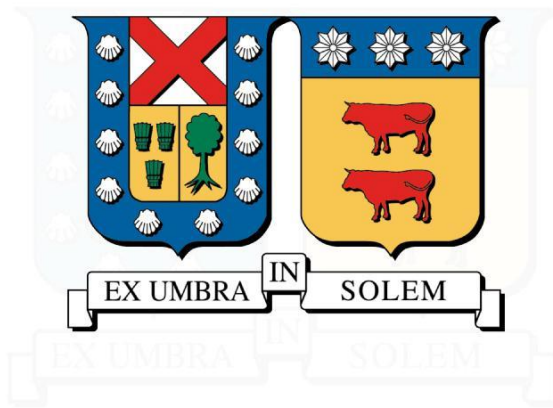


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS
SANTIAGO - CHILE



ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICO ECONÓMICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA PARA LA PISCINA TEMPERADA MUNICIPAL DE SAN BERNARDO A PARTIR DE LA VALORIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS.

DAMIÁN ÁLVARO CAMPOS PAREDES

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

PROFESOR GUÍA : SRA. MARÍA PILAR GÁRATE

SANTIAGO, CHILE

2018

RESUMEN EJECUTIVO

El crecimiento y desarrollo de la población en las ciudades trae consigo problemas medio ambientales, dentro de los cuales se encuentra el manejo y disposición de los residuos sólidos domiciliarios, la Región Metropolitana no está exenta a este problema, donde la generación indiscriminada de residuos puede originar riesgos para la salud en la ciudadanía y problemas en su entorno, que se traducen en contaminación de aguas superficiales, aguas subterráneas, de suelos y del aire.

Los antecedentes recopilados para el desarrollo de este proyecto describen el origen de los residuos sólidos, contemplando su composición y procesos de tratamiento. A su vez, se señala la situación actual en Chile y de la Región Metropolitana en cuanto a los niveles de generación de RSU, políticas públicas, procesos de manejo y disposición final.

De lo anteriormente señalado surge la necesidad de aplicar una estrategia que permita el correcto manejo de los residuos sólidos urbanos, utilizando tecnologías que permitan aprovecharlos como material energético.

El objetivo de este trabajo es evaluar la factibilidad técnica y económica de implementar una caldera de biomasa a partir de residuos sólidos domiciliarios dirigidos a la producción de agua caliente para la piscina temperada municipal de la comuna de San Bernardo para disminuir los costos de mantenimiento y operacionales del establecimiento.

Se utilizó la metodología de evaluación de proyectos para resolver la problemática de este estudio, donde se determinó la cantidad de residuos que origina la comuna de San Bernardo. Debido a la poca información actualizada con respecto al reciclaje en Chile, se toma como premisa que la composición de los residuos domiciliarios no ha variado en los últimos años y se tomó como base los datos proporcionados por el primer reporte del manejo de residuos sólidos en Chile publicado en el año 2010. A partir de esta información, se determina la fracción orgánica y se calcula el aporte de energía anual de éstos, siendo su valor igual a 52.913 MWh. Luego, se realiza el balance energético para la piscina temperada de la comuna de San Bernardo, mediante la evaluación de las pérdidas de calor que presenta el recinto deportivo con el fin de evaluar la demanda energética del vaso de la piscina.

Se calculó la cantidad de energía que requiere la piscina municipal de San Bernardo, siendo ésta igual a 1.534 MWh al año, valor que es menor a la cantidad de energía que proporciona la materia orgánica proveniente de los residuos sólidos domiciliarios de dicha comuna, por lo que este proyecto es autoabastecible a nivel comunal.

Posteriormente se realizó la evaluación económica y social. Para el primero, se utilizó la norma ASTM E917, herramienta que se utiliza evaluar proyectos de eficiencia energética que no poseen ingresos por venta y consiste en traer al presente los valores de las diversas anualidades futuras: costos de operación, costo de energía y costos de reemplazo de algún accesorio u equipo, lo que sumado a la inversión inicial se obtiene el costo total del proyecto traído al presente. Para el segundo, se identificaron los beneficios sociales que poseen los proyectos que utilizan las energías renovables no convencionales.

Finalmente, el presente trabajo muestra la factibilidad técnica y económica de implementar una caldera de biomasa a partir de la fracción orgánica de residuos sólidos domiciliarios dirigidos a la producción de agua caliente para la piscina temperada municipal de la comuna de San Bernardo, donde a través de la norma ASTM E917 se calculó el ahorro de los costos al cabo de 20 años (correspondiente al horizonte de evaluación), siendo éste igual a 439.744.700 CLP. A su vez, también existe el ahorro correspondiente a la disposición de los residuos domiciliarios en el vertedero Santa Marta, siendo éste un valor de 26.613.665 CLP anuales.

ABSTRACT

The growth and development of the population in the cities carry with environmental problems, being one of them the management and disposal of municipal solid waste. The Metropolitan Region is not exempt from this problem, where the indiscriminate generation of waste can originate health risks and environmental problems, which result in polluted surface water, groundwater, soil, and air.

The compiled record collected for the development of this project describes the origin of solid waste, contemplating its composition and treatment processes. Besides, the current situation in Chile and the Metropolitan Region is presented in terms of generation levels of MSW, public policies, management processes, and final disposal.

From the above mentioned, there is a need to apply a strategy that allows the proper management of the municipal solid waste, applying technologies that allow them to be used as energy material.

The objective of this work is to evaluate the technical and economic feasibility of implementing a biomass boiler using municipal solid waste to provide hot water for the municipal indoor swimming pool of the municipality of San Bernardo in order to reduce the maintenance and operational costs of the facility.

The project evaluation methodology was used to solve the problem of this study, in which the amount of waste originating in the San Bernardo district was determined. Due to the lack of information regarding recycling in Chile, it is taken as a premise that the composition of municipal solid waste has not changed in recent years and was based on the data provided by the first report of solid waste management in Chile published in 2010. Based on this information, the organic fraction is determined and the annual energy contribution of these residues are calculated, which value is 52,913 MWh. Furthermore, the energy balance for the indoor swimming pool of the municipality of San Bernardo is determined, by evaluating the heat losses that the sports center presents in order to evaluate the energy demand of the pool's vessel.

The amount of energy required by the indoor swimming pool of San Bernardo was calculated, being 1,534 MWh per year, which is lower than the amount of energy provided by the organic

matter coming from the municipal solid waste of the municipality, that means this project is self-sufficient at a communal level.

Subsequently, the economic and social evaluation was carried out. For the first, the ASTM E917 standard was applied, which is used to evaluate energy efficiency projects that don't have sales income and consists of bringing to the present the values of the various future annuities: operating costs, energy costs and costs of replacement of any accessory or equipment. All of them added to the initial investment present the total cost of the project – brought to the present –. For the second part, the social benefits of projects that bring the use of non-conventional renewable energies were identified.

Finally, the present work shows the technical and economic feasibility of implementing a biomass boiler from the organic fraction of municipal solid waste directed to the production of hot water for the indoor swimming pool of the municipality of San Bernardo, where through The ASTM E917 standard was used to calculate cost savings after 20 years (corresponding to the evaluation horizon), which presents 439,744,700 CLP. Besides, it also exists savings in the disposal of municipal solid waste for the Santa Marta landfill, which is CLP 26,613,665 per year.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I.....	1
1.1 ANTECEDENTES GENERALES.....	2
1.2 OBJETIVOS	3
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	4
1.4 IMPACTO DEL PROYECTO.....	5
CAPÍTULO II.	6
2.1 SITACUIÓN ACTUAL EN CHILE.....	7
2.2 MANEJO DE LOS RESIDUOS EN CHILE.....	8
2.2.1 VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS.	11
2.3 PLAN SANTIAGO RECICLA.....	13
2.4 MANEJO Y GESTIÓN DE RESIDUOS A NIVEL LOCAL.....	15
2.5 MARCO TEÓRICO	16
2.5.1 LA BIOMASA	16
2.5.1.1 FUENTES DE BIOMASA	17
2.5.2 PLANTACIONES ENERGÉTICAS	17
2.5.3 RESIDUOS FORESTALES	18
2.5.4 DESECHOS Y RESIDUOS	18
2.5.4.1 TIPOS DE DESECHOS.....	19
2.5.4.1.1 DESECHOS AGRICOLAS	19
2.5.4.1.2 DESECHOS INDUSTRIALES	20
2.5.4.1.3 DESECHOS URBANOS	20
2.5.5 ALGUNAS CARACTERISTICAS DE LA BIOMASA	20
2.5.6 TIPO DE BIOMASA	21
2.5.7 COMPOSICIÓN QUÍMICA Y FÍSICA.....	21
2.5.8 CONTENIDO DE HUMEDAD	22
2.5.9 PORCENTAJE DE CENIZAS	23
2.5.10 PODER CALÓRICO.....	23
2.5.11 DENSIDAD APARENTE	24
2.5.12 LA BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGÍA	24
2.5.13 USO DE LA BIOMASA.....	25
2.5.14 PROCESOS DE CONVERSIÓN.....	26

2.5.14.1 PROCESO DE COMBUSTIÓN DIRECTA	26
2.5.14.2 PROCESOS TERMOQUIMICOS	27
2.5.14.2.1 PIRÓLISIS	27
2.5.14.2.2 GASIFICACIÓN	28
2.5.14.2.3 PROCESOS BIOQUÍMICOS	29
2.5.14.2.4 PROCESOS ANAERÓBICOS	29
2.5.14.2.5 PROCESOS AERÓBICOS	29
2.5.15 VENTAJAS Y DESVENTAJAS	31
2.5.15.1 VENTAJAS	31
2.5.15.2 DESVENTAJAS	32
2.6 RESIDUOS SOLIDOS URBANOS (RSU).	32
2.6.1 CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS	33
2.6.1.1 CLASIFICACIÓN POR ESTADO	33
2.6.1.2 CLASIFICACIÓN POR ORIGEN	33
2.7 PROPIEDADES DE LOS RSU	35
2.7.1 ANÁLISIS FÍSICO	35
2.7.2 PUNTO DE FUSIÓN	36
2.7.3 ANÁLISIS ELEMENTAL	36
2.7.4 CONTENIDO ENERGÉTICO	37
2.8 DISPOSICIÓN Y TRATAMIENTO DE LOS RSU	37
2.8.1 GENERACIÓN	37
2.8.2 RECOLECCIÓN	37
2.8.3 TRANSPORTE	38
2.8.4 TRATAMIENTO	38
2.8.5 CENTRO DE ACOPIO	38
2.8.6 RELLENO SANITARIO	38
2.9 VALORIZACIÓN ENERGÉTICA	39
2.10 TIPOLOGÍA DE PROYECTOS DE VALORIZACIÓN DE RESIDUOS	41
2.10.1 PLANTA DE COMPOSTAJE	42
2.10.2 PLANTA DE INCINERACIÓN	42
2.10.3 PUNTO VERDE	43
2.10.4 PUNTO LIMPIO	43
2.10.5 PLANTA DE TRANSFERENCIA	43
2.10.6 CENTRO DE ACOPIO	43

2.11 VALORIZACIÓN ENERGÉTICA POR MEDIO DE LA INCINERACIÓN	43
2.12 CALDERA DE BIOMASA	44
2.12.1 PELLETS Y BRIQUETAS	45
2.12.2 PODER CALORÍFICO DE LOS PELLETS Y BRIQUETAS	46
2.13 TORREFACCIÓN.....	47
2.13.1 PRODUCTOS DE LA TORREFACCIÓN	48
2.14 TRANSFERENCIA DE CALOR	50
2.14.1 CONDUCCIÓN.....	50
2.14.2 CONVECCIÓN.....	51
2.14.3 RADIACIÓN	52
CAPITULO III.....	53
3.1 ANTECEDENTES Y DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	54
3.1.1 IDENTIFICACION DEL PROBLEMA	54
3.1.2 SOLUCIÓN PROPUESTA	55
3.2 DIAGNÓSTICO INICIAL Y SELECCIÓN DEL CASO ESTUDIO.....	55
3.2.1 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	55
3.2.2 SELECCIÓN DEL CASO ESTUDIO	56
3.2.2.1 ÁREA DE ESTUDIO	56
3.2.2.2 DEMANDA ACTUAL Y PROYECTADA	56
3.2.2.3 DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD ACTUAL DE RESIDUOS VALORIZABLES .	57
3.2.2.4 PROYECCIÓN DE LA CANTIDAD DE RESIDUOS VALORIZABLES.....	58
3.2.3 DEMANDA ENERGÉTICA DE LA PISCINA TEMPERADA DE SAN BERNARDO	59
3.2.3.1 CÁLCULO DE LA DESHUMIFICACIÓN DEL AIRE.....	59
3.2.3.2 PÉRDIDAS DE CALOR DEL AGUA DEL VASO DE LA PISCINA	61
3.2.3.3 PÉRDIDAS POR EVAPORACIÓN DEL AGUA DEL VASO.....	62
3.2.3.4 PÉRDIDA POR RADIACIÓN.....	63
3.2.3.5 PÉRDIDAS POR CONVECCIÓN DE CALOR	64
3.2.3.6 PÉRDIDAS POR RENOVACIÓN DEL AGUA DEL VASO.	65
3.2.3.7 PÉRDIDA POR TRANSMISIÓN.....	66
3.2.3.8 RESUMEN DE PÉRDIDAS EN EL VASO DE LA PISCINA.....	68
3.2.3.9 POTENCIA NECESARIA PARA LA PUESTA EN MARCHA.	68
3.2.3.10 CÁLCULO DE CALENTAMIENTO DE AGUA CALIENTE SANITARIA (ACS)	69
3.2.3.11 PÉRDIDA DE CALOR POR CERRAMIENTO.	71

3.2.3.12 PÉRDIDA DE CALOR POR RENOVACIÓN/VENTILACIÓN CON AIRE EXTERIOR.....	73
3.2.3.13 CÁLCULO DEL CAUDAL MÍNIMO DE VENTILACIÓN.....	74
3.2.3.14 RESUMEN BALANCE ENERGÉTICO TOTAL DENTRO DEL RECINTO DEPORTIVO.	75
CAPÍTULO IV	77
4.1 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA SITUACIÓN BASE	80
4.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA SITUACIÓN CON PROYECTO	81
4.3 EVALUACIÓN SOCIAL DEL PROYECTO	82
4.3.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS BENEFICIOS	83
4.3.1.1 POR MENOR DISPOSICIÓN EN RELLENOS SANITARIOS	83
4.3.1.2 POR VENTA DE RESIDUOS VALORIZADOS Y/O POR AHORRO DE COSTOS EN PROCESOS INTERNOS	84
4.3.1.3 POR AHORRO DE ENERGÍA EMPLEADA EN PROCESOS INTERNOS	84
4.3.1.4 POR AHORRO EN EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO	85
4.3.1.5 POR MENORES TASAS DE MORBILIDAD	86
4.3.1.6 POR MAYOR INFORMACIÓN Y CONCIENCIA AMBIENTAL.....	86
4.3.1.7 POR MENOR EXPLOTACIÓN DE RECURSOS NATURALES.....	86
CAPITULO V	87
REFERENCIAS.....	91
ANEXOS.....	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Tasa de valorización por tipo de residuo en Chile.....	12
Figura 2: Valor calorífico en función de la humedad relativa.....	23
Figura 3: Pirólisis y sus productos.	27
Figura 4: Gasificación y sus productos.	28
Figura 5: Procesos bioquímicos y físicos de conversión de biomasa en energía.	30
Figura 6: Triángulo de Gestión Sustentable	39
Figura 7: Fenómenos producidos en materiales lignocelulósicos durante la torrefacción	48
Figura 8: Productos obtenidos de la torrefacción de biomasa	49
Figura 9 Caracterización de RSD.....	58
Figura 10: Esquema de las pérdidas de calor.	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Generación de residuos sólidos en Chile.....	7
Tabla 2: Resumen marco legal y regulatorio relativo al manejo de residuos en Chile.	10
Tabla 3: Comunas adheridas al Plan de Acción Santiago Recicla.....	15
Tabla 4: Estados típicos de la biomasa- *HR: Humedad relativa	22
Tabla 5: Composición de los RSU	36
Tabla 6: Algunos tipos de proyectos de valorización.....	42
Tabla 7: Cantidad de residuos sólidos domiciliarios en la comuna del San Bernardo.	57
Tabla 8: Humedad absoluta del aire saturado.	61
Tabla 9: Pérdida de calor por renovación.	66
Tabla 10: Pérdidas de calor por transmisión.....	67
Tabla 11: Resumen de las pérdidas de calor del agua de la piscina.....	68
Tabla 12: Demanda de ACS mensual del recinto deportivo.....	71
Tabla 13: Pérdidas de calor en los cerramientos del recinto deportivo.	73
Tabla 14: Pérdidas de calor por renovación/ventilación dentro del recinto deportivo.	75
Tabla 15: Resumen pérdidas de Calor dentro del recinto deportivo.....	76
Tabla 16: Evaluación económica del sistema situación base (elaboración propia)	81
Tabla 17: Evaluación económica del sistema situación base (elaboración propia)	82

CAPITULO I

ANTECEDENTES GENERALES

1.1 ANTECEDENTES GENERALES

El gran crecimiento económico y social que se ha experimentado durante los últimos años ha producido un grave problema de déficit energético que afecta día a día. Las principales fuentes energéticas que abastecen actualmente son el petróleo y el gas natural, provenientes de importaciones y tratados con otros países, que siempre están sujetas a inestabilidades internacionales, lo cual esta dependencia podría producir severas consecuencias para el desarrollo del país. (Haristory, 2014)

Para la mayoría de la población mundial, las formas más familiares de energía renovable son las que provienen del sol y del viento. Sin embargo existen otras fuentes, como por ejemplo de biomasa, que corresponden a la leña, carbón de leño, cascarilla de arroz, que proveen un alto porcentaje de la energía consumida en el mundo y tienen potencial para suplir mayores volúmenes.

El término biomasa se refiere a toda la materia orgánica que proviene de árboles, plantas y desechos de animales que pueden ser convertidos en energía; o las provenientes de la agricultura (residuos de maíz, café, arroz), del aserradero (podas, ramas, aserrín, cortezas) y de los residuos urbanos (aguas negras, basura orgánica y otros). Ante esta realidad, de dependencia e inestabilidad, es de primera necesidad buscar nuevas alternativas de fuentes de energías renovables no convencionales (ERNC); como por ejemplo la Biomasa. (Bun-Ca, 2002)

Así mismo, debido al acelerado crecimiento económico, actualmente nos vemos enfrentados a otro problema social: el manejo de los residuos sólidos urbanos. En los últimos años nuestro país ha alcanzado un nivel de disposición de residuos domiciliarios en rellenos con garantías sanitarias y ambientales cercano al 60%. Esta cifra involucra un importante avance en la materia, sin embargo, existen diversas áreas en las que es necesario mejorar. Es fundamental que como país se deje de ver los residuos sólo como basura, como un tema de vertederos y rellenos sanitarios. Los residuos son más que eso, son una materia prima; son la fuente de trabajo de un sector que ayuda considerablemente al medio ambiente, como son los recolectores; son una fuente de energía; y lo más importante: los residuos son elementos que podemos reducir, reutilizar y reciclar en nuestra vida diaria. (Conama, 2010)

No es difícil concebir que ante la presencia de estas dos problemáticas que nos afectan en la actualidad, como lo son el déficit energético y la gran cantidad de residuos urbano, podamos encontrar como forma de mitigación a estos problemas.

En la comuna de San Bernardo, ubicado a 20km de la ciudad de Santiago, se encuentra instalada la piscina temperada municipal, que fue inaugurada el 21 de Septiembre del 2012. No obstante, en el último tiempo su sistema térmico de producción de agua caliente ha presentado múltiples fallas, por lo que se propone la posibilidad de instalar una caldera de biomasa a partir de residuos sólidos domiciliarios, la cual permitirá aprovechar los recursos de energía renovable no convencional, disminuyendo la problemática del manejo de los residuos domiciliarios de dicha comuna.

¿Existe una forma de darle valor a los residuos domiciliarios? ¿Qué propiedades posee la biomasa para ser considerada una alternativa energética?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la factibilidad técnica y económica de implementar una caldera de biomasa a partir de residuos sólidos domiciliarios dirigidos a la producción de agua caliente para la piscina temperada municipal de la comuna de San Bernardo para disminuir los costos de mantenimiento y operacionales del establecimiento.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar datos estadísticos acerca de los residuos sólidos domiciliarios en la comuna de San Bernardo para reconocer el tipo de desecho que presenta dicha comuna a través de estudios realizados por organismos estadísticos.
- Determinar una mezcla de residuos sólidos domiciliarios eficiente a partir de su potencial energético para maximizar el poder calorífico de la biomasa mediante búsqueda bibliográfica.

- Estudiar tratamientos realizados a los residuos de modo de aumentar su capacidad calorífica mediante estudios previos desarrollados por terceros para ser implementados de manera eficiente en la caldera de biomasa.
- Determinar los costos de un pre tratamiento de los residuos previo a su uso por parte de la caldera de Biomasa para estimar la factibilidad económica mediante herramientas de evaluación económica.
- Determinar los costos de inversión, implementación y funcionamiento del proyecto para estimar la viabilidad del estudio mediante herramientas de evaluación económica.
- Determinar los beneficios sociales y ambientales del proyecto para la municipalidad de San Bernardo para analizar la conveniencia de implementar la caldera de biomasa en la piscina temperada municipal mediante técnicas analíticas de costo-beneficio.

1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Los residuos sólidos urbanos (RSU) comprenden todos los desechos provenientes de las actividades humanas, por lo tanto se puede decir que los residuos sólidos son una consecuencia de la vida, de modo que la proporción en la que ésta aumenta afecta directamente la producción de residuos generando mayor contaminación ambiental.

Por otro lado, la alta demanda a nivel mundial de los combustibles fósiles escasos ha provocado que los países avancen en la búsqueda de nuevas tecnología, sustituyendo parte de sus demandas energéticas actuales mediante el uso de las energías renovables no convencionales (ERNC). En Chile se define como fuentes de ERNC a la eólica, la pequeña hidroeléctrica (centrales hasta 20 MW), el biogás, la geotermia, la solar, la energía de los mares y la biomasa, donde en esta última se encuentran los RSU, el cual es utilizada mediante tecnologías de incineración para la producción de energía y calefacción.

