

Redes de distribución de calor y frío a partir de biomasa para pequeñas comunidades en Uruguay

Biomass district Heating in small communities

Daniel Salomone González¹

Recibido: Diciembre 2019

Aceptado: Noviembre 2019

Resumen.- Las redes de calefacción urbana (District Heating, DH) combinadas con el uso de energías renovables (como la biomasa de residuos agrícolas) se han consolidado como una importante herramienta para la eficiencia energética y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en los Estados Unidos y los países del norte y centro de Europa.

El objetivo de las redes para la distribución térmica es ofrecer un servicio de aire acondicionado (frío y / o calor) y producción de agua caliente sanitaria a los ocupantes de los diferentes edificios de un área conectada a una red de cañerías, generalmente subterráneas; garantizando una mejor eficiencia energética y calidad de servicio con respecto a lo que se obtendría con instalaciones individuales. Si al uso de un desecho energético para producir calor, se agrega la posibilidad de emplazar plantas de cogeneración (con producción de calor, frío y energía eléctrica), el negocio de la climatización urbana centralizada se vuelve aún más próspero. En el presente reporte, luego de una larga revisión del estado del arte de las redes de distribución térmica con biomasa, las implicaciones técnicas de los equipos de una central térmica y la actividad agrícola de Uruguay, se propuso una solución práctica para ser replicada en todas las pequeñas comunidades del país. Para esta solución, se utilizan tres residuos de cultivos particulares: residuos de soja, uva y oliva.

Palabras clave: Redes de distribución térmica; Biomasa; Energías Renovables

Summary.- The urban heat networks (District Heating, DH) combined with the use of renewable energies, such as the biomass of agricultural waste, have been consolidated as an important tool for energy efficiency and the reduction of the emissions of greenhouse gases in the United States and the countries in the north and center of Europe. The objective of the networks for the thermal distribution is to offer a service of air conditioning (comfort heating and cooling) and the production of sanitary hot water for the residents of the different buildings of an area connected to the network, guaranteeing better energy efficiency and quality of service with respect to what would be obtained from individual installations. If the use of an energetic waste to produce heat, is added to the possibility of placing cogeneration plants (with a production comfort heating and cooling and electric power), the district heating business becomes even more prosperous. In the present paper, after a long review of the state of the art of heating of the Biomass District Heating, the technical implications of the equipment of a thermal power plant and the agricultural activity of Uruguay, a practical solution is proposed to be replicated in all the small communities of the country. For this solution, three particular crops residues - soybean, grape and olive residues –are used.

Keywords: District heating and Cooling; Biomass; Renewables Energies

¹ Magister en Ingeniería de la Energía. Universidad de la República, danielsalomonegonzalez@gmail.com, ORCID iD: 0000-0003-2066-9222

1. Introducción.- En Europa han aparecido grandes señales en lo que respecta a la promoción de las redes térmicas (Como muestra la Fig. 1, ya más de 3.000 ciudades son abastecidas con esta tecnología), siempre bajo el aval de las administraciones gubernamentales [1-2].

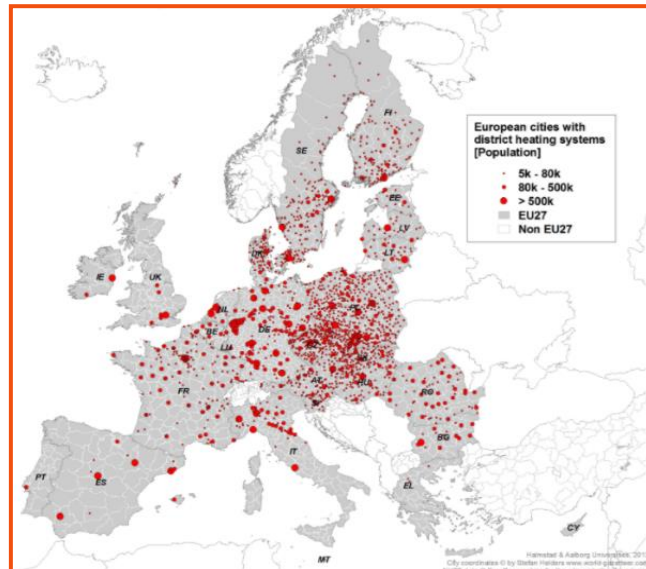


Figura 1.- Comunidades europeas que cuentan con redes de distribución. Fuente: BioBost

