

MAPEO DEL POTENCIAL BIOENERGÉTICO UTILIZANDO UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA PROVINCIA DE CÓRDOBA.

R. E. Guido^{1,4}, V. M. Javi², C. R. Rodríguez^{3,4} y O. A. Oviedo^{1,4}

¹ Instituto de Investigaciones en Físicoquímica de Córdoba, Departamento de Química Teórica y Computacional, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.

² Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional, Salta, Argentina.

³ Departamento de Matemática, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.

⁴ Fundación Nova Vektors. Pizarro 789, Residencial Vélez Sarsfield, Córdoba, Argentina.
Tel. + 54 9 0351 5353853 Int. 55189 e-mails: o.a.oviedo@unc.edu.ar, rocioeguido@unc.edu.ar

Recibido:1-11-20; Aceptado:20-12-20.

RESUMEN. - En el presente trabajo se muestran los avances en el desarrollo de un modelo del mapeo del potencial energético biomásico para la provincia de Córdoba, analizado mediante un Sistema de Información Geográfica, como potencial herramienta para la toma de decisiones territoriales relativas a la planificación y prospectiva energética. La metodología aplicada se basó en la recopilación, sistematización, procesamiento y análisis de datos, tales como: oferta/demanda de fuentes de biomasa provenientes de diversas bases de datos. El emergente fue el cálculo del potencial energético teórico y técnico, incluyendo la Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos, por departamento provincial, a partir de la oferta biomásica. Los principales resultados revelan que el potencial bioenergético técnico total de la provincia es de 2,219 [TWh/año], lo que representa aproximadamente el 22% de la energía eléctrica consumida en la provincia en el año 2018. El presente análisis permitió realizar un ranking de la potencialidad bioenergética de los 26 departamentos de la provincia de Córdoba. Prácticamente el 50 % de dicho potencial se encuentra concentrado en 6 departamentos: Juárez Celman (11,0 %), Tulumba (10,2 %), Río Seco (7,1 %), Río Cuarto (7,0 %), Capital (6,9 %), y General San Martín (6,7%).

Palabras claves: Sistema de Información Geográfica, bioeconomía, biomasa, FORSU, bioenergía, planificación energética.

MAPPING OF THE BIOENERGY POTENTIAL USING A GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM IN THE PROVINCE OF CÓRDOBA ABSTRACT

ABSTRACT.- The preset paper reveals the advances in the development of a model for the mapping of the biomass energetic potential of Córdoba province, using a Geographic Information System. This represents a potential tool for territorial decisions relative to energetic planification and prospective. The methodology applied was based on the collection, systematization, processing and analysis of data from various sources, such as supply and demand data from biomass. The product obtained was the theoretical and technical energy potential calculation for each department using biomass supply data, including the Organic Fraction of Municipal Solid Waste. The main results reveal that the province's total technical bioenergetic potential is of 2,219 [TWh/year], which represents approximately 22% of the electricity consumed in Córdoba in 2018. With this analysis a ranking of the bioenergetic potentiality of the 26 departments was elaborated. The 50% of this potential is concentrated in 6 departments: Juárez Celman (11,0 %), Tulumba (10,2 %), Río Seco (7,1 %), Río Cuarto (7,0 %), Capital (6,9 %), y General San Martín (6,7%).

Keywords: Geographical Information System, bioeconomy, biomass, OFMSW, bioenergy, energetic planification.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Aumento poblacional y demanda de energía.

Las tendencias mundiales pronostican que el crecimiento poblacional se sostendrá a lo largo de los años (ONU, 2014), y además, se verá caracterizado por un aumento de la tasa de consumo energético por persona (intensidad energética), que traerá aún mayores requerimientos de los suministros energéticos (Ehrlich et al. 2012). La demanda crecerá por

encima del 25% para 2040 y esta energía provendrá en gran parte de fuentes fósiles (IEA, 2018).

El problema se agudiza dado que la matriz energética primaria mundial está conformada en un 79,5 % por combustibles fósiles (REN21, 2018), con significativas pérdidas energéticas por transporte y distribución, debido a las grandes distancias desde los principales centros de generación hasta los de consumo. A esta situación se adiciona

un ineficiente uso final de la energía, acompañado por un sistema consumista y derrochador, que concomitantemente genera enorme cantidad de residuos. A nivel mundial, no hay un acceso equitativo a la energía y organismos internacionales alertan que las políticas públicas no están direccionadas a cumplir los objetivos de energía sostenible en 2030 (The Energy Progress Report, 2018). Se estima que hay aproximadamente 1.600 millones de personas que no cuentan con acceso a energía eléctrica en sus viviendas y se espera que, para 2030, ingresen otras 1.400 millones de personas a la misma situación (CEPAL 2014). Esta alta dependencia del combustible fósil trae aparejado múltiples impactos ambientales negativos, entre ellos la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) (IPCC, 2014).