Es por esto que la implementación de este proyecto contribuirá en la disminución del volumen de los desechos que serán utilizados para la generación de calor, donde la sociedad tendrá un mayor bienestar al vivir en una ciudad más limpia y con menor contaminación, reduciendo a su vez el riesgo de plagas y la prevención de enfermedades.

1.4 IMPACTO DEL PROYECTO

La implementación de una caldera de biomasa que utiliza la fracción orgánica proveniente de residuos sólidos urbanos será un avance en materia energética y social para la comuna de San Bernardo ya que se reemplazará el actual sistema de calefacción de la piscina temperada de dicha comuna, que utiliza energía eléctrica, por una fuente energética limpia e ilimitada, solucionando parte del problema de la contaminación urbana.

La caldera de biomasa proveerá la energía necesaria para abastecer la climatización del recinto en estudio, permitiendo la valorización de los residuos orgánicos, entregando una solución de manejo integral y sustentable de los desechos urbanos para Chile, tanto en términos ambientales, sociales como energéticos.

En cuanto a los principales grupos que se verían beneficiados se incluyen:

- Sociedad civil en general, ya que mejorará la calidad de vida de los habitantes por un apropiado manejo de los residuos sólidos urbanos.
- Municipio, pues ahorrarán en los costos de transporte en la disposición final de los residuos hacia el vertedero Santa Marta. A su vez, disminuirán los costos de operación y mantenimiento en la piscina temperada.
- Relleno Sanitario Santa Marta, pues se prolongará la vida útil de éste ya que los residuos sólidos no depararán en el vertedero.
- Recolectores informales: pues es posible formalizar su trabajo, incorporando a estos en esta actividad.

CAPÍTULO II.

ESTADO DEL ARTE

2.1 SITACUIÓN ACTUAL EN CHILE

Muchos conceptos relativos al manejo de residuos no se encontraban descritos dentro de la legislación chilena sino hasta este año -2016- donde la Ley 20.920 define residuo como cualquier “sustancia u objeto que su generador desecha o tiene la intención u obligación de desechar de acuerdo a la normativa vigente”. Previo a esto, el concepto de residuos se encontraba definido en la Política de Gestión Integral de Residuos de 2005.

Los registros sobre la generación y manejo de residuos son recientes a nivel nacional, por lo que no se cuenta con registros rigurosos y extensos en el tiempo, a excepción de los residuos peligrosos. Recién a partir del año 2015 se habilitó el Sistema de Ventanilla Única del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes para el registro de generadores y destinatarios de residuos sólidos de más de 12 toneladas anuales.

La generación de residuos a nivel nacional ha ido aumentando progresivamente. Sólo de residuos sólidos, en el año 2009 fueron generadas cerca de 20 millones de toneladas. La tabla 1 presenta la evolución temporal de la generación de residuos en Chile junto a algunos indicadores relacionados, para el periodo comprendido entre los años 2000 y 2009, fecha desde el cual se lleva registro y cuya información es resumida en el Primer Reporte sobre Manejo de Residuos Sólidos en Chile, elaborado en 2010 y del cual no se ha encontrado actualización.

Tabla 1 Generación de residuos sólidos en Chile.

Año	2000	2005	2009
Población (habitantes)	15,45 millones	16,34 millones	16,9 millones
PIB (USD)	75.404 millones	118.250 millones	161.781 millones
PIB per cápita (USD/habitantes)	4.897	7.269	9.525
Generación Residuos Sólidos (ton)	12 millones	14,6 millones	19,6 millones
Generación Residuos Sólidos per cápita (ton/habitantes)	0,78	0,89	1,16
Generación Residuos Industriales por PIB (kg/ mil USD)	91	75*	64
Generación Residuos Municipales por habitante (kg/habitantes)	326	359**	384
Tasa de valorización de Residuos (%)	5,1	6,8	6,3
Instalaciones de Valorización (unidades)	33	66	137

*Fuente: CONAMA, 2010. *Promedio OCDE: 60 kg/mil USD. **Promedio OCDE: 550 kg/hab/año.*

Por un lado, se observa cómo el aumento de la generación de residuos se correlaciona con el aumento sostenido de la población y el PIB nacional. Por otro lado, a pesar de que las políticas de gestión de residuos fueron incipientes durante la década del 2000, se observa también el aumento de la infraestructura destinada a la valorización de residuos, lo que habla de esfuerzos nacionales para la recuperación de estos y la disminución de la carga de los sitios de disposición final. No obstante, el desarrollo de las políticas públicas en el ámbito de los residuos sólidos en la Región Metropolitana se ha orientado mayoritariamente a mejorar las condiciones sanitarias y ambientales asociadas a su adecuado manejo, desde su generación hasta su eliminación en destinatarios autorizados. En la actualidad, un alto porcentaje de los residuos sólidos que se generan en la región son eliminados en instalaciones que se ajustan a la normativa sanitaria y ambiental de Chile.

2.2 MANEJO DE LOS RESIDUOS EN CHILE.

La tabla 2 muestra una recopilación de las principales leyes y normas aplicables a lo largo de los últimos años en Chile.

Tabla 2 Resumen marco legal y regulatorio relativo al manejo de residuos en Chile

Año	Elemento	Descripción
1947	Reglamento sobre normas sanitarias mínimas municipales	Establece responsabilidades a los municipios para proveer la limpieza y condiciones de seguridad de sitios públicos, de tránsito y de recreo.
1968	Código sanitario	Rige todas las cuestiones relacionadas en el fomento, protección y recuperación de la salud de los habitantes, y regula aspectos específicos asociados a higiene y seguridad del ambiente y de los lugares de trabajo. Autoriza aspectos relativos a las instalaciones para el tratamiento, transporte y acumulación de residuos. Indica a las municipalidades como responsables del orden sanitario dentro de las comunas
1979 (actualizado 2014)	Ley de rentas municipales	Permite a los municipios cobrar una tarifa a todos los usuarios de la comuna por el servicio de aseo.

1988 (actualizada 2006)	Ley 18.695 Orgánica Constitucional de Municipalidades	Establece como función privativa de los municipios del aseo y ornato de la comuna, incluyendo extracción, transporte y disposición de residuos. Permite contratar- mediante licitaciones públicas- a terceros para prestar el servicio a los habitantes.
1992	Ratifica Convenio de Basilea	Regula el movimiento transfronterizo de desechos peligrosos y establece obligaciones para asegurar el manejo y disposición ambientalmente responsable de éstos.
1994	Ley 19.300 sobre bases generales del medio ambiente	Integra los residuos dentro del sistema de evaluación de impacto ambiental.
2000	Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo	
2005	Política de gestión integral de residuos	Busca completar el marco regulatorio para los diferentes residuos sólidos y establecer medidas de fiscalización y mejoras en la gestión.
2005	Reglamento sanitario sobre manejo de residuos peligrosos	
2007	Programa nacional de residuos sólidos de subsecretaría de desarrollo regional (SUBDERE)	La SUBDERE promueve la implementación de sistemas integrales de gestión de residuos sólidos en las diferentes regiones del país, disponiendo y administrando de fondos para ello, detectando oportunidades para la mejora de la gestión de residuos, proponiendo alternativas de inversión pública nacional, prestando capacitación y asesoría técnica a municipios.
2008	Reglamento sobre condiciones sanitarias y de seguridad básicas en los rellenos sanitarios	
2010	Reglamento para el manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas	

2010	Reglamento sobre el manejo de residuos generados en establecimientos de atención de salud	
2010	Ley 20.417 modifica Ley 19.300 sobre bases generales del medio ambiente	Crea y da potestad al ministerio del medio ambiente para proponer políticas y formular normas, planes y programas en materias de residuos. Introduce el acceso a la información en la gestión de residuos.
2013	Establece norma sobre incineración, co-incineración y coprocesamiento. Deroga Norma símil de 2007	Busca prevenir los efectos negativos sobre la salud de la población y los recursos naturales, derivados de las emisiones tóxicas provenientes de los procesos de incineración, coprocesamiento y co-incineración regulados por este decreto.
2016	Ley 20.920 Establece Marco para la Gestión de Residuos, Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje	Busca Disminuir la generación de residuos, aumentar la valorización, reutilización y reciclaje y proteger la salud humana y la del medio ambiente. Obliga a los productores a responsabilizarse del procesamiento y/o valorización del producto.

Fuente: Adapt Chile, 2016.

Puesto que previo a 2016 no existe una ley general de residuos en Chile, cada uno de los tipos de residuos tiene sus propias regulaciones y mecanismos de manejo.

En el caso de los residuos sólidos industriales, dependiendo de la actividad de la que provienen, cada una tiene sus propias regulaciones a cargo de los organismos competentes. Por ejemplo, los residuos mineros deben seguir las especificidades dispuestas por el Ministerio de Minería para su disposición, mientras que las industrias silvoagropecuarias son reguladas por el Ministerio de Agricultura, etc. No obstante, existen disposiciones aplicables para residuos de manera transversal, que son supervigilados por otros organismos como el Ministerio de Salud, de Medio Ambiente, la Superintendencia de Servicios Sanitarios, etc.

Resulta importante mencionar que para el año 1995, el 100% de los residuos sólidos domiciliarios tenían como disposición final vertederos y basurales, mientras que para 2005 el 60% de los residuos ya eran dispuestos en rellenos sanitarios. Asimismo, es

importante mencionar que varios de los sitios de disposición final no contaban con autorización de los organismos correspondientes, lo que implica que estos pueden o no tener las condiciones sanitarias necesarias para la recepción de los residuos.

2.2.1 VALORIZACIÓN DE LOS RESIDUOS.

La primera campaña de valorización y reciclaje de residuos en Chile fue la impulsada por la Fundación COANIQUEM (Corporación de Ayuda al Niño Quemado) que, en conjunto con la empresa Cristalerías de Chile, iniciaron campañas para la disposición separada de vidrio en diferentes puntos de la ciudad para su posterior reciclaje, como una iniciativa que vincula la beneficencia y reciclaje.

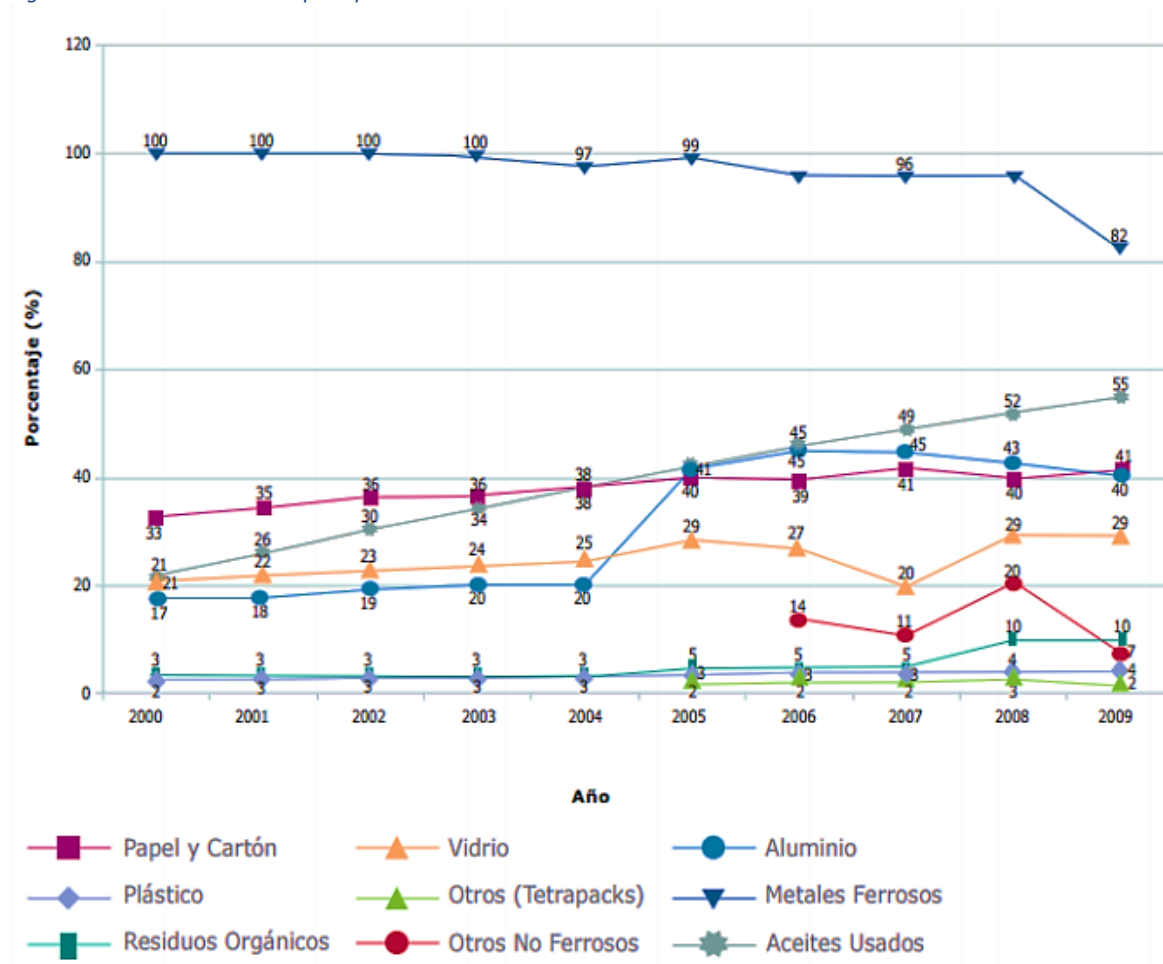
En el 2008 los municipios inquietados por el esfuerzo que requería el mantenimiento de los contenedores de reciclaje comienzan a concesionar el mantenimiento a privados. Anterior a esto, en el año 2003 Ñuñoa es el primer municipio que comienza con un programa de recolección segregada, a ella luego se unen al menos cuatro municipios para el año 2008.

Para el reciclaje orgánico existen cinco plantas de compostaje en la RM, dos de ellas pertenecen a municipalidades, las que hacen recolección segregada de estos residuos, procesando además residuos de ferias y de poda. La información de las plantas privadas de compostaje es que en sus inicios reciclaban desechos agrícolas, actualmente reciclan también residuos orgánicos del comercio y la industria, y residuos de podas municipales. Las plantas de compost municipales comenzaron su funcionamiento en los años 1996 y 1997.

En Chile, durante la década del 2000 se reciclaron, principalmente, metales ferrosos, papel y cartón, plástico, residuos orgánicos, vidrio, tetrapacks, aceites usados, aluminio y otros no ferrosos. Los tipos de instalaciones dedicadas a la valorización de residuos destacan 4 de coincineración, 120 de reciclaje y 13 de compostaje en 2009. Los mayores reciclados fueron el papel (de 233 mil toneladas en 2000 a 375 mil toneladas en 2009) y la chatarra de fierro (de 226 mil toneladas en 2000 a 440 mil toneladas en 2009).

La Figura 1 muestra la tasa de valorización de residuos durante el período.

Figura 1. Tasa de valorización por tipo de residuo en Chile



Fuente: CONAMA, 2010.

Cabe destacar que en 2010 Chile ingresa a la Organización de Cooperación para el Desarrollo Económico (OCDE), lo que obliga a establecer mejoras en la legislación e institucionalidad ambiental, elevando a su vez los estándares en la gestión de residuos; sin embargo, aún no existen informes detallados sobre el manejo de los residuos en los último cinco años.

2.3 PLAN SANTIAGO RECICLA

De acuerdo al Ministerio Del Medio Ambiente del Gobierno de Chile, el plan de acción Santiago Recicla tiene como objetivo fomentar el cambio de visión de los residuos como algo inservible y contemplarlos como recursos que pueden ser valorizados como nuevos materiales, fomentándose la responsabilidad compartida en su gestión, lo que implica la modificación de ciertos hábitos de consumo por parte de la ciudadanía, el Gobierno Regional Metropolitano de Santiago (GORE Santiago), a través del FNDR aprobó el año 2016 el financiamiento de 3 iniciativas en torno al manejo de residuos sólidos. Estas tienen como fin contribuir a aumentar el porcentaje de residuos sólidos reciclados, evitando que sean derivados a disposición final en rellenos sanitarios o vertederos, mejorando de esta manera la calidad de vida de los habitantes de la región.

Las iniciativas, que están en su etapa de implementación son:

- Programa: “Transferencia de Capacitación y Difusión en Gestión y Valorización de Residuos para Comunidades Educativas y Territoriales de la Región Metropolitana”. Este Programa de Transferencia es ejecutado por la SEREMI del Medio Ambiente de la RM). El Programa contiene tres componentes:
Componente 1: Implementar una estrategia que fortalezca el trabajo en red para la gestión de residuos en la RM.
Componente 2: Capacitar en gestión de residuos en Establecimientos Educativos (EE), funcionarios/as municipales y ciudadanía en general. Considera la realización de 3 cursos de capacitación en educación ambiental y gestión de residuos, para docentes y auxiliares de la educación, para funcionarios municipales y para ciudadanía.
Componente 3: Implementar un plan comunicacional con énfasis en la valorización y gestión de residuos.
- Estudio: “Diagnóstico Modelo de Gestión de Recolección Segregada de Residuos Domiciliarios Valorizables Casa A Casa’ en la RM”. Este Estudio es ejecutado por la Subsecretaría y la Seremi del Medio Ambiente, tiene un plazo de ejecución de 18 meses.

Busca generar información técnico-económica sobre a la implementación de un Modelo de Gestión de Recolección “casa a casa” de envases y embalajes (EyE), y pilas en comunas de la RM.

- Proyecto: “Construcción de una Red de Puntos Limpios en la Región Metropolitana”. Este proyecto de infraestructura es ejecutado por el GORE Metropolitano de Santiago, tiene un plazo de 13-20 meses. Considera la construcción de 20 puntos limpios (entre 240 y 1000 m2) en 16 comunas, beneficiando a 3.304.698 vecinos de las comunas incorporadas, lo que representa el 45,7% de los habitantes de la RM. Cabe indicar que en la RMS en la actualidad existirían alrededor de 65 “Puntos Limpios” y 459 “Puntos Verdes”, no obstante, para alcanzar mayores tasas de reciclaje se requiere desarrollar alternativas mixtas de recogida de materiales que considere la recolección “casa a casa” u otras, toda vez que parte de la ciudadanía no estaría disponible para transportar sus residuos a las citadas instalaciones, requiriéndose además fortalecer políticas públicas locales para la prevención de su generación.

Tabla 3 Comunas adheridas al Plan de Acción Santiago Recicla

MUNICIPALIDAD	ESTADO	MUNICIPALIDAD	ESTADO
Santiago	Adherido	Recoleta	Adherido
Cerrillos	Adherido	Renca	Adherido
Cerro Navia	Adherido	San Joaquín	No adherido
Conchalí	Adherido	San Miguel	Adherido
El Bosque	Adherido	San Ramón	Adherido
Estación Central	Adherido	Vitacura	Adherido
Huechuraba	Adherido	Puente Alto	Adherido
Independencia	Adherido	Pirque	Adherido
La Cisterna	No adherido	San José de Maipo	Adherido
La Florida	Adherido	Colina	Adherido
La Granja	Adherido	Lampa	Adherido
La Pintana	Adherido	Til – Til	No adherido
La Reina	Adherido	San Bernardo	Adherido
Las Condes	Adherido	Buin	Adherido
Lo Barnechea	Adherido	Calera de Tango	Adherido
Lo Espejo	Adherido	Paine	Adherido

Lo Prado	Adherido	Melipilla	Adherido
Macul	No adherido	Alhué	Adherido
Maipú	Adherido	Curacaví	Adherido
Ñuñoa	No adherido	María Pinto	Adherido
Pedro Aguirre C.	Adherido	San Pedro	No adherido
Peñalolén	Adherido	Talagante	Adherido
Providencia	Adherido	El Monte	Adherido
Pudahuel	No adherido	Isla de Maipo	Adherido
Quilicura	Adherido	Padre Hurtado	Adherido
Quinta Normal	Adherido	Peñaflor	Adherido

Fuente SEREMI de Medio Ambiente RM.

2.4 MANEJO Y GESTIÓN DE RESIDUOS A NIVEL LOCAL.

Según lo dispuesto en la legislación vigente, es función privativa de las Municipalidades el sistema de recolección y disposición de residuos de sus comunas. Esta función contempla la extracción, transporte y disposición de toda la basura pública (vial) y doméstica de la comuna, y la de los residuos industriales putrescibles, con la única excepción de aquellos residuos con objeción sanitaria a este respecto. Adicionalmente, se impone al municipio el cálculo de tarifas, fijar exenciones, regular sobreproductores, así como la posibilidad de traspasar el cobro de este derecho al tercero, todo incluido dentro de una ordenanza local. También permite al Municipio contratar a un tercero privado para la realización del servicio, mediante una licitación pública.

Esto ha implicado una gran responsabilidad para los municipios y grandes esfuerzos con ello. Puesto que cada territorio es diferente y cuenta con distintas situaciones socioeconómicas y contextos ambientales, cada comuna tiene sus particularidades respecto al manejo de sus residuos. Así, por ejemplo, existen comunas que han licitado su servicio de aseo mientras que otras lo hacen por sí mismas, con lo que ello significa (trazado de rutas, adquisición de camiones, contratación de personal, frecuencia de recolección, etc.), así como también existen aquellas que tienen un sistema mixto.

En la cadena tradicional del manejo de residuos sólidos urbanos, una vez que éstos son dispuestos por los vecinos, el camión recolector los lleva hasta una estación de transferencia cercana a la ciudad. Aquí son procesados con el principal objetivo de disminuir el volumen de éstos y poder transportarlos de manera más eficiente hacia el relleno sanitario o vertedero para su disposición final.

Cual sea el modelo de recolección y disposición de residuos, esta responsabilidad conlleva un gran gasto para los municipios, lo que obliga a destinar gran parte del presupuesto municipal a este concepto, sin significar inversión alguna. En la mayoría de los casos no existe una recolección diferenciada de los residuos, por lo que estos son depositados indiferentemente en los rellenos sanitarios o vertederos habilitados, los que disminuyen la capacidad disponible para más residuos a veces más rápido de lo proyectado.