Las implicaciones técnicas de los equipos de una central térmica y la actividad agrícola de Uruguay, despierta el interés al presentarse como una solución práctica para ser replicada en las pequeñas comunidades del país. El análisis presentado demuestra que la energía facilitada por las redes de distribución y sus centrales térmicas pueden aportar una contribución sustancial a la sostenibilidad de energía en el sector residencial al permitir la integración de fuentes energéticas de bajo costo. No obstante, las elevadas inversiones en el tendido de la red limitan en gran parte su rentabilidad.

Con un apoyo en conjunto de las autoridades locales, los usuarios, la Dirección Nacional de Energía, las empresas de servicios energéticos y una visión del Uruguay en pos de desarrollar estas estrategias de aprovechamiento energético; los proyectos de este tenor pueden resultar favorables, además de seguir una línea establecida en el resto del mundo, sobre todo en Europa, en favor de estas tecnologías de alto impacto.

Lo importante sería que la política energética estuviese concebida con un enfoque multidimensional, definiendo como una de sus aristas transcendentales a la rama social, considerando el acceso universal a la energía como un derecho. Tres interesantes proyectos estatales, donde se puede analizar en un futuro cercano el uso de residuos y las redes para producción de energía térmica o eléctrica son: el Programa Canasta de Servicios, que busca que los hogares carenciados accedan a los servicios de energía y agua, articulando tarifas rebajadas a partir de una promoción del uso eficiente, el Programa de Electrificación Rural, donde los residuos forestales y agrícolas de terrenos circundantes pueden ser la fuente para la producción eléctrica de la zona y, por último, la climatización y abastecimiento de agua caliente sanitaria para los complejos carcelarios.

En definitiva, existe un marco propicio y rentable para la implementación, pero éste resulta al extremo dependiente de las administraciones públicas y el apoyo que le brinden a este tipo de servicios de interés social.

2. Biomasa no convencional.- En las comunidades del interior del país la biomasa es un recurso local disponible. Se analizó mediante los censos realizados por MGAP (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca) los posibles potenciales de generación de residuos por zona para tres tipos de biomasa poco convencionales (Soja, Aceituna y Uvas), pero no se descarta el uso de cualquiera de los cientos de posibilidades asequibles en el territorio nacional. Una vasta investigación bibliográfica permitió obtener discriminadamente los potenciales calóricos, los detalles de la composición, las características de las cosechas y la consecuente generación en Uruguay de cada variante de residuos asociada a los cultivos seleccionados (Ver Tabla I) [3-4].

Residuos	Cosecha	Industria
Soja	42,2% del total es residuo. El 57,8 % es grano utilizable en la industria aceitera. PCI: 18.454 kJ/kg. (bs) Humedad 9,2% y 3,8% de cenizas.	6% del grano es cáscara de soja. Se utiliza como alimentación animal y su producción es localizada. No se recomienda para quema con fines energéticos dada la baja rentabilidad y la restricción de su uso.
Aceituna	2,8 ton/ha cosechada es el residuo estimado de la poda de los olivares con humedad del 31% (que luego de estacionar baja a menos de un 10%) y 4,2% de cenizas. PCI: 19.903 kJ/kg. (bs) Poda Bianaual.	Los residuos agroindustriales de la industria del aceite de oliva, llamados orujos, se reparten en dos rubros (orujillo y hueso). 73% de la aceituna es orujo. PCI Orujo: 23.387 kJ/kg (bs) con una humedad del 66% y 2% de cenizas.
Uva	2,7 ton/ha cosechada es el residuo estimado de la poda de los viñedos (Sarmientos) con humedad del 21% (que descendiendo velozmente a menos de un 10% al dejarla un tiempo en el campo) y 5% de cenizas. PCI: 18.227 kJ/kg (bs)	Los residuos agroindustriales de la industria vitivinícola, también llamados orujos, se reparten en tres rubros (escobajos, hollejos y semillas). 1,1 % es escobajo y orujo (semilla+hollejo) 3,8 % es hollejo. PCI Escobajo: 17.671 kJ/kg(bs)/ H: 75% y Ash: 4.8%. PCI Orujo (Semilla/Hollejo. PCI Orujo: 20.170 kJ/kg(bs)/ H: 53% y Ash: 6,3%.