La situación acentúa la necesidad impostergable de realizar un cambio de paradigma, donde el desarrollo económico y social, no implique un incremento proporcional de las emisiones de GEI, sino una diversificación de la matriz energética que propenda al desarrollo de energías renovables y su uso racional y eficiente, promoviendo un desarrollo social sostenible y una accesibilidad energética para toda la población, en concordancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU, en particular el ODS7 (Objetivo 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos). En este sentido, no se vislumbra viable la construcción de tal sociedad sino es en base a un desarrollo energético sostenible (ONU, 2014).

1.2. Recurso Biomásico.

Este recurso renovable es susceptible de ser aprovechado como fuente de energía sostenible, generando un aporte fundamental al tipo de desarrollo energético pretendido. Para este destino, el recurso satisface requerimientos ventajosos, entre ellos, es: de alta disponibilidad, neutro en emisiones, diverso y versátil, almacenable, etc. (Manrique, 2017). En el ámbito mundial, la bioenergía es la fuente de energía renovable más demandada, conformando cerca del 13% de la demanda total global, correspondiendo el 8% a usos tradicionales, para cocción y calefacción en países en vía de desarrollo y el 5% restante pertenece a usos modernos (REN21, 2018). Por su parte el 2% de la generación eléctrica mundial proviene de la biomasa moderna y su contribución manifestó un crecimiento del 11% en 2017, con China superando a Estados Unidos como mayor productor de bioelectricidad.

1.3. Participación de la biomasa en la matriz energética Argentina.

La matriz de oferta primaria energética en 2017 estuvo conformada en un 87% por combustibles fósiles (EX-MINEM, 2017), con una participación del 6% de biomasa y biocombustibles. El país posee extraordinarias condiciones agroecológicas con diversas ventajas comparativas y competitivas en su sector agroindustrial, convirtiéndola en un gran productor de biomasa con potencial energético, según se indica en el informe "Análisis del Balance de Energía derivada de Biomasa en Argentina. WISDOM Argentina." (FAO, 2009), que consistió en un estudio espacial de la producción y consumo de biocombustibles aplicando la metodología de Mapeo de Oferta y Demanda Integrada de Dendrocombustibles WISDOM (Woodfuel Integrated Supply / Demand Overview Mapping), el cual reveló un superávit biomásico. Sin embargo, de estos recursos biomásicos, sólo una parte es valorizada con fines energéticos, existiendo en consecuencia una gran disponibilidad de recursos para futuros aprovechamientos

(FAO, 1996). Posteriores versiones de este estudio se enfocaron a diversas provincias, entre ellas la de Córdoba (FAO, 2017).

1.4. Energías Renovables en Argentina.

A fin de diversificar la matriz energética y con ello satisfacer compromisos ambientales adquiridos, el gobierno promulgó la Ley de Energías Renovables N° 27.191, sancionada en 2015, que estableció la satisfacción del 8% de la matriz de energía eléctrica con fuentes renovables para 2017, y 20% hacia 2025. Para cumplir estos objetivos, el gobierno lanzó diferentes versiones del plan RenovAr, que adjudicó al presente un total de 147 proyectos de energías renovables incluyendo tecnologías Eólica, Solar, Biomasa, Biogás, Biogás de Relleno Sanitario (BRS) y Pequeños Aprovechamientos Hidroeléctricos (PAH). La potencia conferida por dicho programa en la actualizada es de 4.866,5 [MW], de la cual 183 [MW], 75 [MW] y 18 [MW] corresponden a biomasa, biogás y BRS, respectivamente (Ministerio de Hacienda de la Nación, 2019; Ministerio de Hacienda de la Nación, 2018).

1.5. Generación eléctrica a partir de biomasa en la provincia de Córdoba: proyectos RenovAr.

Al presente se adjudicaron 24 proyectos del RenovAr, con una potencia de 182,45 [MW], de los cuales 3 corresponden a biomasa (12,5 [MW]) y 13 corresponden a biogás (21,42 [MW]). La primera planta que entró en operación comercial, bajo este plan, fue Bioeléctrica (Biogás), localizada en el departamento Río Cuarto, la cual se suma a la generación energética provincial, que según datos de 2017, estuvo conformada en un 86% por combustibles fósiles (gas natural, gas-oil y fuel-oil), 10% de plantas hidroeléctricas (> 50 [MW]), 6% PAH, y 0,1% de Biogás (Cammesa, 2017). Durante ese año, no hubo generación nuclear en la provincia (Embalse, Río Tercero), debido a que la planta estaba detenida por mantenimiento.