2.5 MARCO TEÓRICO

2.5.1 LA BIOMASA

El término biomasa se refiere a toda la materia orgánica que proviene de árboles, plantas y desechos de animales que pueden ser convertidos en energía; o las provenientes de la agricultura (residuos de maíz, café, arroz), del aserradero (podas, ramas, aserrín, cortezas) y de los residuos urbanos (aguas negras, basura orgánica y otros). Esta es la fuente de energía renovable más antigua conocida por el ser humano, pues ha sido usada desde que nuestros ancestros descubrieron el secreto del fuego. (Bun-Ca 2002)

Otra definición de biomasa que se utiliza en las directivas de la Unión Europea (UE) es la siguiente:

«Biomasa es la fracción biodegradable de productos, desechos y residuos de la agricultura (incluyendo sustancias vegetales y animales), silvicultura e industrias relacionadas, así como la fracción biodegradable de los residuos municipales e industriales».

Esta definición tiene un carácter muy amplio, ya que dentro de ella se engloba una diversidad de fuentes energéticas que comparten determinadas características, pero que

difieren entre sí en cuanto a las tecnologías para su obtención y aplicación para la producción energética (Cerdá, E. 2012).

2.5.1.1 FUENTES DE BIOMASA

Las fuentes de biomasa que pueden ser usadas para la producción de energía cubren un amplio rango de materiales y fuentes: los residuos de la industria forestal y la agricultura, los desechos urbanos y las plantaciones energéticas, se usan, generalmente, para procesos modernos de conversión que involucran la generación de energía a gran escala, enfocados hacia la sustitución de combustibles fósiles.

Los residuos agrícolas, como la leña y el carbón vegetal, han sido usados en procesos tradicionales en los países en vías de desarrollo y a usos primarios en pequeña escala; por ejemplo, la cocción de alimentos o las pequeñas actividades productivas como panaderías, caleras, secado de granos, etc.

2.5.2 PLANTACIONES ENERGÉTICAS

Estas son grandes plantaciones de árboles o plantas cultivadas con el fin específico de producir energía. Para ello se seleccionan árboles o plantas de crecimiento rápido y bajo mantenimiento, las cuales usualmente se cultivan en tierras de bajo valor productivo. Su período de cosecha varía entre los tres y los diez años. También se utilizan arbustos que pueden ser podados varias veces durante su crecimiento, para extender la capacidad de cosecha de la plantación.

Existen también muchos cultivos agrícolas que pueden ser utilizados para la generación de energía: caña de azúcar, maíz, sorgo y trigo. Igualmente, se pueden usar plantas oleaginosas como palma de aceite, girasol o soya y algunas plantas acuáticas como jacinto de agua o las algas, para producir combustibles líquidos como el etanol y el biodiesel.

Adicionalmente, este tipo de cultivos sirve para controlar la erosión y la degradación de los suelos; además puede proveer otros beneficios a los agricultores. Una granja típica,

usualmente, sólo genera uno o dos productos de mayor valor comercial como maíz, café, leche o carne. El ingreso neto de ello es, a menudo, vulnerable a las fluctuaciones del mercado, al aumento del costo en los insumos, a las variaciones climáticas y a otros factores. Dado que las plantas de generación de energía requieren un suministro estable de combustible, los cultivos asociados a ellas pueden proveer un ingreso permanente a los granjeros que decidan diversificar su producción.

La principal limitante para este tipo de plantaciones está en la escala, pues se requieren grandes extensiones de tierra para lograr una producción de energía rentable. Por esta razón, son factibles cuando se desarrollan con algún tipo de producción agrícola paralela, como por ejemplo, el maíz, la caña de azúcar y la palma de aceite.

2.5.3 RESIDUOS FORESTALES

Los residuos de procesos forestales son una importante fuente de biomasa que actualmente es poco explotada en el área centroamericana. Se considera que, de cada árbol extraído para la producción maderera, sólo se aprovecha comercialmente un porcentaje cercano al 20%. Se estima que un 40% es dejado en el campo, en las ramas y raíces, a pesar de que el potencial energético es mucho mayor como se muestra en la figura 5, y otro 40% en el proceso de aserrío, en forma de astillas, corteza y aserrín.

La mayoría de los desechos de aserrío son aprovechados para generación de calor, en sistemas de combustión directa; en algunas industrias se utilizan para la generación de vapor. Los desechos de campo, en algunos casos, son usados como fuente de energía por comunidades aledañas, pero la mayor parte no es aprovechada por el alto costo del transporte.

2.5.4 DESECHOS Y RESIDUOS

Según Gómez Delgado M. (1995), en términos generales la palabra desecho, representa a todos aquellos objetos, sustancias o materiales que sobran o restan de algo que ha sido

trabajado, procesado o consumido y que ya no posee algún tipo de uso, es decir, es inservible y por tanto, necesita ser eliminado.

Desecho es comúnmente utilizado como sinónimo de la palabra residuo, pero resulta que ambos términos, no poseen el mismo significado y para comprender mejor lo que representan los desechos, es necesario ubicar la diferencia entre ambos. Así, desechos son aquellos restos de algo, que ya no poseen algún tipo de uso. Los residuos por su parte, son aquellos restos que no poseen ningún valor económico para su dueño, pero si tienen un valor comercial, ya se les puede otorgar un nuevo ciclo de vida, mediante la recuperación o reciclaje.

2.5.4.1 TIPOS DE DESECHOS

2.5.4.1.1 DESECHOS AGRICOLAS

La agricultura genera cantidades considerables de desechos (rastros): se estima que, en cuanto a desechos de campo, el porcentaje es más del 60%, y en desechos de proceso, entre 20% y 40%.

Al igual que en la industria forestal, muchos residuos de la agroindustria son dejados en el campo. Aunque es necesario reciclar un porcentaje de la biomasa para proteger el suelo de la erosión y mantener el nivel de nutrientes orgánicos, una cantidad importante puede ser recolectada para la producción de energía. Ejemplos comunes de este tipo de residuos son el arroz, el café y la caña de azúcar. Los campos agrícolas también son una fuente importante de leña para uso doméstico: más del 50% del volumen total consumido.

Por otro lado, las granjas producen un elevado volumen de “residuos húmedos” en forma de estiércol de animales. La forma común de tratar estos residuos es esparciéndolos en los campos de cultivo, con el doble interés de disponer de ellos y obtener beneficio de su valor nutritivo. Esta práctica puede provocar una sobre-fertilización de los suelos y la contaminación de las cuencas hidrográficas.

2.5.4.1.2 DESECHOS INDUSTRIALES

La industria alimenticia genera una gran cantidad de residuos y subproductos, que pueden ser usados como fuentes de energía, los provenientes de todo tipo de carnes (avícola, vacuna, porcina) y vegetales (cáscaras, pulpa) cuyo tratamiento como desechos representan un costo considerable para la industria. Estos residuos son sólidos y líquidos con un alto contenido de azúcares y carbohidratos, los cuales pueden ser convertidos en combustibles gaseosos.

2.5.4.1.3 DESECHOS URBANOS

Los centros urbanos generan una gran cantidad de biomasa en muchas formas, por ejemplo: residuos alimenticios, papel, cartón, madera y aguas negras. La mayoría de los países centroamericano carecen de adecuados sistemas para su procesamiento, lo cual genera grandes problemas de contaminación de suelos y cuencas; sobre todo por la inadecuada disposición de la basura y por sistemas de recolección y tratamiento con costos elevados de operación.

Por otro lado, la basura orgánica en descomposición produce compuestos volátiles (metano, dióxido de carbono, entre otros) que contribuyen a aumentar el efecto invernadero. Estos compuestos tienen un considerable valor energético que puede ser utilizado para la generación de energía “limpia”.

En el corto y mediano plazo, la planificación urbana deberá incluir sistemas de tratamiento de desechos que disminuyan eficazmente las emanaciones nocivas de los desechos al ambiente, dándoles un valor de retorno por medio del aprovechamiento de su contenido energético, pues aproximadamente el 80% de toda la basura orgánica urbana puede ser convertida en energía. (Bun-Ca 2002) (Cerdá, Caparrós, Ovando 2008).

2.5.5 ALGUNAS CARACTERISTICAS DE LA BIOMASA

Para evaluar la factibilidad técnica y económica de un proceso de conversión de biomasa en energía, es necesario considerar ciertos parámetros y condiciones que la caracterizan. Estos

que se explican a continuación, determinan el proceso de conversión más adecuado y permiten realizar proyecciones de los beneficios económicos y ambientales esperados.

2.5.6 TIPO DE BIOMASA

Los recursos biomásicos se presentan en diferentes estados físicos que determinan la factibilidad técnica y económica de los procesos de conversión energética que pueden aplicarse a cada tipo en particular. Por ejemplo, los desechos forestales indican el uso de los procesos de combustión directa o procesos termo-químicos; los residuos animales indican el uso de procesos anaeróbicos (bioquímicos), etc. El estado físico de la biomasa puede clasificarse según el tipo de recurso, como se indica en la tabla 5.

2.5.7 COMPOSICIÓN QUÍMICA Y FÍSICA

Las características químicas y físicas de la biomasa determinan el tipo de combustible o subproducto energético que se puede generar; por ejemplo, los desechos animales producen altas cantidades de metano, mientras que la madera puede producir el denominado “gas pobre”, que es una mezcla rica en monóxido de carbono (CO). Por otro lado, las características físicas influyen en el tratamiento previo que sea necesario aplicar.

Tabla 4: Estados típicos de la biomasa

Recurso de Biomasa	Tipo de residuo	Características físicas
Residuos Forestales	Restos de aserrío: corteza, aserrín, astillas. Restos de ebanistería: aserrín, trozos, astillas. Restos de plantaciones: ramas, cortezas, raíces.	Polvo, sólido, HR > 50% Polvo sólido, HR 30-45% Sólido, HR > 55%
Residuos agropecuarios	Cáscara y pulpa de frutas y vegetales Cáscara y polvo de granos secos (arroz, café) Estiércol.	Sólido, alto contenido de humedad. Polvo, HR* < 25% Sólido, alto contenido de humedad. Sólido HR > 55%

	Residuos de Cosechas: tallos y hojas, cáscaras, maleza, pastura.	
Residuos Industriales	Pulpa y cáscara de frutas y vegetales. Residuos de procesamiento de carnes. Aguas de lavado y precocido de carnes y vegetales. Grasas y aceites vegetales.	Sólido, humedad moderada Sólido, alto contenido de humedad Líquido Líquido, grasoso.
Residuos Urbanos	Aguas negras. Desechos domésticos urbanos. Basura orgánica.	Líquido Sólido, alto contenido de humedad. Sólido, alto contenido de humedad.

**HR: Humedad relativa*

2.5.8 CONTENIDO DE HUMEDAD

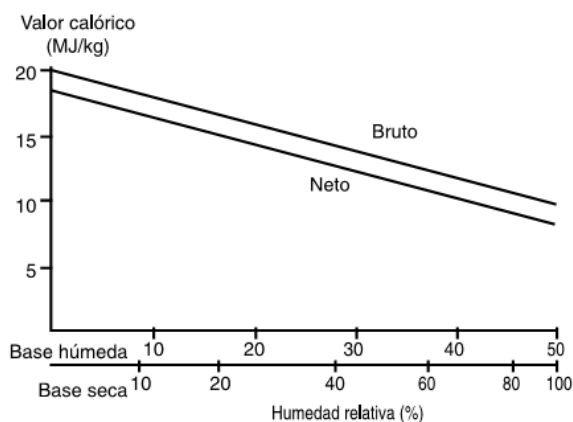
El contenido de humedad de la biomasa es la relación de la masa de agua contenida por kilogramo de materia seca. Para la mayoría de los procesos de conversión energética es imprescindible que la biomasa tenga un contenido de humedad inferior al 30%. Muchas veces, los residuos salen del proceso productivo con un contenido de humedad muy superior, que obliga a implementar operaciones de acondicionamiento, antes de ingresar al proceso de conversión de energía.

Todos los combustibles contienen una cantidad de agua, pero, para la biomasa, los niveles pueden ser altos; esto afecta el valor calorífico y el proceso de combustión. El contenido de humedad puede variar dependiendo del tipo de biomasa, el tiempo entre su cosecha y su uso y la humedad atmosférica. Después de haberla cosechado, paulatinamente ésta perderá la humedad hasta que se establezca un equilibrio con el ambiente.

El valor de la humedad se puede indicar según sea en base seca o en base húmeda: en base seca se define como la fracción del peso del agua dentro de la biomasa y el peso del material seco, expresado como porcentaje.

El contenido de humedad en base húmeda es la fracción del peso del agua dentro de la biomasa y el peso total del material. (Bun-Ca. 2002)

Figura 2: Valor calórico en función de la humedad relativa



2.5.9 PORCENTAJE DE CENIZAS

El porcentaje de cenizas indica la cantidad de materia sólida no combustible por kilogramo de material. En los procesos que incluyen la combustión de la biomasa, es importante conocer el porcentaje de generación de ceniza y su composición, pues, en algunos casos, ésta puede ser utilizada; por ejemplo, la ceniza de la cascarilla de arroz es un excelente aditivo en la mezcla de concreto o para la fabricación de filtros de carbón activado.

2.5.10 PODER CALÓRICO

El contenido calórico por unidad de masa es el parámetro que determina la energía disponible en la biomasa. Su poder calórico está relacionado directamente con su contenido de humedad. Un elevado porcentaje de humedad reduce la eficiencia de la combustión debido a

que una gran parte del calor liberado se usa para evaporar el agua y no se aprovecha en la reducción química del material.

El poder calórico se expresa como la cantidad de energía por unidad física; por ejemplo, joule por kilogramo. Esta es la energía que se libera en forma de calor cuando la biomasa se quema completamente.

El valor calorífico se puede anotar de dos formas diferentes: bruto y neto. El bruto se define como la cantidad total de energía que se liberaría vía combustión, dividido por el peso. El neto es la cantidad de energía disponible después de la evaporación del agua en la biomasa; es decir, es la cantidad de energía realmente aprovechable, y siempre es menor que el valor calorífico bruto.

Más adelante se hablará más de este tema.

2.5.11 DENSIDAD APARENTE

Esta se define como el peso por unidad de volumen del material en el estado físico que presenta, bajo condiciones dadas. Combustibles con alta densidad aparente favorecen la relación de energía por unidad de volumen, requiriéndose menores tamaños de los equipos y aumentando los períodos entre cargas. Por otro lado, materiales con baja densidad aparente necesitan mayor volumen de almacenamiento y transporte y, algunas veces, presentan problemas para fluir por gravedad, lo cual complica el proceso de combustión, y eleva los costos del proceso. (IDAE 2007 A) (Bun-Ca. 2002)

2.5.12 LA BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGÍA

La biomasa como materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, tiene carácter de energía renovable porque su contenido energético procede en última instancia de la energía solar fijada por los vegetales en el proceso fotosintético. Al romper los enlaces de los compuestos orgánicos, por combustión directa de biomasa o por combustión de productos obtenidos de ella mediante transformaciones físicas o químicas, para dar dióxido de carbono y agua como productos finales, se libera energía. La biomasa

puede proporcionar energía mediante su transformación en materiales sólidos, líquidos y gaseosos. Los productos procedentes de la biomasa que se utilizan para fines energéticos se denominan, en general, biocombustibles y específicamente, a todos aquellos, generalmente sólidos y gases, que se aplican con fines térmicos y eléctricos.

Se utilizan diferentes criterios para clasificar los biocombustibles que pueden obtenerse a partir de la biomasa. Considerando el proceso de transformación de la biomasa en biocombustible, existen varias opciones como las que se comentan en los siguientes ejemplos. Únicamente transformaciones físicas antes de la combustión, caso de la madera, de la paja o de residuos procedentes de otras actividades que emplean biomasa (poda de árboles, restos de carpintería, residuos sólidos urbanos, etc.).

Fermentación anaeróbica de una mezcla de azúcares y agua para obtener una mezcla de alcohol y agua con emisión de dióxido de carbono. Esta mezcla se destila para eliminar el agua y obtener el alcohol con la concentración de agua que exige su empleo como carburante.

Transesterificación de los triglicéridos procedentes de aceites vegetales y grasas animales con metanol para obtener una mezcla de ésteres, previa separación de la glicerina, cuyo comportamiento como carburante es similar al diesel procedente del petróleo.

Metanización de residuos orgánicos para obtener biogás y un sólido que puede utilizarse como abono de los suelos. (Romero A. 2010)

2.5.13 USO DE LA BIOMASA

En cuanto a los usos de la energía producida con biomasa, éstos pueden ser para calefacción, refrigeración y producción de agua caliente en el sector doméstico (viviendas unifamiliares, comunidades de vecinos, barrios o municipios enteros), calor para procesos industriales y generación de electricidad. En resumen, todo el conjunto de fuentes energéticas que comprende la biomasa puede tener tanto aplicaciones térmicas como eléctricas. (Cerdá 2010)

2.5.14 PROCESOS DE CONVERSIÓN

Antes de que la biomasa pueda ser usada para fines energéticos, tiene que ser convertida en una forma más conveniente para su transporte y utilización. A menudo, la biomasa es convertida en formas derivadas tales como carbón vegetal, briquetas, gas, etanol y electricidad.

Las tecnologías de conversión incluyen desde procesos simples y tradicionales, como la producción de carbón vegetal en hogueras bajo tierra; hasta procesos de alta eficiencia como la dendro-energía y la cogeneración.

A continuación se presentan los procesos de conversión de biomasa más relevantes, los cuales se pueden clasificar en tres categorías:

- Procesos de combustión directa.
- Procesos termoquímicos.
- Procesos bioquímicos.

2.5.14.1 PROCESO DE COMBUSTIÓN DIRECTA

Esta es la forma más antigua y más común, hasta hoy, para extraer la energía de la biomasa. Los sistemas de combustión directa son aplicados para generar calor, el cual puede ser utilizado directamente, como por ejemplo, para la cocción de alimentos o para el secado de productos agrícolas. Además, éste se puede aprovechar en la producción de vapor para procesos industriales y electricidad. Las tecnologías de combustión directa van desde sistemas simples, como estufas, hornos y calderas, hasta otros más avanzados como combustión de lecho fluidizado.

Los procesos tradicionales de este tipo, generalmente, son muy ineficientes porque mucha de la energía liberada se desperdicia y pueden causar contaminación cuando no se realizan bajo condiciones controladas. Estos resultados se podrían disminuir considerablemente con prácticas mejoradas de operación y un diseño adecuado del equipo. Por ejemplo, secar la biomasa antes de utilizarla reduce la cantidad de energía perdida por la evaporación del agua

y para procesos industriales, usar pequeños pedazos de leña y atender continuamente el fuego supliendo pequeñas cantidades resulta en una combustión más completa y, en consecuencia, en mayor eficiencia. Asimismo, equipos como los hornos se pueden mejorar con la regulación de la entrada del aire para lograr una combustión más completa y con aislamiento para minimizar las pérdidas de calor.

2.5.14.2 PROCESOS TERMOQUIMICOS

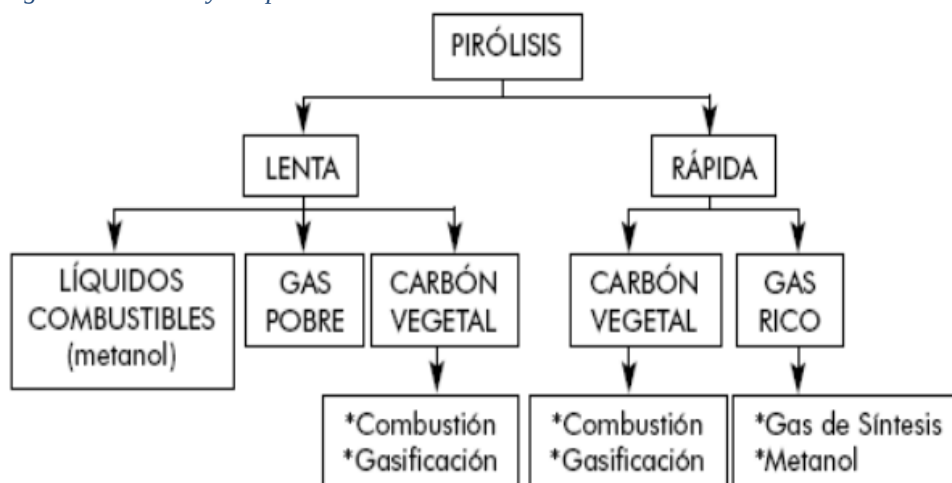
Estos procesos transforman la biomasa en un producto de más alto valor, con una densidad y un valor calorífico mayor, los cuales hacen más conveniente su utilización y transporte.

Cuando la biomasa es quemada bajo condiciones controladas, sin hacerlo completamente, su estructura se rompe en compuestos gaseosos, líquidos y sólidos que pueden ser usados como combustible para generar calor y electricidad.

2.5.14.2.1 PIRÓLISIS

El proceso básico de los procesos termoquímicos se llama pirólisis, el cual se realiza una oxigenación parcial y controlada de la biomasa, para obtener como producto una combinación variable de combustibles sólidos (carbón vegetal), líquidos (efluentes piroleñosos) y gaseosos. Generalmente, el producto principal de la pirolisis es el carbón vegetal, considerándose a los líquidos y gases como subproductos del proceso.

Figura 3: Pirólisis y sus productos.