Tabla I.- Resumen de referencias bibliográficas. Los PCI recabados hacen referencia a residuos en base seca

De este estudio, se visualizó que los residuos presentan distintas características y que sus cosechas están dispersas por todo el territorio nacional, lo que permite contar con un alcance global. En cuanto a las cualidades como combustible se muestra una preferencia por los residuos de campo frente a los agroindustriales, sobre todo por la posibilidad de contar con baja humedad sin necesidad de un costoso pretratamiento de secado.

Debido al incremento en el área cultivada durante los últimos años, la paja o rastrojo de soja parece contar con el mayor potencial en lo que a producción térmica para redes respecta. Además de tener una amplia disponibilidad (Ver Figura II), que abarca casi todo el territorio nacional, cuenta con un poder calorífico aceptable, buen nivel de compactación, baja humedad y no es

requerido mantener demasiadas reservas en el campo para la protección de los suelos [5-7]. Más de 3,5 millones de MWh anuales con fines térmicos se podrían llegar a producir con los residuos de la cosecha de soja. Con los de aceituna y uva, apenas se alcanzaría el 5% de esa capacidad.

Es importante destacar que el sistema propuesto contribuye a la consolidación de la industria nacional asociada a la biomasa energética y al aprovechamiento de residuos hoy en día desechados, generando puestos de trabajo y crecimiento económico, además de reducir la dependencia energética y fortalecer el mercado agrícola.

Conjuntamente, la considerable experiencia en Uruguay en la fabricación de calderas de biomasa para la industria le permite independizarse no sólo del uso de fósiles (más costosos, más contaminantes, y no autóctonos), si no que existe la posibilidad de producir la tecnología en el país a corto plazo, dando un paso más hacia la soberanía energética.

Otra conclusión interesante, ahora en contra del uso de biomasa en Uruguay, es que los residuos claramente no son gratuitos (como el sol o el viento) cuando se los quiere usar como combustibles. Previo a la instancia de quemado deben atravesar por distintas etapas de pretratamiento tales como el procesamiento de los residuos en el campo, el transporte desde el punto de generación de la biomasa a la central térmica, el almacenamiento en plantas de transferencia, la compactación, un posible secado cuando las humedades son altas, el transporte interno hasta los silos y desde los silos hasta la caldera [8].

La reducción o anulación de estos gastos en las etapas intermedias fortalece el alcance económico de estas tecnologías. Los costos estimados a pie de caldera varían según el nivel de pretratamiento, pero a la fecha del estudio oscilan desde los 11 USD/MWh cuando sólo se requiere el enfardado hasta 65 USD/MWh cuando se logran grados de compactación más altos, como es el caso de los pellets o las briquetas.

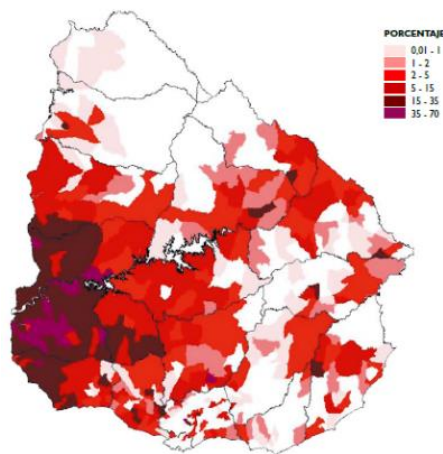


Figura II.- Áreas de cosechas de soja en Uruguay. Fuente: MGAP

3. Demanda.- La muestra asociada a este estudio alcanzó las 100 comunidades de entre 1000 y 5000 habitantes y más de 75.000 hogares, de donde se constató una media ocupacional de 3 personas por vivienda unifamiliar de 100m² promedio. Se trabajó con el programa SIT de MVOTMA (Figura III) que permitió valorar fundamentalmente las densidades poblacionales por manzana; factor esencial a la hora de evaluar los costos del tendido de cañerías.