En la provincia, la biomasa se encuentra distribuida en todo su territorio, con alta disponibilidad. El reciente desarrollo de políticas públicas provinciales que favorecen la generación de energía renovable (IPAR, 2019), muestran la posibilidad de avanzar en la puesta en valor de este recurso, en un contexto de planificación provincial energética sostenible, y su articulación a futuro con prospecciones energéticas. Es en este sentido que adquiere real importancia la utilización del software de información geográfica como herramienta de análisis.

En referencia a la demanda eléctrica provincial, el informe anual de la Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico correspondiente al año 2018, indica que la misma fue de 9,9 [TWh/año] (Cammesa, 2019), mientras que un hogar medio de Córdoba consume 2,8 [MWh/año] aproximadamente. La alta dependencia fósil de la matriz provincial conlleva la emisión de 600 kg de CO₂ por persona por año aproximadamente (MINEM, 2016; Dirección General de Estadísticas y Censos, 2010).

1.6. Sistemas de Información Geográfica.

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es una base de datos espacial, y, además, una herramienta de análisis que ofrece la posibilidad de identificar las relaciones espaciales de los fenómenos que se estudian. Su principal función es capturar, analizar, almacenar, editar y representar datos georreferenciados, con el fin de resolver problemas complejos de planificación y de gestión (Olaya, 2014).

Los SIG pueden aplicarse tanto para una pequeña región acotada, como en el caso de la región de Navarra España por Bravo et al. (2003); o tan extensa como un país, como es el caso de Colombia (Quijano y Domínguez, 2008). A nivel nacional, se desatacan los estudios de Belmonte et al. (2009), en los cuales se analizan las vinculaciones entre políticas energéticas y procesos de ordenamiento territorial en el Valle de Lerma (Salta) y posterior desarrollo de un SIG para mejorar el acceso al recurso hídrico en la región chaqueña de Salta, López, Belmonte y Franco (2013). Sigal et al. (2014), desarrollaron un “SIG de hidrógeno renovable” el cual evaluó la potencialidad de producción de hidrógeno nacional, a partir de fuentes eólica, solar y biomasa. Además se destacan el desarrollo del SIG eólico nacional (CREE, 2006), el Atlas de Radiación Solar (Grossi Gallegos y R. Righini, 2007), la plataforma de Información Geográfica relativa a Energía de la Secretaría de Energía de la Nación y el antes mencionado trabajo de la FAO.

La provincia de Córdoba presenta un contexto ideal para la valorización de la Biomasa como recurso bioenergético. Un buen punto de partida es el análisis FAO, sin embargo es necesario cruzar la disposición espacial de recurso (oferta) y vincularla con los centros demandantes y, a su vez, complementarla con otra información de interés, como ser líneas de tensión/evacuación eléctrica, datos poblacionales, etc. Además, es fundamental vincular la oferta y la demanda de biomasa con otros aspectos tecnológicos, económicos y ambientales. Por lo tanto, para la planificación y el desarrollo bioenergético regional, es necesaria la correlación de distintos tipos de información, ya que no basta con la existencia de un recurso para lograr su aprovechamiento, sino que es necesario tener en cuenta su disponibilidad, accesibilidad física y legal, los tipos de tecnologías, recursos económicos y financieros disponibles, etc. De allí surge la necesidad de avanzar en el desarrollo de una metodología para mapear la disponibilidad del recurso biomásico y correlacionarla con otros parámetros de interés para la provincia de Córdoba.

2. METODOLOGÍA

2.1. Área de estudio.

Córdoba se encuentra ubicada en la región centro de Argentina (Figura 1), con 165.321 km² de extensión, siendo la quinta provincia más extensa del mismo (5,94% de su superficie total). De acuerdo al Censo nacional 2010 (INDEC, 2010), su población es de 3.308.876 habitantes, lo que la convierte en la segunda provincia más poblada (Gobierno de la Provincia de Córdoba, 2016). Esta se encuentra dividida en 26 unidades administrativas, llamadas departamentos, seleccionadas como menor unidad de análisis para este trabajo.

2.2. Armado del modelo: diseño del SIG.

2.2.1. Fuentes de información/bases de datos.

Se clasificaron y cuantificaron los recursos biomásicos de la provincia disponibles para ser aprovechados con fines bioenergéticos, por departamento. Siguiendo la clasificación de FAO (recolectados mediante la metodología WISDOM, Córdoba 2017), como parte del programa PROBIOMASA, se discriminaron en las siguientes **variedades**: Biomasa Húmeda (BH) y Biomasa seca (BS), y además se incluyó la categoría Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos (FORSU).