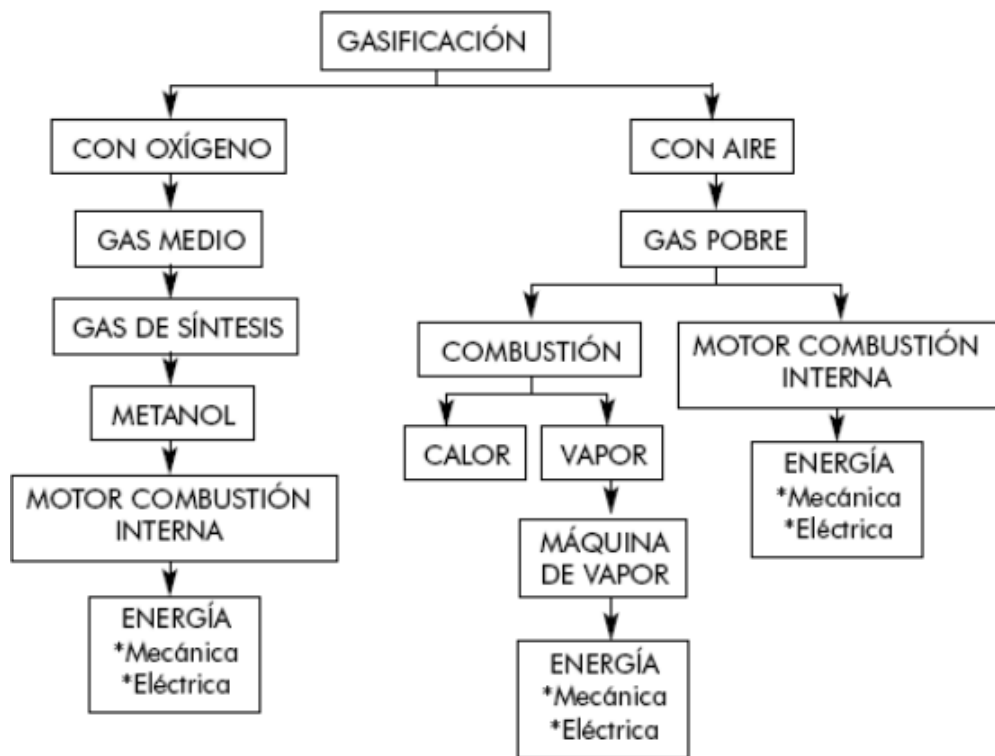


2.5.14.2.2 GASIFICACIÓN

Tipo de pirólisis en la que se utiliza una mayor proporción de oxígeno a mayores temperaturas, con el objetivo de optimizar la producción del llamado “gas pobre”, constituido por una mezcla de monóxido de carbono, hidrógeno y metano, con proporciones menores de dióxido de carbono y nitrógeno.

Este se puede utilizar para generar calor y electricidad, y se puede aplicar en equipos convencionales, como los motores de diesel. La composición y el valor calorífico del gas dependen de la biomasa utilizada, como por ejemplo: madera, cascarilla de arroz, o cáscara de coco. Existen diferentes tecnologías de gasificación y su aplicación depende de la materia prima y de la escala del sistema.

Figura 4: Gasificación y sus productos.



2.5.14.2.3 PROCESOS BIOQUÍMICOS

Los procesos bioquímicos se basan en la degradación de la biomasa por la acción de microorganismos, estos procesos utilizan las características bioquímicas de la biomasa y la acción metabólica de organismos microbiales para producir combustibles gaseosos y líquidos. Son más apropiados para la conversión de biomasa húmeda que los procesos termoquímicos.

Se clasifican en dos grupos: los que se producen en ausencia de aire (anaeróbicos) y los que se producen en presencia de aire (aeróbicos).

2.5.14.2.4 PROCESOS ANAERÓBICOS

La fermentación anaeróbica, para la que se utiliza generalmente residuos animales o vegetales de baja relación carbono / nitrógeno, se realiza en un recipiente cerrado llamado “digestor” y da origen a la producción de un gas combustible denominado biogás.

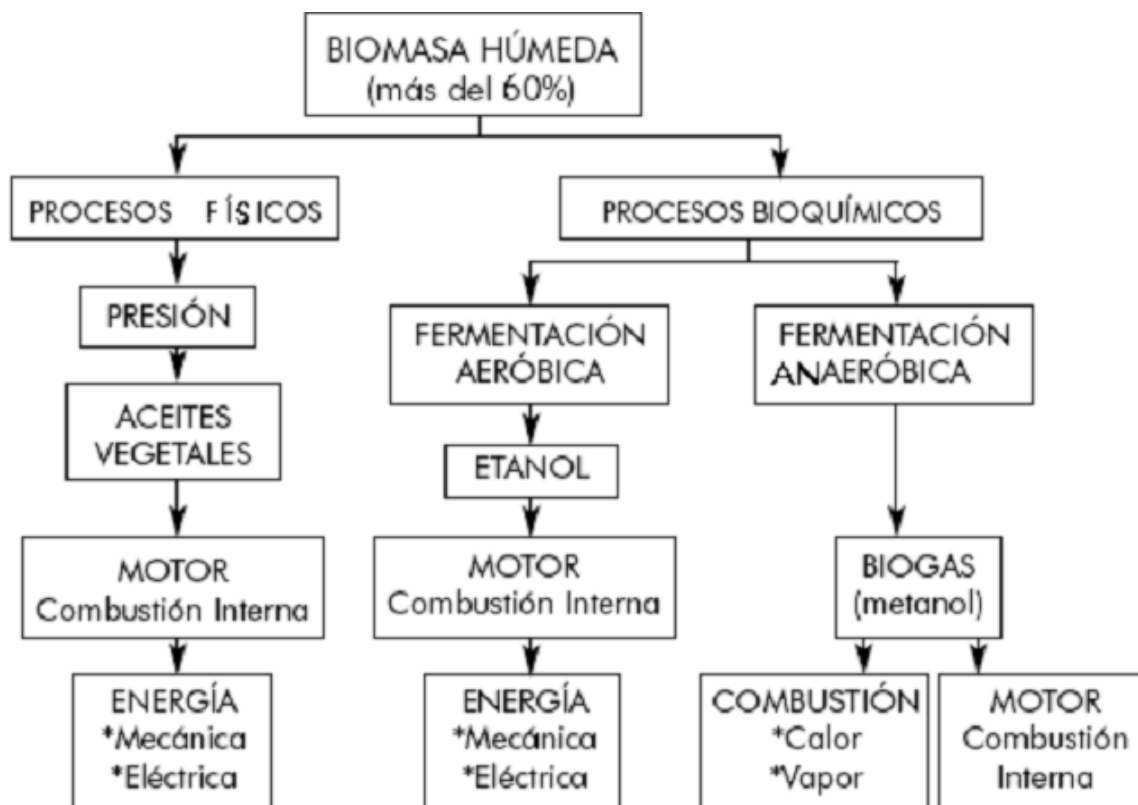
Adicionalmente, la biomasa degradada que queda como residuo del proceso de producción del biogás, constituye un excelente fertilizante para cultivos agrícolas. Las tecnologías disponibles para su producción son muy variadas pero todas ellas tienen como común denominador la simplicidad del diseño y el bajo costo de los materiales necesarios para su construcción. El biogás, constituido básicamente por metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), es un combustible que puede ser empleado de la misma forma que el gas natural. También puede comprimirse para su uso en vehículos de transporte, debiéndose eliminar primero su contenido de CO.

2.5.14.2.5 PROCESOS AERÓBICOS

La fermentación aeróbica de biomasa de alto contenido de azúcares o almidones, da origen a la formación de alcohol (etanol), que, además de los usos ampliamente conocidos en medicina y licorería, es un combustible líquido de características similares a los que se obtienen por medio de la refinación del petróleo. Las materias primas más comunes utilizadas para la producción de alcohol es la caña de azúcar, sorgo dulce y maíz. El proceso incluye

una etapa de trituración y molienda para obtener una pasta homogénea, una etapa de fermentación y una etapa de destilación y rectificación. (Dirección Nacional de promoción subsecretaría de energía eléctrica 2004)

Figura 5: Procesos bioquímicos y físicos de conversión de biomasa en energía.



2.5.15 VENTAJAS Y DESVENTAJAS

2.5.15.1 VENTAJAS

La biomasa es una fuente renovable de energía y su uso no contribuye a acelerar el calentamiento global; de hecho, permite reducir los niveles de dióxido de carbono y los residuos de los procesos de conversión, aumentando los contenidos de carbono de la biosfera.

La captura del metano de los desechos agrícolas y los rellenos sanitarios, y la sustitución de derivados del petróleo, ayudan a mitigar el efecto invernadero y la contaminación de los acuíferos.

Los combustibles biomásicos contienen niveles insignificantes de sulfuro y no contribuyen a las emanaciones que provocan “lluvia ácida”.

La combustión de biomasa produce menos ceniza que la de carbón mineral y puede usarse como insumo orgánico en los suelos.

La conversión de los residuos forestales, agrícolas y urbanos para la generación de energía reduce significativamente los problemas que trae el manejo de estos desechos.

La biomasa es un recurso local que no está sujeto a las fluctuaciones de precios de la energía, provocadas por las variaciones en el mercado internacional de las importaciones de combustibles. En países en desarrollo, su uso reduciría la presión económica que impone la importación de los derivados del petróleo.

El uso de los recursos de biomasa puede incentivar las economías rurales, creando más opciones de trabajo y reduciendo las presiones económicas sobre la producción agropecuaria y forestal.

Las plantaciones energéticas pueden reducir la contaminación del agua y la erosión de los suelos; así como a favorecer el mantenimiento de la biodiversidad.

2.5.15.2 DESVENTAJAS

Por su naturaleza, la biomasa tiene una baja densidad relativa de energía; es decir, se requiere su disponibilidad en grandes volúmenes para producir potencia, en comparación con los combustibles fósiles, por lo que el transporte y manejo se encarecen y se reduce la producción neta de energía. La clave para este problema es ubicar el proceso de conversión cerca de las fuentes de producción de biomasa, como aserraderos, ingenios azucareros y granjas, donde los desechos de aserrío, el bagazo de caña y las excretas de animales están presentes.

Su combustión incompleta produce materia orgánica, monóxido de carbono (CO) y otros gases. Si se usa combustión a altas temperaturas, también se producen óxidos de nitrógeno. A escala doméstica, el impacto de estas emanaciones sobre la salud familiar es importante.

La producción y el procesamiento de la biomasa pueden requerir importantes insumos, como combustible para vehículos y fertilizantes, lo que da como resultado un balance energético reducido en el proceso de conversión. Es necesario minimizar el uso de estos insumos y maximizar los procesos de recuperación de energía.

Aún no existe una plataforma económica y política generalizada para facilitar el desarrollo de las tecnologías de biomasa, en cuanto a impuestos, subsidios y políticas que cubren, por lo general, el uso de hidrocarburos. Los precios de la energía no compensan los beneficios ambientales de la biomasa o de otros recursos energéticos renovables.

El potencial calórico de la biomasa es muy dependiente de las variaciones en el contenido de humedad, clima y la densidad de la materia prima.

2.6 RESIDUOS SOLIDOS URBANOS (RSU).

Se entenderá como residuos sólidos urbanos (RSU) o domiciliarios (RSD) a la basura o desperdicio generado en viviendas, locales comerciales y de expendio de alimentos, hoteles, colegios, oficinas y cárceles, además de aquellos desechos provenientes de podas y ferias libres. Por lo tanto, los RSD totales generados tienen un doble componente, por un lado la fracción que sigue su curso a un relleno sanitario, y otra que continúa su curso hacia el reciclaje. (Conama, 2010)

El manejo de estos residuos se ha transformado en uno de los principales problemas ambientales a los que se enfrentan las ciudades, ya que la generación de desechos sólidos evoluciona conjuntamente con la urbanización y la industrialización. (Ibañez J. R; Corroccoli M.D 2002).

2.6.1 CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS

Los residuos se pueden clasificar de varias formas, tanto por estado, origen o por el tipo de manejo que se les debe dar.

2.6.1.1 CLASIFICACIÓN POR ESTADO

Un residuo es definido por estado, según el estado físico en que se encuentre. Existe por lo tanto tres tipos de residuos desde este punto de vista: sólidos, líquidos y gaseosos. Es importante anotar que el alcance real de esta clasificación puede fijarse en términos meramente descriptivos o, como es realizado en la práctica, según la forma de manejo asociado.

2.6.1.2 CLASIFICACIÓN POR ORIGEN

Se puede definir el residuo por la actividad que lo origine, esencialmente es una clasificación sectorial. Según esta clasificación, los tipos de residuos más importantes son:

Residuos sólidos urbanos: Los que componen la basura doméstica; la generación de residuos varía en función de factores culturales asociados a los niveles de ingreso, hábitos de consumo, desarrollo tecnológico y estándares de calidad de vida de la población.

Los sectores de más altos ingresos generan los mayores volúmenes per cápita de los residuos, y estos residuos tienen un mayor valor incorporado que los provenientes de sectores más pobres de la población.

Residuos industriales: La cantidad de residuos que genera una industria es función de la tecnología del proceso productivo, calidad de las materias primas o productos intermedios,

propiedades físicas y químicas de las materias genera la industria es conveniente diferenciar entre:

Inertes: son los escombros y materiales similares. Es un residuo estable en el tiempo, el cual no producirá efectos ambientales apreciables al interactuar en el medio ambiente. También se incluyen algunos residuos similares a los residuos sólidos urbanos: Restos de comedores, oficinas, etc.

Residuos radiactivos: materiales que emiten radiactividad.

Residuos tóxicos y peligrosos: Son considerados en este grupo los que entran dentro de las características especificadas por las diferentes normas medioambientales. Este grupo de residuos exige, en función de sus características físicas o químicas, un proceso de tratamiento, recuperación o eliminación específica.

Residuos mineros: los residuos mineros incluyen los materiales que son removidos para ganar acceso a los minerales y todos los residuos provenientes de los procesos mineros. Actualmente, la industria del cobre se encuentra empeñada en la implementación de un manejo apropiado de estos residuos, por lo cual se espera en un futuro próximo contar con estadísticas apropiadas.

Residuos hospitalarios: Restos del trabajo clínico o de investigación. Actualmente el manejo de los residuos hospitalarios no es el más apropiado ya que no existe un reglamento claro al respecto. El manejo de estos residuos es realizado a nivel del generador y no bajo un sistema descentralizado. A nivel del hospital los residuos son generalmente esterilizados.

La composición de los residuos hospitalarios varía desde el residuo tipo residencial y comercial, a residuos de tipo médico que contienen sustancias peligrosas.

Igualmente éste grupo de clasificación por origen los podemos sub-clasificar en residuos aprovechables y en residuos no aprovechables. “Los residuos aprovechables son aquellos que a través de un manejo integral de los residuos sólidos, se recuperan y se reincorporan al ciclo económico y productivo en forma eficiente, por medio de la reutilización, el reciclaje, la incineración (con fines de generación de energía), el compostaje o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales, sociales y/o económicos.”

Y los no aprovechables son aquellos que ya terminaron su vida útil y que se les debe hacer un tratamiento o disposición final adecuada debido a que por sus condiciones de origen pueden afectar o alterar ostensiblemente el medio ambiente; en este grupo encontramos los residuos inertes, radioactivos, tóxicos y peligrosos.

2.6.1.3 CLASIFICACIÓN POR TIPO DE MANEJO

Se puede clasificar un residuo por presentar alguna característica asociada al manejo que debe ser realizado, así:

Residuo peligroso: residuos que por su naturaleza son inherentemente peligrosos de manejar y/o disponer y pueden causar muerte, enfermedad; o que son peligrosos para la salud o el medio ambiente cuando son manejados en forma inapropiada.

Residuo inerte: Residuo estable en el tiempo, el cual no producirá efectos ambientales apreciables al interactuar en el medio ambiente. (Jaramillo G.; Zapata L. M. 2008)

2.7 PROPIEDADES DE LOS RSU

El conocimiento de las propiedades de los componentes de los RSU es importante para evaluar las opciones de procesamiento y recuperación.

En este caso, como se considerará utilizar los RSU como combustible, las cuatro propiedades que deben tomar en cuenta son las siguientes:

- Análisis físico
- Punto de fusión
- Análisis elemental
- Contenido energético

2.7.1 ANÁLISIS FÍSICO

El análisis físico para los componentes combustibles de los RSU incluye los siguientes ensayos:

- Humedad (pérdida de humedad cuando se calienta a 105°C durante una hora).
- Materia volátil combustible (pérdida de peso adicional con la ignición a 950°C en un crisol de cristal).
- Carbono fijo (rechazo combustible dejado después de retirar la materia volátil).
- Ceniza (peso del rechazo después de la incineración en un crisol abierto).

2.7.2 PUNTO DE FUSIÓN

El punto de fusión de la ceniza se define como la temperatura en la que la ceniza resultante de la incineración de residuos se transforma en sólido (escoria) por la fusión y la aglomeración. Las temperaturas típicas de fusión para la formación de escoria de RSU varían entre 1100°C y 1200°C.

2.7.3 ANÁLISIS ELEMENTAL

El análisis elemental de un residuo normalmente implica la determinación de porcentaje de Carbono (C), Hidrógeno (H), Oxígeno (O), Nitrógeno (N), Azufre (S) y Ceniza. Los resultados del análisis elemental se utilizan para caracterizar la composición química de la materia orgánica en los RSU. También se usan para definir la mezcla de materiales residuales necesaria para conseguir relaciones C/N aptas para los procesos de conversión biológicas.

Tabla 5: Composición de los RSU

Componentes	porcentaje en masa (%- Base Seca)					
	carbono	hidrogeno	oxigeno	nitrógeno	azufre	cenizas
Restos de comida	48	6,4	37,6	2,6	0,4	5
papel/cartón	43,5	6	44	0,3	0,2	6
plásticos	60	7,2	22,8	0	0	10
textiles	55	6,6	31,2	4,6	0,15	2,5
goma	78	10	0	2	0	10
cuero	60	8	11,6	10	0,4	10
jardín	47,8	6	38	3,4	0,3	4,5
madera	49,5	6	42,7	0,2	0,1	1,5

Fuente: Poletto J. A; da Silva C. L; 2009.

2.7.4 CONTENIDO ENERGÉTICO

Se define como la cantidad de calor que puede entregar un cuerpo. Se debe diferenciar entre poder calorífico inferior y superior: El Poder Calorífico Superior (PCS) no considera corrección por humedad a diferencia del inferior (PCI). Se mide en unidades de energía por masa, [cal/gr], [Kcal/Kg], [BTU/lb] y se utiliza un calorímetro para su medición. (Moratorio D.; Rocco I.; Castelli M., 2012).

2.8 DISPOSICIÓN Y TRATAMIENTO DE LOS RSU

De acuerdo con Haristoy, M. H. 2014 y Vásquez O. 2005, la gestión de los residuos sólidos domiciliarios comprende un amplio número de organismos públicos sectoriales, no existiendo una institución formal con responsabilidades y competencias específicas sobre el conjunto del manejo de los residuos sólidos.

Para comprender de mejor manera la problemática que implica la gestión de los residuos sólidos domiciliarios en la región metropolitana de Chile, se describen los siguientes términos:

2.8.1 GENERACIÓN

La condición socioeconómica y los patrones de consumo urbano influyen directamente en la generación de residuos, siendo los sectores con más altos ingresos, los generadores del mayor volumen per cápita de residuos.

2.8.2 RECOLECCIÓN

La recolección de residuos domiciliarios se realiza de dos maneras: formal e informal. La recolección formal es efectuada por una empresa especializada dependiente de la gestión municipal, mediante camiones compactadores. La recolección informal contempla aproximadamente un 20% del total de residuos sólidos domiciliarios generados, no presentado un mecanismo de transporte definido.

2.8.3 TRANSPORTE

Esta etapa consiste en trasladar la basura recolectada por cada camión hasta su lugar de destino –ya sea una planta de tratamiento o directamente al sitio de disposición final- o bien, hasta las llamadas estaciones de transferencia, donde los RSD son transbordados camiones de mayor capacidad y tonelaje para transportarlos a su lugar de destino.

2.8.4 TRATAMIENTO

Son sistemas productivos que utilizan la basura como materia prima. Algunos procesos que se utilizan son la incineración y el compostaje, teniendo la posibilidad de identificar también materiales para el reciclaje, generan a su vez desechos que requieren de un lugar de disposición final. Así, contribuyen a disminuir la cantidad de residuos que deben ser eliminados, prolongando la vida útil de los sitios de disposición final.

2.8.5 CENTRO DE ACOPIO

Es el proceso de reunión de los materiales que se reciclarán, en el caso de que se efectúe esta operación. Llegan directamente desde los generadores, recolectores o de algún centro de tratamiento intermedio.

2.8.6 RELLENO SANITARIO

Es el lugar de disposición final que siempre debe existir, independientemente de la existencia de tratamientos intermedios. La legislación asigna distintas entidades del gobierno las diferentes tareas de la recolección, transporte y disposición final de los residuos, aunque en las grandes ciudades o focos urbanos se cuenta con el apoyo de empresas privadas que prestan distintos servicios, por lo tanto deben seleccionar al servicio más conveniente. (Haristoy, M. H. 2014) (Vásquez O. 2005)

De acuerdo al reporte sobre la gestión de residuos sólidos en la Región Metropolitana (SEREMI 2014), existen cinco rellenos sanitarios en esta región, que son:

- Relleno Sanitario Loma Los Colorados.
- Relleno Sanitario Santa Marta.
- Relleno Sanitario Santiago Poniente.
- Vertedero Controlado Popeta.
- Relleno Sanitario Cerros La Leona.

2.9 VALORIZACIÓN ENERGÉTICA

Una de las tantas representaciones esquemáticas del triángulo de gestión integral de residuales se muestra en la Figura 5, donde en forma descendente se presentan las acciones que deberían llevarse a cabo para gestionar adecuadamente los residuos sólidos urbanos. En ella están inmersos los conceptos de las 3 R: Reducción, Reúso y Reciclaje; priorizando las opciones de manejo de residuos partiendo de su reducción, reúso, reciclaje, compostaje, digestión anaerobia, su conversión térmica con y sin recuperación de energía, la disposición final en rellenos sanitarios y tiraderos a cielo abierto como última opción. (Monroy L. S; Arbole J. W 2017)



Figura 6: Triángulo de Gestión Sustentable

Cuando la generación de estos residuos es inevitable, deben pasar a ser considerados como un recurso a partir del cual pueden ser recuperados materiales re-utilizable, materia prima,

nutrientes orgánicos e incluso energía. A este proceso de recuperación y tratamiento que pone a gran parte de los desechos en condiciones técnicas y económicas de ser vueltos al mercado se lo denomina proceso de valorización de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU). (Ibañez J.R; Corropoli M. D. 2002)

Según Ibañez J.R, Corropoli M.D y lo expuesto anteriormente por Monroy L. S y Arbole J. W, la adopción de este proceso y el diseño de un plan de implementación ajustado a las características de la ciudad, le permitirá a la comunidad disponer de un sistema económico y ambientalmente adecuado de manejo de sus residuos.

El reciclaje es el proceso por el cual un porcentaje de los desechos urbanos destinados a disposición final en un basural, son recolectados, procesados y re-manufacturados para insertarlos nuevamente al circuito económico.