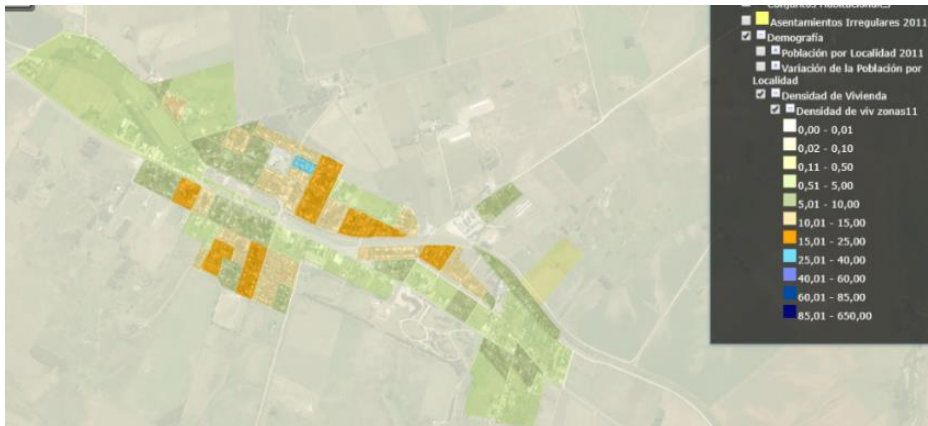


Figura III.- Mapa de densidad población para discriminar la demanda comunitaria por manzana.
Fuente: MVOTMA

Sobre las redes térmicas en particular, dada la amplia búsqueda de datos estadísticos realizada a través de los censos del INE [9], se observó que el potencial demográfico a explorar va mucho más allá de las pequeñas comunidades y sus viviendas unifamiliares. Se pueden incluir locales comerciales, hospitales e incluso industrias. También se puede aplicar en aquellas comunidades con mayor densidad poblacional, donde la rentabilidad de las redes térmicas se ve ampliamente favorecida por la compactación de los tendidos de tuberías y el uso de turbinas de mayor porte para la generación eléctrica.

Se realizó un estudio detallado de la demanda de climatización de hogares, para cada comunidad en particular, asumiendo supuestos conservadores, que llevaron a los resultados descritos en la Tabla III para las distintas zonas térmicas. Para esta determinación se utilizaron criterios asociados al clima de la zona, las características constructivas de las viviendas tipo en Uruguay, la estacionalidad, la concentración urbana, las formas de consumo y la antigüedad y dispersión de las viviendas.

También se investigó la demanda de agua caliente sanitaria tomando como referencia balances realizados por UTE, la Dirección de Energía y URSEA [10-11]. Este requerimiento resultó bastante inferior respecto a lo que implica climatizar 100m² de vivienda a las temperaturas estándar recomendadas por ASHRAE [12] pero con la particularidad de que se trata de un servicio que se debe brindar todo el año. En lo que respecta al agua caliente sanitaria, una media estimada de este indicador ronda los 13 kWh/m² año. En promedio, un 73% de la demanda estaría asociada a la calefacción, un 17% a la refrigeración y el 10% restante corresponderían al agua caliente sanitaria.

Como se muestra en la Figura IV, se determinó una fuerte variabilidad en la demanda diaria, tanto de climatización como de agua caliente sanitaria, con picos elevados a ciertas horas de la noche, por lo que se sugirió el uso de reservorios térmicos para acumulación que permitían aplanar las curvas y minimizar los costos por sobredimensionamiento. Además, se observó que para Uruguay, estacionalmente, se tienen bien marcados tres meses de suministro de frío y cinco meses de abastecimiento de calor para climatización.

