introducidos en Patagonia. Vásquez Mazzini Editores.
- INDEC. (s. f.). INDEC: Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina. Recuperado 14 de septiembre de 2023, de <https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel3-Tema-2-41>
- IPV. (2019, febrero 15). Avanza la urbanización de 1.400 lotes para vecinos de Río Grande. En <http://www.ipvtdf.gov.ar/#!/noticias/avanza-la-urbanizacion-de-1-400-lotes-para-vecinos-de-rio-grande> Recuperado de URL el 13 de agosto de 2023.
- Juanicó, L. (2007). Eficiencia de calefactores a gas de tiro balanceado: Medición e impacto en usuarios residenciales. *Interciencia*, 32(12), 854-856.
- kaminoticias. (2021, septiembre 30). Proyecto de Ley para transformar los residuos forestales en material combustible para calefaccionar los hogares de la provincia de Tierra del Fuego Antártida e Islas del Atlántico Sur. Kaminoticias. En <https://kaminoticias.ar/proyecto-de-ley-para-transformar-los-residuos-forestales-en-material-combustible-para-calefaccionar-los-hogares-de-la-provincia-de-tierra-del-fuego-antartida-e-islas-del-atlantico-sur/> Recuperado de URL el 13 de agosto de 2023.
- Marchini, T. (2022). Clima. El Gato y La Caja. En <https://elgatoylacaja.com/clima/indice> Recuperado de URL el 13 de agosto de 2023.

- Maslatón, C., González, A. L., & Miño, A. (2011). Pellets de madera para usos energéticos (Cifras para pensar, p. 6). Instituto Nacional de Tecnología Industrial.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación. (2022). Anuario de Estadística Forestal: Productos primarios, carbón y durmientes. Productos manufacturados. Incendios Forestales. Comercio exterior. (2022.^a ed.). En <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/bosques/estadistica-forestal> Recuperado de URL el 13 de agosto de 2023.
- Ministerio de Desarrollo Territorial y Hábitat. (2023). Modelos de Vivienda | Argentina.gob.ar. En <https://www.argentina.gob.ar/habitat/modelos-de-vivienda> Recuperado de URL el 13 de agosto de 2023.
- Novales, A. (2010). Análisis de Regresión. En <https://www.ucm.es/data/cont/docs/518-2013-11-13-Analisis%20de%20Regresion.pdf> Recuperado de URL el 13 de agosto de 2023.
- Prado, J. B., Gostuski, L., Mosteiro, M. L., Rodríguez Padilla, M. L., & Crosta Blanco, P. (2017). Instalación de una planta de pellets de madera [Instituto Tecnológico de Buenos Aires - ITBA]. En <http://ri.itba.edu.ar/handle/123456789/1206> Recuperado de URL el 13 de agosto de 2023.

SUSTAINABLE HOUSING IN TIERRA DEL FUEGO: USING FORESTRY WASTE FOR HEATING, DOMESTIC HOT WATER, AND CO₂ EMISSION REDUCTION

ABSTRACT: This article presents a technical and energy-sustainable solution aimed at heating and Domestic Hot Water (DHW) for 1,400 social housing units in the province of Tierra del Fuego. The proposal focuses on reducing carbon emissions and leveraging forestry waste from Tolhuin, classified in zone VI according to the IRAM 11.603 standard, with harsh winters and minimum temperatures of -16.0°C. Instead of choosing natural gas, boilers powered by wood pellets derived from local forestry biomass are proposed. A detailed technical evaluation of the boilers, considering thermal power, performance, and operating hours, and taking into account the variability in pellet availability, indicates that implementation could increase the number of heated homes in the province by 2%. This proposal not only has the potential to reduce CO₂ emissions and valorize forestry waste but also to boost the local economy and diversify the energy matrix. Through this study, technical foundations are established to address environmental and energy challenges, promoting a sustainable heating approach in the face of climate change. It is clarified that the approach is energy sustainable, without addressing constructive aspects of the housing.

Keywords: emission reduction, forestry waste, renewable energy, pellet boilers, Tierra del Fuego.