Desde el punto de vista social, el reciclaje logra disminuir el costo global del manejo de los RSU reduciendo el gasto de disposición final, como así también disminuyendo el impacto ambiental negativo derivado de las acciones humanas.

Sin embargo, para que exista eficiencia económica desde el punto de vista de la empresa, se debe contemplar el circuito completo de la basura, esto es: recolección, procesamiento, comercialización del producido y disposición final del remanente.

Según el Ministerio de Desarrollo Social del Gobierno de Chile 2013, los proyectos de valorización de residuos surgen como una alternativa a la eliminación de éstos mediante su disposición en rellenos sanitarios de acuerdo al Reglamento N°189 (que aprueba las condiciones sanitarias y de seguridad básicas en rellenos sanitarios). Las instalaciones asociadas a los proyectos pueden clasificarse de acuerdo a lo siguiente:

- Instalaciones de reutilización: Instalaciones donde se lleva a cabo la reutilización. Producto de la naturaleza misma de la acción de reutilización, no se desarrollan proyectos de reutilización de residuos que requieran el uso de infraestructura.

- Instalaciones de reciclaje: Instalaciones donde se tratan los residuos reciclables. Pueden desarrollarse proyectos de construcción, mejoramiento o ampliación de las mismas.
- Instalaciones de valorización energética: Instalaciones donde se tratan los residuos valorizables energéticamente. Pueden desarrollarse proyectos de construcción, mejoramiento o ampliación de las mismas.
- Instalaciones intermedias: Instalaciones donde los residuos son acumulados temporalmente y posteriormente transbordados a camiones de mayor capacidad para ser transportados al lugar donde serán tratados (relleno sanitario, instalación de reciclaje o instalación de valorización energética según corresponda).

De acuerdo a Ministerio del Interior (2008) los residuos pueden ser llevados a una instalación intermedia con dos finalidades:

- I. Aumentar la densidad de los residuos, haciendo más eficiente la capacidad de transporte de los vehículos de transferencia.
- II. Aprovechar la operación de traslado para hacer selección de residuos, extrayendo aquellos con potencial de valorización. (Ministerio de Desarrollo Social 2013).

2.10 TIPOLOGÍA DE PROYECTOS DE VALORIZACIÓN DE RESIDUOS

Según el Ministerio de Desarrollo Social del Gobierno de Chile 2013, los tipos de proyectos de esta metodología son relevantes para el análisis los proyectos de eliminación, aunque el detalle respecto a la formulación y evaluación social de los mismos es abordado en la Metodología de preparación y evaluación de proyectos de residuos sólidos domiciliarios y asimilables.

Dado que existe un gran número de tecnologías que permiten valorizar los residuos, es complejo plantear un estándar de proyecto de reciclaje o de valorización energética, ya que distintas combinaciones de tecnologías pueden dar origen a proyectos de valorización distintos. Aun así, es posible definir una serie de proyectos “tipo” según el uso que se le da

al residuo y las acciones principales que se realice con éstos. Algunos ejemplos son indicados en la tabla 3 y desarrollados en mayor detalle a continuación:

Tabla 6: Algunos tipos de proyectos de valorización.

Tipo de instalación	Proyecto tipo
Reciclaje	Planta de compostaje
Valorización energética	Planta de incineración
Intermedia(Acumulación)	Punto verde
	Punto limpio
	Centro de acopio
	Estación de transferencia

2.10.1 PLANTA DE COMPOSTAJE

Es una instalación de valorización donde los residuos orgánicos son reciclados y transformados en compost, un producto que permite mejorar el suelo. Esta técnica puede practicarse tanto con maquinaria especializada y equipos mecanizados como de forma manual, dependiendo del volumen de residuos a tratar.

2.10.2 PLANTA DE INCINERACIÓN

Es una instalación de valorización energética donde se incineran controladamente los residuos a altas temperaturas, permitiendo una reducción de su volumen hasta en un 95%. Se emplean sistemas de filtro para la combustión producto de los subproductos contaminantes que de ésta se generan. Una de las tecnologías más modernas consiste en un incinerador rotatorio en el cual se vacían los residuos dentro de una cámara cilíndrica hasta ser convertidos en agua y cenizas por efecto del calor. En estas plantas también puede generarse energía eléctrica según el poder calorífico de los desechos que se traten.

2.10.3 PUNTO VERDE

Es una instalación de tamaño reducido, que cuenta con contenedores en lugares con acceso público (plazas, supermercados, iglesias, condominios), para la entrega de residuos separados por parte de la ciudadanía, esquema conocido como sistema de entrega. No se realiza pre-tratamiento.

2.10.4 PUNTO LIMPIO

Es una instalación de mayor tamaño, que cuenta con un espacio físico para contenedores, donde se reciben y acumulan selectivamente residuos entregados por los ciudadanos, para su posterior valorización. En este tipo de lugares se puede realizar pre-tratamiento, además de contar con espacio para educación ambiental.

2.10.5 PLANTA DE TRANSFERENCIA

Es una instalación donde se lleva a cabo el transbordo de residuos, desde los vehículos recolectores a vehículos de carga en gran tonelaje, para transportarlos hasta los sitios de destino final.

2.10.6 CENTRO DE ACOPIO

Es una instalación intermedia, de tamaño medio, de almacenamiento temporal de los residuos donde se reciben y acumulan residuos en forma selectiva, provenientes directamente de los hogares o de puntos verdes y punto limpios, con o sin pre-tratamiento, para su posterior valorización.

2.11 VALORIZACIÓN ENERGÉTICA POR MEDIO DE LA INCINERACIÓN

Dentro de los sistemas de reciclaje se ha seleccionado el sistema de la valorización energética mediante incineración, por ser el único que recicla el 100% de la basura tratada y es el sistema más conveniente gracias a su producción energética y el bajo impacto

medioambiental que puede lograr con las nuevas tecnologías. Sin embargo, se debe considerar que la eficacia de la incineración depende de muchos factores, entre ellos el diseño, el control del proceso, la capacidad y eficacia de los dispositivos de control de la contaminación atmosférica.

De acuerdo a la Directiva de Incineración y coincineración 2000/76 del parlamento europeo y del consejo, señala que instalaciones de incineración que valorizan energéticamente los residuos: es cualquier unidad técnica o equipo, fijo o móvil, dedicado al tratamiento térmico de residuos con o sin recuperación del calor producido por la combustión, incluida la incineración por oxidación de residuos, así como la pirólisis, la gasificación u otros procesos de tratamiento térmico.

Esta definición comprende: “El emplazamiento y la instalación completa, incluidas todas las líneas de incineración y las instalaciones de recepción, almacenamiento y pre-tratamiento in situ de los residuos; los sistemas de alimentación de residuos, combustible y aire; la caldera; las instalaciones de tratamiento de los gases de combustión; las instalaciones de tratamiento o almacenamiento in situ de los residuos de la incineración y de las aguas residuales; la chimenea; así como los dispositivos y sistemas de control de las operaciones de incineración, de registro”.

Como ya se mencionó con anterioridad, se ha seleccionado el sistema de la valorización energética mediante la incineración el cual el residuo sólido urbano será valorizado a través de la combustión por medio de una caldera de biomasa.

2.12 CALDERA DE BIOMASA

Este tipo de calderas son consideradas de energía renovable, ya que el CO₂ emitido por el combustible es el mismo el mismo que ha consumido la planta en su ciclo de funcionamiento. Existen diferentes tipos de calderas según sus características (IDAE, 2012c1):

- Calderas específicas de pellets.
- Calderas multi-combustibles.

- Calderas de leña.
- Calderas TDS powerfire.

Según De Val M. 2014, las calderas de biomasa pueden alcanzar rendimientos similares a las calderas de gasóleo o gas, pero normalmente son algo menores. Las calderas más empleadas son las de pellets, siendo éstas muy eficientes y más compactas que el resto de las calderas de biomasa (IDAE, 2012d).

Funcionan introduciendo la biomasa en el quemador por el orificio central, el encendido se produce mediante una inyección de aire caliente a 600 °C, posteriormente se aporta aire primario y secundario para mantener la combustión.

Según la potencia que deba suministrar el sistema, las calderas se pueden catalogar en 2 tipos (Fenercom, 2006):

- Calderas de tamaño medio: entre 50 y 500 kW, están destinadas a cubrir el suministro de un edificio de viviendas, hotel, etc. La gestión de estas es sencilla pero es necesario que una empresa especializada realice la instalación, operación y mantenimiento. También se requiere de un suministrador de biomasa que entregue el combustible regularmente.
- Calderas para viviendas unifamiliares: potencias hasta de 50 kW, cubren las necesidades de una vivienda unifamiliar. Pueden tener una alimentación manual o una automática, como las de mayor tamaño.

2.12.1 PELLETS Y BRIQUETAS

El término briqueta es un término claro por un lado y confuso por otro. Es un término claro ya que una vez vista una briqueta no se puede confundir con otro combustible. Pero es confuso por que la briqueta puede estar fabricada con muy diversos materiales compactados. Así, la materia prima de la briqueta puede ser biomasa forestal procedente de aprovechamientos silvícolas, biomasa forestal procedente de residuos de fábricas de la madera (aserraderos, fábricas de puertas, fábricas de muebles, etc), biomasa residual industrial, biomasa residual urbana, carbón vegetal o simplemente una mezcla de todas ellas.

La característica común de todas las briquetas es su alta densidad. Su forma suele ser cilíndrica; pero no lo es así siempre. Por ejemplo, las briquetas de carbón vegetal que se obtienen compactando polvo o carbón granulado tienen forma de huevo o de avellana de unos 12-20 cm de largo. Cada proceso y fabricante produce una briketa de forma y dimensiones distintas.

La forma de las briquetas es muy variada. Sin embargo, abundan las briquetas de forma cilíndrica. Con diámetros entre los 2 y 20 cm y longitudes entre los 15 y 50 cm. Otras formas usuales son las de prisma cuadrado o prisma hexagonal hueco. En otros casos las briquetas tienen forma de ladrillo. (Marcos F. 2001)

Por otro lado, los pellet son cilindros que se obtienen mediante un prensado de aserrín, virutas o polvo de madera en equipos especialmente concebidos para este fin (prensa pelletizadora). Los pellet deben cumplir con características establecidas por normas de calidad, para ser usados como un combustible domiciliario, comercial e industrial. (Berg A.; Bidart C. et al 2013)

2.12.2 PODER CALORÍFICO DE LOS PELLETS Y BRIQUETAS

Como ya se mencionó con anterioridad, se entiende por poder calorífico la cantidad de energía desprendida por un kg de combustible al quemarse. Si en la combustión el agua se recoge condensada tendremos el poder calorífico superior (PCS). Si el agua se evapora tendremos el poder calorífico inferior (PCI). El PCS es un valor que se obtiene en los laboratorios mediante ensayos con una bomba calorimétrica. Siempre el PCS es mayor que el PCI, ambos son medidos en kcal/kg o kJ /kg.

Esta es la característica fundamental que define a un combustible como tal. Altos poderes caloríficos, indican buenos combustibles y bajos poderes caloríficos señalan combustibles más discretos. El poder calorífico depende fundamentalmente de la composición química del combustible.

El poder calorífico de la materia orgánica será función del material de procedencia. Suponiendo que es madera y corteza sin aditivos su poder calorífico será el de la madera de

la que proviene. Si la materia orgánica incluye restos de lijado el poder calorífico es menor pues aparecen los áridos de la lijadora. Estos áridos también darán lugar a un mayor porcentaje de cenizas en la combustión. Sin embargo, como el poder calorífico inferior es función de la humedad y tanto el pellets como la briqueta están más secos que las astillas podemos concluir que su poder calorífico es mayor.

De acuerdo con Gonçalves J. (2006), es posible mezclar residuos sólidos urbanos con madera, específicamente *Eucalyptus grandis*, para producir briquetas que presenten un mayor poder calorífico. En dicho estudio analizaron la mezcla de madera (*Eucalyptus grandis*) con residuos sólidos domiciliarios (en porcentaje) comenzando con 100% en madera, 95%, 90%, 85%, 80% hasta llegar a una mezcla de 75% madera y 25% de RSD, siendo esta última mezcla la más óptima ya que se obtuvo un mayor poder calorífico.

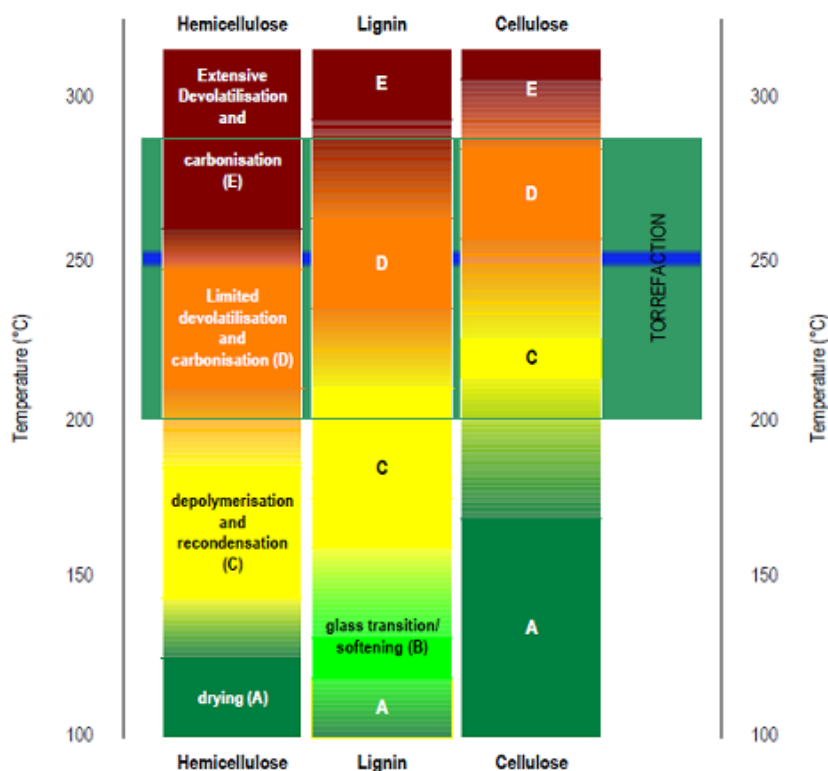
Así mismo, Ramos Casado R. (2015) realizó un estudio donde mezcló residuos sólidos urbanos con restos de poda de árboles de olivo al 50% en masa donde obtuvo mejoras en el rendimiento del poder calorífico del combustible utilizado

2.13 TORREFACCIÓN

Según la revista Chile Forestal (2012), la torrefacción es un proceso termoquímico que tiene lugar en un ambiente inerte o con oxígeno limitado en el que la biomasa es calentada en un rango de temperatura específica, y durante un tiempo determinado, produciéndose la casi completa degradación de la hemicelulosa contenida en la biomasa. Como consecuencia se obtiene un producto con mejores características como combustible sólido, con mayor poder calorífico, mejores propiedades hidrófobas, menor resistencia a la molienda y sin crecimiento de la actividad bacteriana que pueda degradar el biocombustible. La temperatura para llevar a cabo este proceso se sitúa entre 200 y 300°C. A temperaturas mayores se obtendrían resultados indeseados, ya que la lignina se perdería en un alto porcentaje y ello resultaría en una enorme dificultad a la hora de realizar pellets con el material. Además, existen otras desventajas a temperaturas mayores de 300°C, como la volatilización o carbonización de los polímeros (Losada L. 2016)

De acuerdo con Losada L. 2016, distintos rangos de temperatura a los que la biomasa se ve sometida se va produciendo la descomposición térmica del material; la hemicelulosa es químicamente más activa entre los 100-260°C, pero su mayor degradación se produce por encima de los 200°C; la celulosa se degrada a temperaturas superiores a 275°C; la lignina se degrada gradualmente entre los 250°C y los 500°C.

Figura 7: Fenómenos producidos en materiales lignocelulósicos durante la torrefacción.



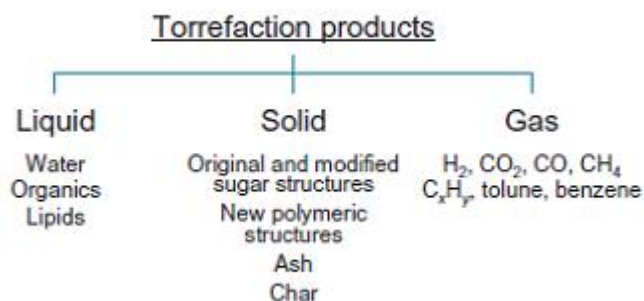
Fuente: Bergman, 2005

2.13.1 PRODUCTOS DE LA TORREFACCIÓN

Tanto las condiciones en las que se lleve a cabo el proceso de torrefacción como las características iniciales de la biomasa van a condicionar las propiedades de los productos formados. Dichos productos pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos, siendo el producto deseado el sólido, debido a la mejora de las cualidades de éste. A su vez, el producto gaseoso

es susceptible de ser utilizado, principalmente mediante su aprovechamiento para proporcionar energía al mismo proceso de torrefacción, por lo que éste puede ser un proceso automantenido.

Figura 8: Productos obtenidos de la torrefacción de biomasa



La fase sólida formada se compone de estructuras de celulosa, originales y modificadas, nuevas estructuras de polímeros con anillos aromáticos y cenizas.

La fase gaseosa se compone principalmente de gases con punto de ebullición por debajo de los -33°C y por compuestos aromáticos como benceno y tolueno.

En cuanto a los productos líquidos obtenidos, además de agua procedente de la evaporación, se forman productos orgánicos, principalmente durante el proceso de desvolatilización y carbonización. A su vez, se obtienen también lípidos como productos de la fase líquida. Éstos son componentes que estaban presentes en la biomasa original y que pueden evaporarse durante la torrefacción (Losada L. 2016).

La Unidad de Desarrollo Tecnológico (UDT) de la Universidad de Concepción, desarrolla una tecnología para la producción de pellets torrefactados, para uso en la generación termoeléctrica. El producto obtenido es pellet torrefactado, que tiene una densidad energética siete veces superior a la biomasa sin tratar ($4,5 \text{ MWh/m}^3$) y presenta características compatibles con el carbón mineral, como poder calorífico, triturabilidad, densidad energética e hidrofobicidad, lo que le infiere ventajas comparativas en transporte, distribución, almacenamiento y manipulación. Sin embargo, este proceso es llevado a nivel de una planta piloto y no a gran escala. (Lignum 2014)

2.14 TRANSFERENCIA DE CALOR

Según Yunus y Çengel 2011, la transferencia de calor es aquella ciencia que trata de la determinación de las razones de la transferencia de energía de un sistema a otro como resultado de la diferencia de temperatura.

A su vez, según Holman 1999, la transferencia de calor es aquella ciencia que busca predecir la transferencia de energía que puede ocurrir entre cuerpos materiales, como resultado de una diferencia de temperatura.

Existen tres modos de transferencia de calor: conducción, convección y radiación.

2.14.1 CONDUCCIÓN

Se define la conducción del calor como la transferencia de energía térmica de las partículas más energéticas de un medio hacia las menos energéticas adyacentes. Así mismo, la conducción puede tener lugar en los líquidos y los gases así como en los sólidos, siempre que no se tenga un movimiento masivo (Yunus y Çengel 2011).

Cuando existe un gradiente de temperatura en un cuerpo, hay una transferencia de energía de la región de alta temperatura a la de baja temperatura. Se dice que la energía es transferida por conducción y que la rapidez de transferencia de energía por unidad de área es proporcional al gradiente normal de temperatura (Holman 1999).

$$q = -kA \frac{\delta T}{\delta x}$$

Donde:

q = Rapidez de transferencia de calor.

$\delta T / \delta x$ = Gradiente de temperatura en la dirección del flujo de calor.

A = Constante positiva

k = Conductividad térmica del material, y el signo menos se inserta para que se satisfaga el segundo principio de la termodinámica.

2.14.2 CONVECCIÓN

Según Ruiz Chiriboga A. 2014, la convección es un modo de transferencia de calor cuya energía térmica se transmite de una región de alta temperatura a una de baja temperatura, entre un medio sólido con un fluido en contacto físico directo.

De acuerdo con Yunus y Çengel 2011, la convección constituye el mecanismo de transferencia de calor a través de un fluido, en presencia de un movimiento masivo de éste.

La convección se clasifica como convección natural(o libre) y forzada, dependiendo de la manera en que se inicia el movimiento del fluido: En la convección forzada se obliga a que el fluido fluya sobre una superficie o en un tubo por medios externos, como una bomba o un ventilador. En la convección natural, cualquier movimiento del fluido es causado por medios naturales

Para expresar el efecto de convección de calor, se utiliza la ley de Newton, donde la rapidez de transferencia de calor está relacionada con la diferencia de temperaturas entre la pared y el fluido y el área de la superficie.

$$q = h A_s (T_s - T_{\infty})$$

Donde:

h = coeficiente de transferencia de calor por convección, $W/m^2 \text{ } ^\circ C$

A_s = área superficial de transferencia de calor, m^2

T_s = temperatura de la superficie, $^\circ C$

T_{∞} =temperatura del fluido suficientemente lejos de la superficie, $^\circ C$

A juzgar por sus unidades, el coeficiente de transferencia de calor por convección h se puede definir como la razón de la transferencia de calor entre una superficie sólida y un fluido por unidad de área superficial por unidad de diferencia en la temperatura.

2.14.3 RADIACIÓN

De acuerdo con Holman 1999, en contraste con los mecanismos de conducción y convección, en donde está involucrada la transferencia de energía a través de un medio material, el calor también se puede transferir a regiones donde existe el vacío perfecto. En este caso, el mecanismo es la radiación electromagnética. Cuando dos cuerpos intercambian calor por radiación, el intercambio de calor neto es entonces proporcional a las diferencias en T^4 .

$$q = \sigma A (T_1^4 - T_2^4)$$

Donde:

σ = Constante de proporcionalidad de Stefan Boltzmann con el valor de $5.669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

A = área superficial de transferencia de calor, m^2

T_1 = Temperatura de la superficie 1, en K

T_2 = Temperatura de la superficie 2, en K

CAPITULO III.

METODOLOGÍA

A lo largo de este capítulo se explicará el mecanismo utilizado para la solución de la problemática de investigación.

La metodología propuesta se basa en la evaluación de proyectos, el cual determina el establecimiento de cambios generados por el proyecto a partir de la comparación entre el estado actual y el estado que presenta el caso en estudio.