ZONA	Sureste	Centro	Noroeste
Demanda Calefacción (kWh/m2año)	65,8	103,7	88,3
Demanda Refrigeración (kWh/m2año)	33,4	24,2	14,4

Tabla II.- Resultados de demandas térmicas de climatización por zonas (Uruguay)

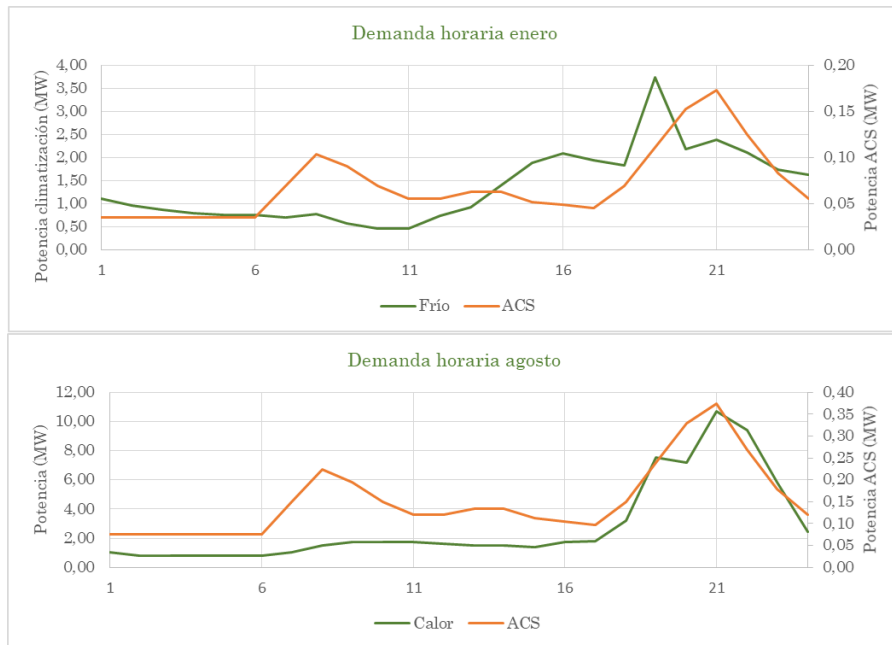


Figura IV.- Demanda tipo estimada José Enrique Rodó. Soriano para viviendas de 100 m² promedio climatizadas completamente. Fuente: Elaboración Propia

4. Tecnología.- Para el caso de las pequeñas comunidades, dada la alta dispersión de hogares y la práctica inexistencia de viviendas en bloque, se debe optar por aquellas modalidades de red que utilicen los caños de PEX (Polietileno expandido) en lugar de acero y que se minimicen los tendidos (Por ejemplo: Utilizando redes ramificadas en lugar de anilladas) [13].

En lo que respecta a centrales térmicas (Como se muestra en la Figura V), se estudiaron las tecnologías de combustión (calderas con parrilla, cámaras torsionales, lechos fluidizados, entre otros), resaltando aquellas de probable manufactura nacional, así como también los equipos de producción de frío, electricidad y sistemas anexos (Bombas, ventiladores, pretratamientos, etc.). Se realizó una comparación de las distintas características de los chillers presentes en el mercado de la que se dedujo que la opción más favorable para operar las redes de distribución con biomasa era la implementación de enfriadoras térmicas de absorción de doble efecto, dado su buen rendimiento y la posibilidad de utilizar, como fuente, calores residuales de bajo costo.

En lo asociado a turbinas de vapor, que operan según el ciclo Rankine convencional, se denota un potencial interesante en generación eléctrica para las comunidades de mayor porte, donde la recuperación térmica rentabiliza las inversiones por el incremento de la eficiencia global del sistema al potenciarse las bondades de la cogeneración.

Como guía general, para modelar un sistema de redes completo, primeramente, se selecciona la localidad, se escoge la biomasa más cercana, se determina la población, la cantidad de viviendas y la demanda. Se sectoriza la comunidad y se ubica la central en un padrón disponible. Se seleccionan los equipos (Calderas, Chillers, Turbinas) que cumplan con la demanda media y los picos se cubren mediante tanques de acumulación, aplanando la curva. Con las demandas calculadas, se determinan las longitudes de las cañerías principales, secundarias e internas. Se realiza la distribución como se ejemplifica en la Figura VI. Luego, se define la sección en función del caudal demandado por cada zona y por cada ramal en base a la densidad poblacional. Con el criterio de una velocidad fija se determina la sección y el diámetro. Para aquellos diámetros inferiores a 100 mm se usa PEX y para mayores se usa acero. Con los caudales y las pérdidas de carga de la cañería seleccionada se define la potencia máxima de las bombas de distribución.

Del estudio económico, que incluyó el establecimiento de líneas de base rescatadas de una serie de encuestas realizadas por la Dirección Nacional de Energía y UTE [10] de los usos frecuentes en Uruguay de tal o cual sistema de climatización o producción de agua caliente sanitaria, se determinó el promedio del costo de producción térmica medio por vivienda asociado a cada comunidad. Este valor puede ser reducido utilizando las redes térmicas con una rentabilidad aceptable para el inversor (Del orden del 10%), convirtiéndose en un método factible para abastecer de climatización y agua caliente sanitaria a los hogares.

No se contempló el impacto sustancial que tendría para la empresa de servicios eléctricos estatal (UTE) el gran descenso en la demanda, que podría incluso aplanar la curva, generándole amplios beneficios para su operativa diaria. Se podría plantear inclusive que sea esta misma empresa la que colabore en las inversiones para promover su desarrollo.

Por último, el ahorro de emisiones de gases de CO2 es depreciable para una vivienda individual, [14] pero el ahorro que supone para la población desde el punto de vista medioambiental es considerable, no sólo por el hecho de que mientras mayor sea el sistema donde se produce la energía, mayor será su rendimiento; sino también porque se estaría concentrando todas las emisiones que produce una comunidad completa en un punto específico, con lo cual la reducción de estos gases sería además de sencilla, mucho más eficaz.

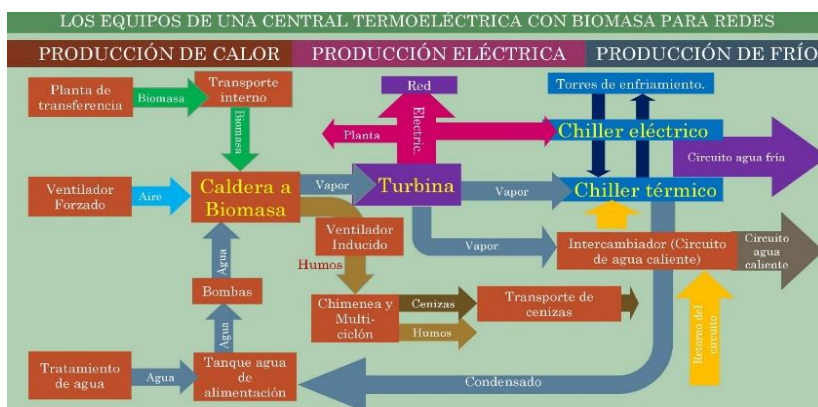


Figura V.- Equipos de una Central térmica para District Heating con Biomasa. Fuente: Elaboración propia

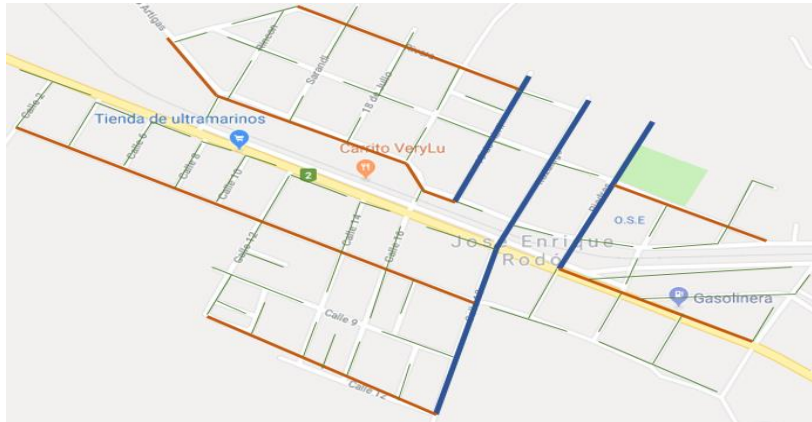


Figura VI.- Distribución de ramales (Azul: Principal/Naranja: Secundario/Verde: Líneas internas). Cada línea corresponde a 2 o 4 tubos dependiendo si se trata de sólo calor o climatización completa. Fuente. Elaboración propia