Finalmente, mediante un criterio económico, se valida la solución propuesta para la problemática en estudio.

3.1 ANTECEDENTES Y DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

3.1.1 IDENTIFICACION DEL PROBLEMA

Chile, al igual que todos los países que presentan un acelerado proceso de desarrollo, concentra un alto volumen de su población en zonas urbanas consolidadas. El proceso de crecimiento, distribución y concentración de la población favorecen la generación de residuos sólidos domiciliarios (RSD). La alta concentración de estos residuos pueden originar riesgos a la comunidad y su entorno, que se traducen en contaminación de aguas superficiales y/o subterráneas, suelos y del aire.

Así mismo, el desarrollo de las políticas públicas en el ámbito de los residuos sólidos en la región metropolitana se ha orientado mayoritariamente a mejorar las condiciones sanitarias y ambientales asociadas a su adecuado manejo, desde su generación hasta su eliminación en destinatarios autorizados. En la actualidad, un alto porcentaje de los residuos sólidos que se generan en la región son eliminados en las instalaciones que se ajustan a la normativa sanitaria y ambiental de Chile. No obstante, se plantea que debiesen existir planes y programas destinados a reducir su generación, favorecer la utilización de materiales recuperados como fuente de energía o materias primas, a fin de contribuir a la preservación y uso racional de los recursos naturales y aumentar la vida útil de los sitios habilitados para su eliminación.

La utilización de una caldera de biomasa que utiliza residuos sólidos domiciliarios como fuente de energía logrará resolver la problemática de la utilización de los desechos como materia prima para la utilización como fuente de energía.

La instalación de este tipo de caldera logra la valorización de los residuos sólidos domiciliarios para la climatización y calefacción de la piscina temperada de la comuna de San Bernardo.

3.1.2 SOLUCIÓN PROPUESTA

Se busca en este proyecto una estrategia que permita disminuir el problema de disposición final a través de un mejor aprovechamiento de los residuos potencialmente valorizables.

Actualmente los residuos sólidos domiciliarios de la comuna de San Bernardo son llevados al relleno sanitario Santa Marta. Para este proyecto la solución planteada consiste en implementar una caldera de biomasa que utiliza residuos sólidos domiciliarios como energía para climatizar y mantener las condiciones de confort en la piscina temperada de dicha comuna para así minimizar los costos que tiene el municipio en la distribución de la basura como también los costos de mantención y operación que presenta el recinto deportivo de la comuna.

3.2 DIAGNÓSTICO INICIAL Y SELECCIÓN DEL CASO ESTUDIO.

3.2.1 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Para favorecer el éxito del proyecto se deben incorporar el análisis de los siguientes aspectos:

Calidad de los materiales, “no todos los residuos potencialmente valorizables son usado en la práctica puesto que la calidad de muchos de ellos no está de acuerdo con los estándares mínimos necesarios para que sean puestos en el mercado”.

La comuna de San Bernardo se ha sumado al plan de acción de “Santiago Recicla”, cuyo principal desafío es reutilizar el 25% de los residuos sólidos domiciliarios de la capital, al

año 2020. Sin embargo, la cantidad de residuos sólidos domiciliarios reciclados en la actualidad no son suficiente para abastecer la demanda requerida por la caldera; por lo que se considera el supuesto de la existencia de un programa de reciclaje en etapa avanzada dentro de la comuna, además de una conciencia por parte de la comunidad de separación de los desechos que permiten que los residuos que procesa la caldera son en su mayoría desechos orgánicos, permitiendo de esta manera su correcto funcionamiento.

3.2.2 SELECCIÓN DEL CASO ESTUDIO

3.2.2.1 ÁREA DE ESTUDIO

Se implementará el proyecto de la instalación de una caldera de biomasa a partir de residuos sólidos domiciliarios en la piscina climatizada en la comuna de San Bernardo, ya que de acuerdo al informe “PRIMER REPORTE DEL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN CHILE, 2010” ésta es la cuarta comuna de la Región Metropolitana que más produce residuos domiciliarios (140.570 ton/año), razón por la cual este proyecto podría producir un cambio importante en la gestión de los residuos de dicha comuna.

3.2.2.2 DEMANDA ACTUAL Y PROYECTADA

Según el último informe realizado por el departamento de Aseo y Ornato de la Municipalidad de San Bernardo, la cantidad de residuos domiciliarios generados en el año 2016 fue de 163.357,56 toneladas.

Para estimar la proyección de cantidad de residuos generados, se ocuparán los registros de toneladas depositadas en el relleno sanitario correspondiente de la comuna. De acuerdo a la información entregada por el departamento ya mencionado, las toneladas de residuos domiciliarios destinados en el relleno sanitario desde el año 2009 en adelante se muestran en la tabla 4. Con estos datos es posible estimar el promedio de la tasa de crecimientos de los últimos 7 años siendo éste un 7,8%.

Tabla 7 Cantidad de residuos sólidos domiciliarios en la comuna del San Bernardo.

Comuna	año	ton/año
San Bernardo	2009	98.428,89
	2010	99.297,33
	2011	102.335,52
	2012	112.621,97
	2013	142.278,93
	2014	151.459,54
	2015	155.723,03
	2016	163.357,56

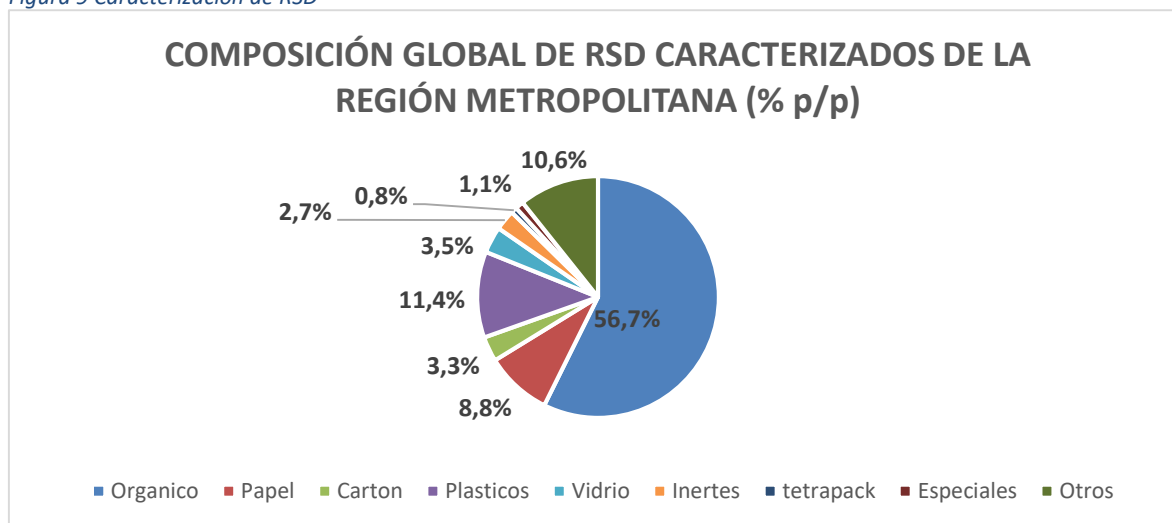
En la tabla B del Anexo se muestran los valores proyectados de la demanda actual entre los años 2017 hasta el año 2040.

3.2.2.3 DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD ACTUAL DE RESIDUOS VALORIZABLES

Para conocer la fracción de los residuos que tienen un potencial de ser reciclados se debe conocer la composición de estos. Al respecto, existen estudios sobre la materia en función de los residuos que se generaron durante los años 2010 y 2011 en la Región Metropolitana (Primer reporte del manejo de residuos sólidos en Chile, 2010).

Según caracterizaciones realizadas por Ingeniería Alemana S.A. (IASA) en distintas comunas del país, la composición se encuentra dominada por la fracción orgánica, con un aporte representativo cercano al 20 % de material posible de ser reciclado; en el gráfico se puede observar la composición general de los RSD del total de las comunas caracterizadas en la RM, esta gráfica presenta un resumen de la composición media de los distintos Niveles Socio económicos y densidad de ocupación del territorio.

Figura 9 Caracterización de RSD



Fuente: IASA.

Para este proyecto se realiza el supuesto que la caracterización de los residuos sólidos urbanos en la región metropolitana realizado en el año 2010 no ha cambiado y que dicha composición se mantiene homogénea para todas las comunas de esta región, es decir, para la comuna de San Bernardo, en la actualidad, la caracterización de los residuos domiciliarios corresponde a la representada en la Figura 2.

3.2.2.4 PROYECCIÓN DE LA CANTIDAD DE RESIDUOS VALORIZABLES

El cálculo de la proyección se basa en la multiplicación de, la fracción orgánica de los residuos con la proyección de cantidad de residuos generados por la comuna de San Bernardo.

Los valores obtenidos se pueden observar en el Anexo.

Una vez determinado la proyección de la cantidad de residuos valorizables, se calcula la cantidad de energía que aporta dicho residuo.

El poder calorífico de un combustible es la cantidad de energía desprendida en la reacción de combustión, referida a la unidad de masa de combustible. En el caso de este estudio, el poder calorífico del combustible de interés es de 530 kWh/ton.

Se considerará como base la cantidad de residuos sólidos domiciliarios valorizable proyectados para el año 2017, cuya cantidad de energía obtenida es de 52.912.421,5 kWh/año.

3.2.3 DEMANDA ENERGÉTICA DE LA PISCINA TEMPERADA DE SAN BERNARDO

En general en una piscina cubierta el agua y el aire interior se enfrían y se debe calentar para garantizar unas condiciones satisfactorias de confort en el interior. El aire se enfría fundamentalmente por el proceso de deshumidificación: es necesario mantener una humedad relativa en los términos que marca la legislación, pero siempre hay un aporte de humedad debido a la evaporación del agua del vaso de la piscina. El proceso de deshumidificación consiste en hacer pasar un cierto caudal del aire interior a través de una batería fría, lo que hace condensar parte de su humedad, a la vez que el aire se enfría. Por este motivo es necesario volverlo a calentar para devolverlo a la temperatura ambiente.

En cuanto al agua del vaso de la piscina, se puede encontrar diversas razones por las que el agua pierde calor y es necesario calentarla de forma permanente:

- Por la evaporación del agua de la piscina
- Por las pérdidas por transmisión de calor
- Por la renovación continua del agua que exige la normativa

En este capítulo se va a realizar una evaluación de estas pérdidas con el fin de evaluar la demanda energética del vaso de la piscina.

3.2.3.1 CÁLCULO DE LA DESHUMIFICACIÓN DEL AIRE

La evaporación es un fenómeno superficial y éste será mayor cuando la ocupación de la piscina también lo sea. A su vez, si la velocidad del aire es considerable, entonces se favorece este fenómeno, al igual que las paredes y bañistas mojados. El calor latente de

los nadadores y del público así como el aire exterior usado para ventilar también es un factor de pérdida ya que puede contener más humedad que el aire interior.

De las diversas ecuaciones aplicables para el cálculo de la deshumidificación, se ha escogido la expresión de Bernier para piscinas cubiertas, ya que contempla la suma de dos términos:

- piscina sin agitación (coeficiente 16)
- piscina con ocupación (coeficiente $133 \cdot n$)

$$M_e = S * [(16 + 133 * n) * (W_e - G_a * W_{as})] + 0,1 * N \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

M_e = Masa de agua evaporada (kg/h)

S = Superficie de piscinas: 375 m^2

W_e = Humedad absoluta del aire saturado a la temperatura del agua ($\text{kg}_{\text{agua}} / \text{kg}_{\text{aire}}$):

a $28^\circ\text{C} \rightarrow 0,024 \text{ kg}_{\text{agua}} / \text{kg}_{\text{aire}}$

W_{as} = humedad absoluta del aire saturado a la temperatura del aire interior ($\text{kg}_{\text{agua}} / \text{kg}_{\text{aire}}$):

$30^\circ\text{C} \rightarrow 0,027 \text{ kg}_{\text{agua}} / \text{kg}_{\text{aire}}$

G_a = grado de saturación (Humedad relativa): 55%

n = n° promedio de nadadores por hora y por m^2 de superficie de lámina de agua: $\frac{80 \text{ nadadores}}{375 \text{ m}^2}$

N = número promedio de espectadores por hora = 8 espectadores/h

En la siguiente tabla (tabla 8) se muestran los valores de las humedades absolutas del aire saturado:

Tabla 8: Humedad absoluta del aire saturado.

T (°C)	Humedad absoluta W (kg AGUA/ kg AIRE):
20	0,0147
21	0,0155
22	0,0165
23	0,0177
24	0,0187
25	0,02
26	0,0213
27	0,0225
28	0,024
29	0,0255
30	0,027

Aplicando la ecuación (1) se puede determinar el valor de M_e :

$$M_e = 375 \text{ m}^2 * \left[\left(16 + 133 * \frac{80}{375 \text{ m}^2} \right) * \left(0,024 \frac{\text{kg agua}}{\text{kg aire}} - 0,55 * 0,027 \frac{\text{kg agua}}{\text{kg aire}} \right) \right] + 0,1 * 8$$

$$M_e = 153,056 \text{ kg agua/h}$$

Por tanto, es conveniente que la temperatura del agua no sea excesivamente alta y que la temperatura del aire sea siempre mayor que la del agua para que la evaporación y las condiciones de confort sean las adecuadas. Puesto que cuanto mayor sea la temperatura del agua será mayor su humedad absoluta en la saturación y como consecuencia aumentará la cantidad de agua evaporada, en las mismas condiciones del aire ambiente.

3.2.3.2 PÉRDIDAS DE CALOR DEL AGUA DEL VASO DE LA PISCINA

Para poder mantener la temperatura del vaso es necesario mencionar las diferentes pérdidas de calor provocando el siguiente balance de energía:

Q_E = Pérdidas por evaporación del agua del vaso

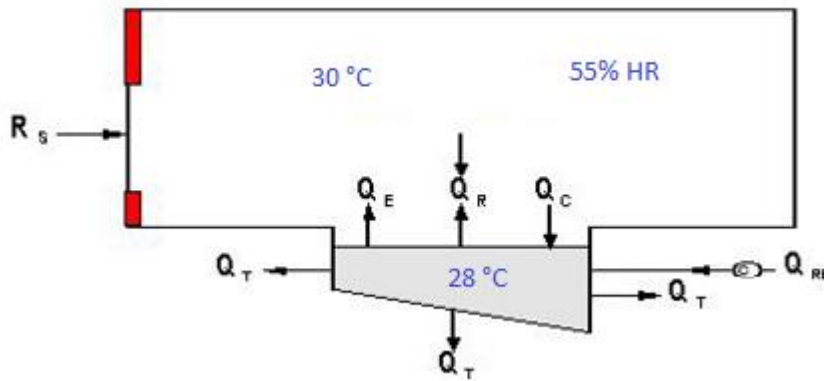
Q_R = Pérdidas por radiación de calor

Q_C = Pérdidas por convección de calor

Q_T = Pérdidas por transmisión

Q_{RE} = Pérdidas por renovación del agua del vaso

Figura 10: Esquema de las pérdidas de calor.



A continuación se analizan cada uno de estos tipos de pérdidas:

3.2.3.3 PÉRDIDAS POR EVAPORACIÓN DEL AGUA DEL VASO.

Durante el proceso de evaporación del agua del vaso de la piscina se absorbe calor mayoritariamente de la propia agua líquida, produciéndose un enfriamiento del resto de agua que no se evapora. Por lo tanto, la temperatura del agua del vaso disminuye. Así, cuanto mayor sea la evaporación mayor será el enfriamiento del agua del vaso de la piscina y mayores serán las necesidades que habrá que aportar para mantener la temperatura de la misma.

Las pérdidas de calor por evaporación del agua son directamente proporcionales a la cantidad de bañistas contenidos en el vaso.

$$Q_e = M_e * C_v [W] \quad \text{Ecuación 2}$$

O bien:

$$Q_e = \{S * [(16 + 133 * n) * (W_e - G_a * W_{as})] + 0,1 * N\} * C_v \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

M_e = masa de agua evaporada (kg/h)

C_v = calor de vaporización del agua, siendo su valor igual a 2435,2 kJ/kg o 676,44 Wh/ kg para una temperatura de 28 °C (tabla anexo Propiedades del agua saturada (líquido-vapor): Tabla de temperaturas)

$$Q_e = 153,056 \text{ kg/h} * 2435,2 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_e = 372721,971 \text{ kJ/h}$$

O bien:

$$Q_e = 103.533,2 \text{ W}$$

3.2.3.4 PÉRDIDA POR RADIACIÓN

Para calcular las pérdidas que el vaso de la piscina por radiación se utiliza la fórmula de Stefan-Boltzmann. Estas dependen de la diferencia entre la temperatura media del agua y de los cerramientos.

$$Q_r = S * \varepsilon_a * \sigma * (T_{ag}^4 - T_a^4) [W] \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

S = Superficie del vaso de la piscina.

ε_a = Emisividad del agua.

σ : Constante de Stefan-Boltzmann: $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/ m}^2 \text{ K}^4$

T_{ag} : Temperatura del agua.

T_a : Temperatura del recinto (T° superficial de los cerramientos)

En el caso de las piscinas cubiertas los cerramientos deben encontrarse a muy pocos grados de temperatura por debajo dependiendo del tipo de cerramiento y coeficiente de transmisión de calor, de la del aire ambiente, y por tanto a muy poca diferencia con la del agua, por lo que estas pérdidas por radiación en piscinas cubiertas se consideran despreciables.

3.2.3.5 PÉRDIDAS POR CONVECCIÓN DE CALOR

Las pérdidas por convección son también pequeñas por el mismo motivo que en el caso de las de radiación. Además, se da el caso de tener una ganancia en lugar de pérdidas ya que la temperatura del recinto es superior a la del agua.

Para calcular las pérdidas por convección se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q_{conv} = S * 0,6246 * (T_{agua} - T_{aire})^{4/3} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

T_{agua} : Temperatura del vaso de agua: 28 °C, equivalente a 301,75 K

T_{aire} : Temperatura del aire: 30 °C, equivalente a 303,75 K

S: Superficie del vaso de la piscina: 375 m²

$$Q_{conv} = 375 \text{ m}^2 * 0,6246 * (301,75 \text{ K} - 303,75^\circ\text{C})^{4/3}$$

$$Q_{conv} = 590,21 \text{ W}$$

3.2.3.6 PÉRDIDAS POR RENOVACIÓN DEL AGUA DEL VASO.

La normativa exige la renovación del agua de la piscina por razones higiénicas (al menos 5% volumen del vaso al día), esto provoca una gran pérdida de calor. Cabe señalar que el tamaño de estas pérdidas dependerá de la temperatura del agua de la red y de la temperatura que tenga la piscina.

Se puede calcular el calor cedido por la renovación del agua mediante la siguiente fórmula:

$$Q_{ren} = V_{ren} * \rho_{agua} * C_e * (T_{agua} - T_{red}) \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

V_{ren}: Corresponde al volumen de agua renovada, en este caso corresponde el 15% del volumen de la piscina: $600 \cdot 0,15 = 90 \text{ m}^3/\text{día}$

ρ: Densidad del agua: 1000 kg/m^3

C_e: calor específico del agua: $1,16 \text{ W h/kg } ^\circ\text{C}$

T_{agua}: temperatura agua piscina: $28 ^\circ\text{C}$

T_{red}: temperatura mínima red de agua, según Norma Técnica Ley N° 20.365, Ministerio de Energía 2010.

Como se deduce al observar la ecuación 6, las pérdidas por renovación del agua de la piscina no serán constantes a lo largo de todo el año, puesto que durante el mismo existe una variación de la temperatura del agua de red, por lo que se debe considerar esta variabilidad en los cálculos.

La siguiente tabla (tabla 9) se muestra los valores mensuales y anuales de las pérdidas por renovación.

Tabla 9: Pérdida de calor por renovación.

Mes	Nº días o renovaciones (días)	Volumen de renovación (m³)	Densidad agua (kg/m³)	Ce agua (Wh/kg °C)	T° agua piscina	T° agua red	Q renovación (kWh)
Enero	31	90	1000	1,16	28	17,5	33982,2
Febrero	-	-	-	-	-	-	0
Marzo	31	90	1000	1,16	28	16	38836,8
Abril	30	90	1000	1,16	28	14	43848
Mayo	31	90	1000	1,16	28	12	51782,4
Junio	30	90	1000	1,16	28	11	53244
Julio	31	90	1000	1,16	28	11	55018,8
Agosto	31	90	1000	1,16	28	11,8	52429,68
Septiembre	30	90	1000	1,16	28	12,5	48546
Octubre	31	90	1000	1,16	28	14	45309,6
Noviembre	30	90	1000	1,16	28	15,5	39150
Diciembre	31	90	1000	1,16	28	16,5	37218,6
Pérdidas Totales							499366,08

3.2.3.7 PÉRDIDA POR TRANSMISIÓN

Las pérdidas por transmisión son debidas al flujo de calor que se establece desde el vaso de la piscina en dirección a regiones más frías del exterior a través de sus cerramientos. Estas pérdidas dependen de la arquitectura de la piscina y del coeficiente de transmisión térmica del material utilizado.

Las pérdidas por transmisión se calculan mediante la expresión:

$$Q_{trans} = S_{cerr/vaso} * C_t * (T_{agua} - T_{pared}) \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

C_t: Coeficiente de transmisión de las paredes: 1,50 W/m² °C. Para la capa de azulejos y base de hormigón.

S_{cerr/vas}: Superficie de cerramiento del vaso:

T_{agua}: Temperatura del agua de la piscina 28 °C

T_{pared}: Temperatura paredes (exterior al cerramiento)

En la siguiente tabla (tabla 10) se muestran los valores obtenidos de la pérdida calórica mensuales por transmisión.

Tabla 10: Pérdidas de calor por transmisión.

Mes	Ct (W/ m ² °C)	S (m ²)	T° agua piscina (°C)	T° pared (°C)	H totales de apertura (h)	Q transmisión (kWh)
Enero	1,5	375	28	19	347	1756,6875
Febrero	1,5	375	28	19	0	0
Marzo	1,5	375	28	19	311	1574,4375
Abril	1,5	375	28	19	325	1645,3125
Mayo	1,5	375	28	19	361,5	1830,09375
Junio	1,5	375	28	19	347	1756,6875
Julio	1,5	375	28	19	339,5	1718,71875
Agosto	1,5	375	28	19	361,5	1830,09375
Septiembre	1,5	375	28	19	339,5	1718,71875
Octubre	1,5	375	28	19	347	1756,6875
Noviembre	1,5	375	28	19	347	1756,6875
Diciembre	1,5	375	28	19	339,5	1718,71875
Pérdidas totales (año)						19062,8438

Al observar la tabla se puede deducir que las pérdidas por transmisión van a ser prácticamente constante a lo largo de todo el calendario de apertura, puesto que se consideró que la temperatura de la superficie que encierra a los vasos va a sufrir poca variación a lo largo del año.

3.2.3.8 RESUMEN DE PÉRDIDAS EN EL VASO DE LA PISCINA

En la siguiente tabla se indica un resumen con los valores de las distintas pérdidas obtenidas para el ejemplo de aplicación utilizado:

Tabla 11: Resumen de las pérdidas de calor del agua de la piscina

Balance energético	Q (kWh/año)	%
Pérdida por evaporación	386851,80	42,733%
Pérdida por radiación	0,00	0%
Pérdida por convección	0,00	0%
Pérdida por renovación	499366,08	55,161%
Pérdida por transmisión	19062,84	2,11%
Subtotal	905280,73	100%

Las pérdidas por evaporación y convección se pueden considerar constantes a lo largo del año, no así las de renovación y transmisión que dependen de la temperatura de la red y la temperatura exterior.

3.2.3.9 POTENCIA NECESARIA PARA LA PUESTA EN MARCHA.

Las pérdidas consideradas en el punto anterior son aquellas que son necesarias compensar para mantenimiento de las condiciones del vaso durante el régimen de funcionamiento de la piscina. Es necesario además otro aporte energético para elevar el agua contenida en el vaso de la piscina desde la temperatura de la red a la temperatura de régimen, la duración que se fije para este período de puesta en régimen marca realmente el dimensionamiento de los equipos que forman parte de la producción y distribución de calor. El tiempo para puesta en régimen se fija alrededor de 120 horas, y la potencia necesaria en W para el calentamiento inicial del agua contenida en el vaso, viene dado por la expresión:

$$Q_{pr} = \frac{V \cdot \rho \cdot C_e \cdot (T_{ag} - T_{red})}{t}$$

Ecuación 8

Donde:

V: volumen de las piscinas: 600 m³

ρ: Densidad del agua: 1000 kg/m³

C_e: calor específico del agua: 1,16 Wh / kg·°C

T_{ag}: temperatura agua piscina: 28 °C

T_{red}: temperatura agua red.

t: Tiempo de puesta en régimen (5 días = 120 h). Se toma este tiempo de puesta en régimen para que la potencia que se tiene que utilizar no requiera de equipos auxiliares o de mayor potencia. Además se considera que se realizará una vez al año en la mantención de los equipos.

Asumiendo que la renovación total del volumen del agua de los vasos se llevará a cabo en 120 horas y al comienzo de la temporada, en Febrero, tomaremos la temperatura media del agua de red para ese mes (16 °C) .

$$Q_{pr} = \frac{600 \text{ m}^3 * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1,16 \frac{\text{Wh}}{\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}} * (28 \text{ } ^\circ\text{C} - 16 \text{ } ^\circ\text{C})}{120h}$$
$$Q_{pr} = 69,6 \text{ kWh}$$

3.2.3.10 CÁLCULO DE CALENTAMIENTO DE AGUA CALIENTE SANITARIA (ACS)

Para el cálculo de las necesidades energéticas y de suministro de agua para el agua caliente sanitaria (ACS), se han tomado los valores exigidos por la Superintendencia de Servicios Sanitarios según la norma NCh 409/1, el cual indica que el ACS debe encontrarse en un rango de temperatura mayor que 30°C y menor que 43°C. Para este trabajo se considerará una temperatura de ACS igual a 40 °C.

En el recinto deportivo se ha de hacer frente a una alta demanda de ACS durante el año, puesto que las actividades que en él se desarrollan (natación, yoga, entrenamiento funcional,

entre otros) tienen una actividad intensiva a lo largo de los meses del calendario de apertura. Se establece un número hipotético de 300 duchas diarias.

Las necesidades que debe cubrir la producción de ACS son:

- Disponibilidad de ACS en todo momento
- Seguridad de suministro frente a variaciones de la demanda
- Temperatura de agua suficiente

La ecuación que determina la cantidad de calor (Q_{ACS} en kcal) destinada a cubrir la demanda de ACS es:

$$Q_{ACS} = n * N * V * C_{p\ agua} * (T_u - T_{red}) \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

n = número de días al mes

N= Número de usos al día

C_p agua = $1,1623 \times 10^{-3}$ (kWh/ kg K)

V = volumen de agua utilizado por uso (litros)

T_u = temperatura de utilización (°C)

T_{red} = temperatura de red de agua (°C)

Como se desprende de la ecuación anterior, y una vez fijado el número de ocupantes diario, será necesario conocer el volumen de agua utilizado por persona en cada ducha, así como la temperatura del agua de red.

Según la Superintendencia de Servicios Sanitarios, una persona consume 60 litros de agua en una ducha de 5 minutos, por lo que se utilizará este dato para poder determinar el calor necesario para el suministro de agua.

En la tabla 12 muestra la demanda de ACS para el total de usos existentes en el recinto deportivo, siendo la demanda total de 157.997,27 kWh/año.

Tabla 12: Demanda de ACS mensual del recinto deportivo.

Mes	Nº días hábiles del mes	Nº uso diario (usos/días)	Volumen de agua por uso (l/uso)	Cp Agua (kWh/kg K)	Temperatura de utilización	Temperatura red de agua	Demanda ACS (kWh)
Enero	26	300	60	0,001163	40	17,5	12246,39
Febrero	-	-	-	-	-	-	-
Marzo	27	300	60	0,001163	40	16	13565,23
Abril	25	300	60	0,001163	40	14	13607,10
Mayo	27	300	60	0,001163	40	12	15826,10
Junio	26	300	60	0,001163	40	11	15784,24
Julio	26	300	60	0,001163	40	11	15784,24
Agosto	27	300	60	0,001163	40	11,8	15939,15
Septiembre	26	300	60	0,001163	40	12,5	14967,81
Octubre	26	300	60	0,001163	40	14	14151,38
Noviembre	26	300	60	0,001163	40	15,5	13334,96
Diciembre	26	300	60	0,001163	40	16,5	12790,67
Demanda Total							157997,27

3.2.3.11 PÉRDIDA DE CALOR POR CERRAMIENTO.

Los cerramientos que componen el recinto en el que se ubican las piscinas y, en concreto, la superficie que está en contacto con el aire ambiente interior, ejercen de intercambiadores de calor (en un sentido y en el otro) produciéndose, a lo largo del año, unas importantes pérdidas de calor a través del materias del que están constituídos dichos cerramientos.

Su expresión de cálculo se obtiene a partir de la ecuación de transferencia de calor por conducción, para el caso unidimensional:

$$Q_{\text{cerr}} = K * S * (T_{AI} - T_{AE}) \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

Q_{cerr} = Pérdidas de calor por cerramientos

K = Coeficiente global de transmisión de calor de la pared ($\text{W/ m}^2 \text{ K}$)

S = Superficie del cerramiento (m^2)

T_{AI} = Temperatura del aire interior (K)

T_{AE} = Temperatura del aire exterior (K)

El coeficiente K hace referencia al material con el que está construida cada pared, de modo que el único factor variable en la expresión es el de la temperatura del aire exterior, por lo que se utilizarán los datos publicados por el instituto Nacional de Meteorología para la comuna de San Bernardo.

Dimensiones recinto deportivo:

- Lado Norte:
Área: 135 m^2
 K (coeficiente global de transmisión de calor):
Hormigón (15 %): $1,3423 \text{ W/ m}^2 \text{ K}$
Vidrio termopanel (85 %): $2,323 \text{ W/ m}^2 \text{ K}$
- Lado Sur:
Área: 135 m^2
 K (coeficiente global de transmisión de calor):
Hormigón (10 %): $1,3423 \text{ W/ m}^2 \text{ K}$
Vidrio (90 %): $2,323 \text{ W/ m}^2 \text{ K}$
- Lado Este:
Área: 60 m^2
 K (coeficiente global de transmisión de calor):
Hormigón (90%): $1,3423 \text{ W/ m}^2 \text{ K}$
Vidrio termopanel (10 %): $2,323 \text{ W/ m}^2 \text{ K}$
- Lado Oeste:
Área: 225 m^2
 K (coeficiente global de transmisión de calor):

Hormigón (15%): 1,3423 W/ m² K

Vidrio termopanel (85%): 2,323 W/ m² K

- Cubierta:

Área: 800 m²

K (coeficiente global de transmisión de calor):

Panel prefabricado aislante (75%): 0,3162 W/ m² K

Hormigón (25%): 1,3423 W/ m² K

En la siguiente tabla (tabla 13) se recogen las pérdidas de calor en cerramientos para cada una de las fachadas descritas anteriormente y la pérdida de calor total por los cerramientos.

Tabla 13: Pérdidas de calor en los cerramientos del recinto deportivo.

Mes	Q _{cerr Lado Este} (kWh)	Q _{cerr Lado Oeste} (kWh)	Q _{cerr Lado Norte} (kWh)	Q _{cerr Lado Sur} (kWh)	Q cubierta (kWh)	Q _{total} (kWh)
Enero	604,9554	3427,03463	2056,22078	2102,55885	3207,26	11398,0297
Febrero	0	0	0	0	0	0
Marzo	864,222	4895,76375	2937,45825	3003,6555	4581,8	16282,8995
Abril	1209,9108	6854,06925	4112,44155	4205,1177	6414,52	22796,0593
Mayo	1555,5996	8812,37475	5287,42485	5406,5799	8247,24	29309,2191
Junio	1728,444	9791,5275	5874,9165	6007,311	9163,6	32565,799
Julio	1728,444	9791,5275	5874,9165	6007,311	9163,6	32565,799
Agosto	1581,52626	8959,24766	5375,5486	5496,68957	8384,694	29797,7061
Septiembre	1469,1774	8322,79838	4993,67903	5106,21435	7789,06	27680,9292
Octubre	1201,26858	6805,11161	4083,06697	4175,08115	6368,702	22633,2303
Noviembre	950,6442	5385,34013	3231,20408	3304,02105	5039,98	17911,1895
Diciembre	777,7998	4406,18738	2643,71243	2703,28995	4123,62	14654,6096
Pérdida Total Calor (kWh)						257595,47

3.2.3.12 PÉRDIDA DE CALOR POR RENOVACIÓN/VENTILACIÓN CON AIRE EXTERIOR.

La ventilación, para asegurar que el aire tiene una calidad aceptable, se encarga de introducir el aire del exterior y retirar parte del aire interior, asegurando una recirculación. La renovación del aire siempre será desfavorable para el cálculo de cargas, ya que retira aire en condiciones de confort por aire en condiciones perjudiciales.

Según las exigencias de calidad del aire interior del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los edificios en Chile ITE 02.2.2 (RITCH, 2007), y la norma UNE 100011, el aire exterior de ventilación necesario para la dilución de los contaminantes será de 2,5 l/s por metro cuadrado de superficie de la lámina de agua y de la playa (no está incluida la zona de espectadores).

Se puede calcular esa pérdida mediante la siguiente fórmula:

$$Q_{RAE} = Q_{Min AE} * \rho_{aire} * C_e * (T_{ai} - T_{ae}) * h \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

Q_{RAE} = Pérdidas de calor por renovación con aire exterior.

$Q_{Min.AE}$ = Caudal mínimo de aire exterior de renovación.

ρ_{aire} = Densidad del aire (se adopta valor constante de 1,2kg/m³)

C_e = Calor específico del aire (1010 J/kg·K ó 0,28 Wh/kg °C)

T_{ai} = Temperatura del Aire Interior (K)

T_{ae} = Temperatura del Aire Exterior (K)

h = horas totales de apertura

3.2.3.13 CÁLCULO DEL CAUDAL MÍNIMO DE VENTILACIÓN.

$$Q_{Min AE} = 2,5 \text{ l/s} * 3600 \text{ s/h} * 1 \text{ m}^3 / 1000 \text{ l} * 800 \text{ m}^2$$

$$Q_{Min AE} = 7200 \text{ m}^3 / \text{h}$$

En la tabla 14 se muestran los valores obtenidos mensuales de la pérdida de calor por renovación/ventilación de aire y el valor anual.

Tabla 14: Pérdidas de calor por renovación/ventilación dentro del recinto deportivo.

Mes	$Q_{\min AE}$ (m ³ /h)	ρ (kg/m ³)	C_e Aire (Wh/kg °C)	T_{AE}	T_{AI}	Q_{RAE} (kWh)	Q_{RAE} con recuperación de calor (kWh)
Enero	7200	1,2	0,28	21	28	16934,4	7620,48
Febrero	0	0	0	0	0	0	0
Marzo	7200	1,2	0,28	18	28	24192	10886,4
Abril	7200	1,2	0,28	14	28	33868,8	15240,96
Mayo	7200	1,2	0,28	10	28	43545,6	19595,52
Junio	7200	1,2	0,28	8	28	48384	21772,8
Julio	7200	1,2	0,28	8	28	48384	21772,8
Agosto	7200	1,2	0,28	9,7	28	44271,36	19922,112
Septiembre	7200	1,2	0,28	11	28	41126,4	18506,88
Octubre	7200	1,2	0,28	14,1	28	33626,88	15132,096
Noviembre	7200	1,2	0,28	17	28	26611,2	11975,04
Diciembre	7200	1,2	0,28	19	28	21772,8	9797,76
Pérdida Total (kWh)						382717,44	172222,85

Según ITE 02.4.7, Recuperación de calor del aire de extracción, el aire de ventilación descrito en ITE 02.2.2. y ITE 02.4.5, que deba expulsarse al exterior por medios mecánicos puede ser empleado para el tratamiento térmico, por recuperación de energía, del aire nuevo que se aporte desde el exterior. Cuando el caudal de un subsistema de climatización tenga un régimen de funcionamiento que sobrepase las mil horas por año, se diseñará un sistema de recuperación de la energía térmica del aire expulsado al exterior por medios mecánicos, con una eficiencia mínima del 45%, tal como sucede en este caso.

3.2.3.14 RESUMEN BALANCE ENERGÉTICO TOTAL DENTRO DEL RECINTO DEPORTIVO.

La tabla siguiente (tabla 15) muestra el resumen de las pérdidas de calor total dentro de la piscina temperada ubicada en la comuna de San Bernardo.

Tabla 15: Resumen pérdidas de Calor dentro del recinto deportivo.

Balance energético	Q (kWh/año)	%	%	%	%	%
<i>Pérdida por evaporación</i>	428006,25	45,223%	45,220%	38,751%	31,42%	27,90%
<i>Pérdida por radiación</i>	0,00	0%	0%	0,000%	0,00%	0,00%
<i>Pérdida por convección</i>	0,00	0%	0%	0,000%	0,00%	0,00%
<i>Pérdida por renovación</i>	499366,08	52,763%	52,759%	45,212%	36,66%	32,55%
<i>Pérdida por transmisión</i>	19062,84	2,01%	2,014%	1,726%	1,40%	1,24%
Subtotal	946435,17	100%	-	85,689%	69,48%	61,68%
<i>Pérdida puesta en marcha</i>	69,60	-	0,0074%	0,006%	0,01%	0,00%
Subtotal	946504,77	-	100%	85,695%	69,49%	61,69%
<i>Calor ACS</i>	157997,27	-	-	14,305%	11,60%	10,30%
Subtotal	1104502,04	-	-	100,000%	81,09%	71,99%
<i>Cerramiento</i>	257595,4701	-	-	-	18,91%	16,79%
Subtotal	1362097,51	-	-	-	100,00%	88,78%
<i>Ventilación aire (recuperado)</i>	172222,85	-	-	-	-	11,22%
Total	1534320,36	-	-	-	-	100,00%

De la tabla anterior, se puede observar que la cantidad de energía que requiere la piscina municipal de San Bernardo es de 1.534.320,36 kWh al año, valor que es menor a la cantidad de energía que proporciona la materia orgánica proveniente de los residuos sólidos domiciliarios de dicha comuna, por lo que este proyecto es autoabastecible a nivel comunal.

CAPÍTULO IV

EVALUACIÓN ECONÓMICA Y SOCIAL

Se requiere evaluar la rentabilidad económica con el propósito para determinar la factibilidad o viabilidad del proyecto. Este debe estar concebido desde el punto de vista técnico y debe cumplir con los objetivos que se esperan.

Existen varios métodos de evaluación económica para medir el desempeño económico de un edificio o sistema de construcción durante un período de tiempo especificado. Estos métodos incluyen el análisis del costo del ciclo de vida (LCC), la relación beneficio-costos, la tasa interna de rendimiento, los beneficios netos, retribución, análisis de decisiones multiatributo, análisis de riesgos y medidas relacionadas, entre otros. La norma ASTM E917 será la herramienta que se utilizará para analizar la rentabilidad económica de este proyecto, el cual permite evaluar proyectos de eficiencia energética que no poseen ingresos por venta y consiste en traer al presente los valores de las diversas anualidades futuras: costos de operación, costo de energía y costos de reemplazo de algún accesorio u equipo, lo que sumado a la inversión inicial se obtiene el costo total del proyecto traído al presente.

A lo largo del horizonte de evaluación, la rentabilidad del proyecto viene dado por el ahorro directo hacia la Municipalidad de San Bernardo ya que por un lado dispondrá una menor cantidad de residuos domiciliarios en el vertedero Santa Marta, ampliando la vida útil de éste y por otro lado, el reemplazo de la energía eléctrica que utilizan las bombas de calor para satisfacer la demanda energética de la piscina temperada de San Bernardo por otra fuente de energía más económica como es el uso de residuos sólidos domiciliarios como fuente de energía. Para la evaluación se considerarán las ecuaciones que se presentan a continuación:

- Anualidades del costo de la energía, que considera el escalamiento del combustible a lo largo del horizonte de evaluación, traída al presente en [US\$].

$$C_{energía} = C_{comb} * \left(\frac{1+e}{1+i}\right) \left[1 - \left(\frac{1+e}{1+i}\right)^t\right] \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

C_{comb} : Costo anual del combustible (Electricidad o basura) en [US\$]

e: Tasa de escalamiento del combustible en [%]

i: Corresponde a la tasa de descuento del proyecto en [%]

t: Horizonte de evaluación del proyecto en [años]

- Valor por anualidades de operación y mano de obra, traído al presente [US\$].

$$VPA = O\&M \left[\frac{(1+i)^t - 1}{i(1+i)^t} \right] \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

O&M: Operación y mano de obra anual [US\$]

- Costo de reemplazo futuro de algún equipo u accesorio.

$$C_{reemplazo} = VAL_{reem} * \left[\frac{1}{(1+i)^n} \right] \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

Val_{reem} : Costo del equipo u accesorio a reemplazar [US\$]

n: Año el cual se realizará el reemplazo.

- Valor residual traído al presente, es el único ingreso del proyecto al final del horizonte de evaluación y su valor dependerá del potencial del equipo en un mercado secundario.

$$VR = -V_r * \left[\frac{1}{(1+i)^t} \right] \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde:

V_r: Valor residual de los activos al final del proyecto en [US\$]

Para llevar a cabo la evaluación económica de las diversas alternativas, se considerarán como criterios generales una tasa de descuento del 8%, un horizonte de evaluación de 20 años y una depreciación lineal de 25 años.

4.1 EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA SITUACIÓN BASE

Este sistema no presenta inversión inicial, ello implica que la inversión de los equipos y/o accesorios para satisfacer las demandas energéticas ya fue realizada.

A partir de la información entregada por la Municipalidad de San Bernardo, para mantener las condiciones de confort en la climatización y la temperatura del agua del recinto deportivo (tanto de la piscina en sí como el agua sanitaria), el costo anual de la electricidad es de \$ 31.391.861 pesos chilenos.

De acuerdo con Silva Abarca N. A (2017), la tasa de escalamiento de la energía eléctrica estimada es de 4,9%. Este valor se obtuvo a partir de un promedio del crecimiento en los precios de la electricidad que se han presentado en los últimos años dentro del sistema interconectado central.

El costo anual de operación y/o mantención de la piscina temperada de la comuna de San Bernardo corresponde a \$13.726.650 y para el reemplazo de un equipo se considerará que tiene un valor del 25% con respecto al costo anual de la electricidad, llevado a cabo el año 8. El valor residual será considerado como la venta de una bomba de calor a un valor de \$1.523.820 CLP.

En la siguiente tabla se presenta el costo total de esta alternativa a lo largo del horizonte de evaluación, traído al presente:

Tabla 16: Evaluación económica del sistema situación base (elaboración propia)

Valor Presente	Ecuación utilizada	\$ CLP
Costo O&M	$VPA = 13.726.650 * \left[\frac{(1+0,08)^{20}-1}{0,08*(1+0,08)^{20}} \right]$	134.770.273
Costo de reemplazo	$C_{reemplazo} = 7.847.965 * \left(\frac{1}{1+0,008} \right)^8$	3.392.009
Costo energía	$C_{energía} = 31.391.861 * \left(\frac{1+0,049}{0,08-0,049} \right) * \left[1 - \left(\frac{1+0,049}{1+0,08} \right)^{20} \right]$	\$468.972.143
Valor residual	$VR = -1.523.820 * \left[\frac{1}{(1+0,08)^{20}} \right]$	-326.932
Inversión inicial		0
Total		606.807.493

4.2 EVALUACIÓN ECONÓMICA SITUACIÓN CON PROYECTO

Una vez realizada la evaluación económica de la situación base (o sin proyecto), es necesario desarrollar la evaluación económica de la situación con proyecto. Para ello es necesario recopilar la información necesaria.

De acuerdo al apartado anterior, la inversión total de los equipos tiene un valor correspondiente a \$34.581.005 CLP. Además, de acuerdo a los datos proporcionados por la municipalidad de San Bernardo, el costo anual de la recolección y distribución de los residuos sólidos domiciliarios tiene un valor de \$8.636.533 CLP. Cabe señalar que este dato será considerado como el valor del costo del combustible. Cabe mencionar que el ahorro con respecto a la disposición de los residuos domiciliarios hacia el vertedero Santa Marta equivale a \$ 26.613.665 CLP al año.