5. Conclusiones.- En cierta forma, se presenta una guía que permite establecer qué tecnologías se pueden utilizar para la biomasa seleccionada, cómo será la operación a lo largo de los días tipo que componen el año en concomitancia con la demanda y cómo estimar la rentabilidad de los proyectos, favoreciendo con este primer acercamiento la replicabilidad a cualquier tipo de comunidad. Es evidente que muchas de las variables intervienen de forma más notoria que otras en los resultados, pero en definitiva, teniendo conciencia de cuáles son los parámetros más influyentes, se pueden sacar rápidamente varias conclusiones al respecto de la viabilidad.

En conclusión, el recorrido hacia el éxito de estas redes térmicas debe vencer primero los escollos de la rentabilización y aceptación comunitaria para seguir apostando a su desarrollo. El camino a seguir puede ser largo, pero queda abierta una veta hacia la posibilidad del uso de un recurso autóctono y de una tecnología que aporta flexibilidad y beneficios a muchos actores a un costo relativamente moderado.

6. Referencias.-

- [1] DHcar, “The Case of District Heating: 1000 cities can’t be wrong,” 2017.
- [2] HeatRoadmapEU, “Methodologies and assumptions used in the mapping. Deliverable 2.3: A final report outlining the methodology and assumptions used in the mapping,” H2020-EE-2015-3-MarketUptake, 2012-2015.
- [3] R. Al-Karany, “Caracterización y preparación de residuos de Biomasa con ensayos experimentales de secado térmico y combustión no contaminante”, Tesis de maestría, Portoalegre: IPP - ESTG, 2013. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/10400.26/17064>
- [4] P. Curto, G. Pena, C. Mantero, G. Siri, N. Tancredi, A. Amaya, A. Durante, A. Ibañez, F. Ernst, L. Braga and M. Flores, “Cuantificación y evaluación del potencial energético de residuos agrarios y agroindustriales no tradicionales,” Montevideo: Instituto de Ingeniería Mecánica y Producción Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, 2017.
- [5] C. Faroppa and Energy Consulting Services SA, “Evaluación de la disponibilidad de residuos o subproductos de biomasa a nivel nacional,” Montevideo: MIEMDNETN, 2010.
- [6] MGAP-DIEA, “Censo General Agropecuario. Resultados finales,” 2011.
- [7] P. Couto, MGAP-DIEA, “Encuesta Agrícola. Primavera 2016. Serie de Encuestas 344,” Ramillo, 2016.
- [8] R. Golecha and J. Gan, “Biomass transport cost from field to conversion facility when biomass yield density and road network vary with transport radius,” *Applied Energy*, vol. 164, pp. 321-331, 2016.
- [9] INE. Instituto Nacional de Estadística., “Censo 2011,” 2011.
- [10] MIEM and DNE, “Encuesta Consumo Energético Residencial 2013. Planificación, Estadística y Balance,” Montevideo: MIEM, 2013.
- [11] URSEA, MIEM, “Especificaciones técnicas uruguayas de instalaciones solares térmicas,” URSEA. ETUS 2014.03, 2014.
- [12] ASHRAE, “Standard 90.1: Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings,” 2016.
- [13] Eferm, Logstor, “Catálogo técnico District Heating and Cooling. Tuberías de acero preaisladas,” Logstor, 2015.
- [14] J. Keirstead, N. Samsatli, N. Shah and C. Weber, “The impact of CHP (combined heat and power) planning restrictions on the efficiency of urban energy systems,” *Energy*, vol. 41, n.º 1, pp. 93-103, 2012.
- [15] MIEM, “Balance Energético Nacional,” 2015.