De acuerdo al departamento de Aseo y Ornato de la Municipalidad de San Bernardo, el precio de la recolección y transporte de los residuos sólidos domiciliarios está regido de acuerdo al Índice de Precios al Consumidor (IPC), por lo que en términos de cálculos, la tasa de escalamiento para el proyecto será la variación porcentual del IPC correspondiente al año 2017. De acuerdo al Instituto Nacional de Estadísticas, la variación del IPC para ese año es igual a 2,3%.

Los costos anuales de operación y mantención se considerarán de \$ 3.000.000 CLP. Según el fabricante, el quemador de la caldera debe ser reemplazado en el año 15 cuyo valor corresponde a \$ 4.894.056 CLP, los demás elementos permanecerán hasta el final del proyecto. Al término del horizonte de evaluación se considerará que un 15% de la inversión es recuperada.

Luego el análisis económico utilizando la Norma ASTM E917 se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 17: Evaluación económica del sistema situación base (elaboración propia)

Valor Presente	Ecuación utilizada	\$ CLP
Costo O&M	$VPA = 3.000.000 * \left[\frac{(1+0,08)^{20}-1}{0,08*(1+0,08)^{20}} \right]$	29.454.442
Costo de reemplazo	$C_{reemplazo} = 4.894.056 * \left(\frac{1}{1+0,008} \right)^{15}$	1.542.810
Costo energía	$C_{energia} = 8.636.533 * \left(\frac{1+0,023}{0,08-0,023} \right) * \left[1 - \left(\frac{1+0,023}{1+0,08} \right)^{20} \right]$	102.597.429
Valor residual	$VR = -5.187.150 * \left[\frac{1}{(1+0,08)^{20}} \right]$	-1.112.893
Inversión inicial		34.581.005
Total		167.062.793

4.3 EVALUACIÓN SOCIAL DEL PROYECTO

De acuerdo con el Ministerio de Desarrollo Social del Gobierno de Chile (2013), la evaluación social de esta tipo de proyectos tiene por objeto identificar, medir y valorar todos los costos y beneficios asociados a la construcción de una instalación de valorización. En la medida que el bienestar social sea mayor al que se hubiera alcanzado sin el proyecto, se podrá concluir que la iniciativa planteada es rentable socialmente. El enfoque a utilizar es de costo-beneficio.

4.3.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS BENEFICIOS

Los beneficios de un proyecto de valorización corresponden al valor que tiene para la comuna de San Bernardo ejecutar el proyecto, medido conceptualmente a través del aumento del consumo de los bienes y servicios producidos por el proyecto y por la liberación de recursos de los insumos que el proyecto genera. En lo que sigue, se identifican una serie de beneficios asociados la valorización de residuos.

4.3.1.1 POR MENOR DISPOSICIÓN EN RELLENOS SANITARIOS

La existencia de proyectos de valorización permite que menos toneladas de residuos sean eliminadas. Esto representa un ahorro directo para las Municipalidades que deben financiar la disposición de residuos en rellenos sanitarios, no sólo en términos del precio por tonelada dispuesta, sino también por menor requerimiento de trabajadores y camiones para transportar los residuos hacia los rellenos. Notar que para que este beneficio se materialice, debe ser que los contratos vigentes con las empresas a cargo de la recolección, transporte y operación del relleno sanitario, sean lo suficientemente flexibles como para permitir ajustes en los precios relevantes y uso de insumos productivos. Por otro lado, la menor disposición de residuos en los rellenos sanitarios existentes amplía la vida útil de éstos o bien permite formular proyectos de nuevos rellenos sanitarios más pequeños producto del menor requerimiento proyectado de espacio para disponer los residuos no valorizables. Notar sin embargo que las proyecciones requeridas respecto al uso potencial de terrenos para el desarrollo de nuevos rellenos sanitarios están sometidas a un nivel de incertidumbre muy alto, que impide estimar los ahorros generados por este concepto de manera confiable. Es por esto que no es considerado este beneficio de largo plazo en la evaluación del proyecto, a menos que se tenga una certificación u documento oficial que respalde el caso.

4.3.1.2 POR VENTA DE RESIDUOS VALORIZADOS Y/O POR AHORRO DE COSTOS EN PROCESOS INTERNOS

El fin último de un proyecto de valoración es hacer un mejor uso de los residuos que de otro modo serían eliminados. Este uso debe tener un valor económico, por lo que es de vital importancia que los proyectos definan con claridad cómo es este valor capturado. En principio, son 2 los mecanismos principales:

- **Venta de residuos valorizados:** Los municipios y las asociaciones de municipalidades están facultadas para vender los residuos que valoricen⁹. Se generan por tanto beneficios brutos por este concepto en función del precio al cual se colocan los residuos valorizados en el mercado. Para los efectos de la evaluación del proyecto de valoración, se considerará como relevante el precio correspondiente a la primera transacción con el mercado, sea ésta con una firma, reciclador de base u otro.
- **Ahorro de costos en procesos internos:** En caso de una municipalidad no pudiese vender los residuos valorizados, podrán sin embargo idear usos alternativos para éstos en sus procesos internos que si bien no representarán una transacción económica directa con el mercado, permitirán valorar los residuos según su costo oportunidad. Así por ejemplo, una municipalidad podrá utilizar sus residuos orgánicos valorizados como abono en parques comunales, cultivos u otros. El ahorro se genera en la medida que la municipalidad deja de pagar a un tercero un precio más elevado por la obtención del mismo bien (abono) o servicio según corresponda.

4.3.1.3 POR AHORRO DE ENERGÍA EMPLEADA EN PROCESOS INTERNOS

Los proyectos de valoración energética pueden utilizar los residuos como insumos para la generación de gas y electricidad por procesos productivos internos o de otras instituciones. De este modo, se generan beneficios brutos del proyecto por 2 conceptos:

- **Venta de energía:** Las asociaciones de municipalidades podrán vender la energía que generen, respetando las condiciones de calidad que se le exijan (niveles de pureza, certidumbre en la inyección al sistema, etc.) y al precio de mercado correspondiente.

- Ahorro de costos en procesos internos: Las municipalidades que no forman parte de asociaciones podrán incorporar beneficios por este concepto en la medida que utilicen la energía generada en sus procesos internos y se ahorren así el pago de ésta a terceros.

4.3.1.4 POR AHORRO EN EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

Los ahorros en emisiones de gases efecto invernadero (GEI) se generan en distintas etapas del proceso de gestión del residuo y cada una de éstas debe ser analizada separadamente.

- **Recolección:** Los ahorros en emisiones de GEI que se generan en esta etapa están relacionados con el menor requerimiento de vehículos motorizados para recolectar los residuos, disminuyendo así la cantidad de toneladas de CO₂ emitidas. Así, se generan ahorros de GEI cuando se utilizan menos camiones para recolectar los residuos valorizables casa a casa. Sin embargo, éstos pueden ser anulados por los costos que se generan de la implementación de un sistema de recolección adicional, en vehículos motorizados, para los residuos valorizables. Notar que estos últimos no son relevantes cuando se emplea un sistema de recolección que utiliza vehículos no motorizados, siendo este el caso de los recicladores de base que se movilizan a bicicleta o generadores que llevan a pie sus residuos a puntos limpios o centros de acopio. Cabe mencionar que si no es posible flexibilizar el sistema de recolección de la situación SP en función de los requerimientos efectivos de camiones, el proyecto de valorización sólo generará emisiones adicionales de GEI si es que emplea vehículos motorizados.
- **Transporte:** Igual que en la etapa anterior, los ahorros en emisiones de GEI que se generan en esta etapa están relacionados con el menor requerimiento de contar con vehículos motorizados para transportar los residuos desde los puntos de generación de éstos o instalaciones intermedias hacia los sitios de disposición final.
- **Tratamiento:** En esta etapa, se generan ahorros en emisiones de GEI cuando menos material orgánico es dispuesto en rellenos sanitarios producto del tratamiento del total parte de esta fracción de los residuos. Cuando esto ocurre, es menor la emanación de gas metano que se produce en los rellenos sanitarios.

4.3.1.5 POR MENORES TASAS DE MORBILIDAD

Los beneficios en salud están directamente relacionados con la menor necesidad de disponer de los residuos en rellenos, considerando que en éstos emanan una serie de contaminante tóxicos que pueden provocar problemas en la salud de las personas. Si bien este elemento se mantiene controlado por medio de las disposiciones sanitarias vigentes respecto a las condiciones de operación de los rellenos, siempre hay una concentración de contaminantes en los rellenos que no es eliminada en su totalidad. Existirán beneficios adicionales en salud siempre que el sistema de recolección y de transporte utilizado en la situación con proyecto derive en la menor utilización total de vehículos motorizados que liberan gases dañinos para la salud de las personas, como PM10 y PM2,5

4.3.1.6 POR MAYOR INFORMACIÓN Y CONCIENCIA AMBIENTAL

Los proyectos de valorización tienen un componente fuerte de participación de las personas, tanto en la separación de los residuos en origen, como en la generación misma de los residuos en función de los hábitos de consumo individuales. Se genera así un aprendizaje respecto a qué residuos son o no valorizables y en qué condiciones; implicancias del consumo de diversos bienes empacados; efectos de la disposición final de residuos sobre el medio ambiente, entre otros.

4.3.1.7 POR MENOR EXPLOTACIÓN DE RECURSOS NATURALES

Uno de los principales beneficios ambientales de los proyectos de reciclaje, está relacionados con los ahorros generados en la producción de bienes con materia prima virgen respecto a materia prima reciclada. Esto reduce la sobreexplotación de recursos naturales pero, para que sean efectivos, debe ser que los precios actuales de estos recursos se encuentre sub-estimados al no incluir en éstos el costo de las externalidades negativas que produce la sobre-explotación.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

En términos del reciclaje y la reutilización de los residuos domiciliarios, Chile no presenta instrumentos públicos que se enfocan en la implementación de proyectos, planes y programas destinados a reducir la generación de éstos ni favorecer la utilización de materiales recuperados como fuente de energía o materias primas. Es más, durante los últimos años, el desarrollo de las políticas públicas en el ámbito de los residuos sólidos en la Región Metropolitana se ha orientado mayoritariamente a mejorar las condiciones sanitarias y ambientales asociadas a su adecuado manejo, desde su generación hasta su eliminación en destinatarios autorizados. Por lo que se propone, a juicio de este proyecto, implementar políticas públicas con respecto a la valorización de residuos urbanos para así contribuir a la preservación y uso racional de los recursos naturales y aumentar la vida útil de los sitios habilitados para su eliminación. El proyecto “Santiago Recicla”, aprobado por el Gobierno Regional Metropolitano de Santiago, promueve la “prevención” en su generación (reducción), su reutilización, posteriormente el reciclaje de uno o más de sus componentes; su valorización energética total o parcial; dejando como última alternativa su disposición final en instalaciones autorizadas. Sin embargo “Santiago Recicla” es un proyecto local y que podría expandirse para todo el territorio nacional.

A través de este proyecto se pudo demostrar la factibilidad técnica y económica de implementar una caldera de biomasa a partir de la fracción orgánica de residuos sólidos domiciliarios dirigidos a la producción de agua caliente para la piscina temperada municipal de la comuna de San Bernardo, donde a través de la norma ASTM E917 se calculó el ahorro de los costos al cabo de 20 años (correspondiente al horizonte de evaluación), siendo éste igual a \$ 439.744.700 CLP. A su vez, también existe el ahorro correspondiente a la disposición de los residuos domiciliarios en el vertedero Santa Marta, siendo éste un valor de \$ 26.613.665 CLP anuales.

Se observa que esta alternativa es más atractiva debido a diversos factores, ya sea, un número menor de equipos y accesorios a adquirir, bajo escalamiento y costo del combustible.

Por otro lado, debido a la poca información que se encuentra disponible con respecto a la generación y manejo de los residuos sólidos urbanos dentro de la región metropolitana y a nivel país, se estimó la composición actual de éstos para la comuna de San Bernardo a partir del primer reporte del manejo de residuos sólidos en Chile realizado por la Comisión

Nacional del Medio Ambiente en el año 2010, en donde se da como premisa que la composición porcentual de los residuos no ha variado en el transcurso de los años y que es homogénea. De acuerdo con lo anterior, el Ministerio del Medio Ambiente debe realizar estudios estadísticos actualizados sobre la generación y composición de los residuos para que Chile avance en esta materia y así tener datos más concretos para poder promover su prevención en la generación de residuos, fomentar su reducción, reutilización, reciclaje, valorización energética, tratamiento y la disposición final de los mismos.

Con respecto a los requerimientos energéticos, se utilizó una metodología de cálculo que es válida para cualquier instalación de piscinas, ya sea cubierta o de exterior. Cabe destacar que la demanda energética de ACS depende en cierta medida de las condiciones ambientales y es por ello que en invierno, esta tiende a ser mayor. En el caso de la piscina cubierta y temperada se aprecia que ésta posee pérdidas por evaporación constantes durante el año ya que presenta condiciones ambientales propias, luego, su valor varía según los días de cada mes.

Con el balance energético se pudo determinar la cantidad de energía requerida por la piscina semi-olímpica cubierta de la comuna de San Bernardo, siendo su valor de 1.658.464,71 kWh/año. Por otro lado, la cantidad de energía proveniente de la fracción orgánica de los residuos sólidos domiciliarios es de 52.912.421,5 kWh/año, quedando un saldo positivo de energía. Dado lo anterior, se podría utilizar dicha energía para generar electricidad y ser utilizada en el estadio municipal de San Bernardo, lugar donde se encuentra la piscina temperada.

A través de la búsqueda bibliográfica, se pudo constatar la posibilidad de mezclar los residuos sólidos domiciliarios con la poda de rama de árboles para así aumentar el poder calorífico y así tener una mayor eficiencia al momento de combustionar. Según lo reportado, la mezcla puede variar entre un 25% hasta un 50% en peso de residuos sólidos urbanos.

Finalmente, es necesario diferenciar los beneficios privados de los beneficios públicos con respecto al reciclaje y la valorización de dichos residuos:

Desde el punto de vista de sector privado, la decisión de reciclar se adoptará sólo si las ganancias asociadas son menores que los costos incurridos en la recolección, proceso y disposición final de los desechos.

Por otro lado, desde una visión social, existen efectos positivos derivados de la decisión de reciclar, como es el menor impacto ambiental y en el sistema de salud público, mayor conciencia social y participación ciudadana, mejoramiento estético de la ciudad, menores costos por utilización del basural, entre otros.

Es importante señalar que para estudios posteriores, se evalúen en detalle las normativas ambientales de manera que no exista rechazo de la comunidad por este tipo de iniciativas.

REFERENCIAS

B. R. Z. J. K. P.C.A. Bergman, (2005), Torrefaction for biomass co-firing in existing coal-fired power stations.

Arriagada Arce A.E. (2013), Evaluación de sistema termosolar- biomasa para producir ACS y temperar piscina cubierta en complejo deportivo de Concepción, Chile.

Berg A.; Bidart C. et al (2013), Estudio Recomendaciones para la elaboración de una estrategia Nacional de Bioenergía, Universidad de Desarrollo Tecnológico, Universidad de Concepción.

Bun-Ca. (2002). Manuales sobre energía renovable: Biomasa. 1 Ed. San Jose, Costa Rica.

Cerdá, E. (2012). Energía obtenida a partir de biomasa. Cuadernos económicos de ICE N°83.

Cerdá, E.; Caparrós, A; Ovando, P. (2008): «bioenergía en la Unión Europea». Ekonomiaz, 67, 1.er cuatrimestre, pp. 156-181.

Revista Chile Forestal (2012), Corporación Nacional Forestal, revista N° 359, pp 17-18

Conama (2010). Primer reporte sobre manejo de residuos sólidos en Chile

De Val M. (2014), Alternativas energéticas en la climatización, Universidad Politécnica de Valencia, España.

Dirección Nacional de promoción subsecretaría de energía eléctrica (2004), “Energías Renovables 2004 - Energía Biomasa.”, Argentina

FENERCOM (20016), Sistemas automáticos de calefacción con biomasa en edificios y viviendas, Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid

Gómez Delgado M. (1995), El estudio de los residuos: Definiciones, Tipologías, Gestión u Tratamiento, Universidad de Alcalá de Henares

Gonçalves J. (2006), Caracterização química e energética de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira de *Eucalyptus grandis*, Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho”, Brasil

Haristoy, M. H. (2014). Estudio económico y social de una central térmica por biomasa para un conjunto habitacional dentro de la región metropolitana.

Holman J. P. (1999), Transferencia de Calor, Cecsá.

Ibañez J.R; Corropoli M. D (2002), Valorización de residuos sólidos urbanos, F.C.E

IDAE (Instituto para la diversificación y el ahorro de energía) (2012d). Biomasa edificios.

IDEA Instituto para la diversificación y el ahorro de energía (2007 A): Energía de la biomasa. Madrid

IDAE (Instituto para la diversificación y el ahorro de energía) (2012c). Área tecnológica: biomasa y residuos

Jaramillo G.; Zapata L. M. (2008), Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia.

Lignum (2014), Bosque, Madera & Tecnología, pp 21-23.

Losada L. (2016), Estudio de viabilidad técnico-económico para el uso de pellets con biomasa residual torrefactada en calderas, Universidad de León, España.

Marcos F. (2001), Biocombustibles sólidos de origen vegetal, Ed. Aenor. Asociación española de normalización y certificación.

Memoria de Trabajos de Difusión Científica y Técnica, núm. 10

Ministerio de Desarrollo Social (2013), Metodología de formulación y evaluación socioeconómica de proyectos de valorización de residuos municipales

Monroy L. S; Arbole J. W (2017), Generación de Energía a partir de residuos sólidos. Combustión en parrillas y lechos fluidizados, Universidad de Manizales, Colombia.

Moratorio D.; Rocco I.; Castelli M., (2012), Conversión de residuos sólidos urbanos en energía,

Poletto J.A; da Silva C. L.; (2009), Influencia de la separación de residuos sólidos urbanos para reciclaje en el proceso de incineración con generación de energía, Información Tecnológica Vol. - 20 N° 2

Cámara Chilena de Refrigeración y Climatización A. G. (2007), Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios en Chile, RITCH.

Rojas, G. J. (2015). Análisis y diseño de una planta industrial para la generación de energía eléctrica y/o térmica, a partir de la revalorización de residuos sólidos domiciliarios en la comuna de isla de Pascua.

Romero, A. (2010). Aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía alternativa a los combustibles fósiles. Rev.R.Acad.Cienc.Exact.Fis.Nat (Esp).

Ruiz Chiriboga A. E. (2014), Proyecto de factibilidad para el uso eficiente de la energía en las instalaciones del complejo turístico vulcano Green del Cantón, Ecuador.

Silva Abarca N. A. (2017), Impacto económico en parques eólicos provocados por las variaciones de precios de la energía luego de la unión SIC-SING, Universidad Técnica Federico Santa María.

Toscano L. A; (2009). Análisis de los parámetros y selección de hornos para la combustión de biomasa, Ecuador.

Valentin, S. (2011). Proyecto de una central eléctrica de biomasa.

Vásquez O.; (2005), Modelo de simulación de gestión de residuos sólidos domiciliarios en la Región Metropolitana de Chile, Universidad de Santiago de Chile.

Yunus y Çengel (2011), Transferencia de calor y masa, Universidad de Nevada, Reno, Ed. Mc-Graw-Hill.

ANEXOS

Condiciones de confort	
Temperatura del agua	28 °C
Temperatura del aire	30 °C
Humedad relativa	55%

Tabla A: Condiciones confort recinto piscina temperada de San Bernardo.

año	ton/año
2009	98.428,89
2010	99.297,33
2011	102.335,52
2012	112.621,97
2013	142.278,93
2014	151.459,54
2015	155.723,03
2016	163.357,56
2017	176075,41
2018	189809,292
2019	204614,417
2020	220574,341
2021	237779,14
2022	256325,913
2023	276319,334
2024	297872,242

año	ton/año
2025	321106,277
2026	346152,567
2027	373152,467
2028	402258,359
2029	433634,511
2030	467458,003
2031	503919,728
2032	543225,466
2033	585597,053
2034	631273,623
2035	680512,965
2036	733592,977
2037	790813,229
2038	852496,661
2039	918991,4
2040	990672,73

Tabla B: Proyección de demanda de residuos domiciliarios hasta el año 2040.

Mes	Perdida por evaporación	Perdida por renovación	Perdida por Transmisión	Puesta en Marcha	ACS	Cerramiento	Ventilación aire	Total kWh
Enero	41154,447	33982,2	1756,6875	0	25953,6757	11398,02965	7620,48	121865,52
Febrero	32923,5576	0	0	69,60	0	0	0	32993,1576
Marzo	32923,5576	38836,8	1574,4375	0	25953,6774	16282,8995	10886,4	126457,772
Abril	32923,5576	43848	1645,3125	0	25116,4637	22796,0593	15240,96	141570,353
Mayo	41154,447	51782,4	1830,09375	0	25953,682	29309,2191	19595,52	169625,362
Junio	32923,5576	53244	1756,6875	0	25116,4672	32565,799	21772,8	167379,311
Julio	32923,5576	55018,8	1718,71875	0	25953,6832	32565,799	21772,8	169953,359
Agosto	32923,5576	52429,68	1830,09375	0	25953,6823	29797,70609	19922,112	162856,832
Septiembre	41154,447	48546	1718,71875	0	25116,4655	27680,92915	18506,88	162723,44
Octubre	41154,447	45309,6	1756,6875	0	25953,6797	22633,23031	15132,096	151939,741
Noviembre	32923,5576	39150	1756,6875	0	25116,462	17911,18945	11975,04	128832,937
Diciembre	32923,5576	37218,6	1718,71875	0	25953,6768	14654,60955	9797,76	122266,923
Total	428006,2488	499366,08	19062,84375	69,6	282141,615	257595,4701	172222,848	1658464,71

Tabla C: Requerimiento energético mensual y anual del recinto deportivo.

Valor tonelaje dispuesto en Relleno Sanitario Santa Marta	\$8505 CLP
Valor tonelaje disposición en planta	\$2760 CLP

Tabla D: Valor por tonelaje de los residuos domiciliarios en disposición en planta de transferencia y dispuesto en relleno Sanitario.