La **BH** incluye los **subtipos**: desechos provenientes de feedlots, tambos, establecimientos porcinos y residuos frutihortícolas. La **FORSU** se entiende como la parte putrescible, como ser restos de comida, restos de poda y residuos de jardín, etc. La **BS** incluye los **subtipos** (el informe de FAO incluye a los restos de poda y residuos de jardín en la categoría BS, aquí se consideró dentro de la FORSU, debido a que se disponen como RSU): Incremento Medio Anual (IMA) del bosque nativo, IMA de arbustales y pastizales, y varios tipos de biomasa residual como provenientes de: plantaciones forestales, cultivos de olivo y cultivos de algodón, cáscara de maní, foresto-industria, restos del desmote de algodón.

Los datos de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) a nivel provincial fueron extraídos del informe generado por el Observatorio Nacional para la Gestión de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU, 2012) y los de FORSU del “Estudio de caracterización de los Residuos Sólidos Municipales de la ciudad de Córdoba” (PROVADEMSE, 2015). Debido a la falta de datos sobre la composición de los RSU por departamento (sólo se conocen los de la ciudad Capital), se utilizó la composición de este último para todo el territorio provincial.

2.2.2. Software y sistemas de referencia.

Se empleó el software Q-GIS® que es de libre acceso y uno de los más utilizados a nivel global. Como sistema de referencia se utilizó el elipsoide GPS World Geodetic System 1984 (WGS84) y como sistema de coordenadas, las habituales coordenadas de latitud y longitud.

2.2.3. Estructura de datos.

El modelo contempla datos de información general de Córdoba tales como: límites provinciales, redes viales, datos climáticos (temperaturas y precipitaciones), localidades y por otro lado, información directamente relacionada con el balance bioenergético provincial, como ser oferta y demanda discriminados por fuentes, localización de plantas generadoras de energía, etc. Los atributos contienen información de distintas fuentes originales consultadas, junto a otras que fueron creadas “ad-hoc”, combinándolas con otros datos procesados en tablas pertinentes. Se generaron mapas temáticos y se sistematizaron los siguientes 7 grupos:

1. Caracterización ambiental y poblacional: datos climatológicos, relieve, etc.
2. Límites políticos y red vial.
3. Imágenes satelitales (Raster).
4. Recursos energéticos biomásicos.
5. Generación de energía renovable a partir de biomasa (Plan RenovAr).
6. Sistema de transporte y distribución eléctrico.
7. Potencialidad bioenergética teórica y técnica.

2.2.4. Potencial Energético.

- a) Para el caso de la BS, se define el *potencial energético teórico anual* del **subtipo** de biomasa i ($i = 1, \dots, M$), $PE_i^{teórico}$, como:

$$PE_i^{teórico} = m_i \times PCI_i \quad (1)$$

donde m_i es la masa disponible anual en [tn/año] y PCI_i es el Poder Calorífico Inferior en [GWh/tn], ambos valores del **subtipo** de biomasa i .

Para el caso de la BH y FORSU, se define el $PE_i^{teórico}$, como:

$$PE_i^{teórico} = m_i \times BG_i \times PCI_{BG} \quad (2)$$

donde: m_i es la masa disponible anual para ser convertida a biogás en [tn/año], BG_i la cantidad de biogás que se puede generar por unidad de masa en [m^3 /tn], ambos valores del **subtipo** de biomasa i , y PCI_{BG} es el Poder Calorífico Inferior del biogás [GWh/tn]. Para el caso particular de la FORSU el valor de m_i incluye la porción de Sólidos Volátiles del 80% ($m_i \times 0.80$).

- b) Se define el *potencial energético técnico anual* del **subtipo** de biomasa i , $PE_i^{técnico}$, como:

$$PE_i^{técnico} = PE_i^{teórico} \times Ef_i \quad (3)$$

donde: Ef_i es la eficiencia de conversión energética del **subtipo** de biomasa i , dependiente de la tecnología empleada.

- c) Se estiman los potenciales energéticos totales, teóricos y técnicos de los N **subtipos** diferentes de biomasa para cada una de las 3 **variedades** de biomasa, de acuerdo:

$$PE_{total}^{teórico} = \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^N PE_i^{teórico} \quad (4a)$$

$$PE_{total}^{técnico} = \sum_{j=1}^3 \sum_{i=1}^N PE_i^{técnico} \quad (4b)$$

donde: el subíndice j representa la **variedad** de biomasa (BS, BH o FORSU) y el i el **subtipo** de biomasa de la variedad j .

Se consideraron las siguientes tecnologías de generación, según el tipo de biomasa:

- Biomasa Seca. Gasificación Integrada de Biomasa en Ciclo Combinado (GIBCC), ya que ofrece la más alta eficiencia de conversión en su tipo (40%) (Arteaga et al., 2014).
- Biomasa Húmeda. Turbinas de gas más cogeneración (40%) (BID, 2017).
- FORSU. Motor recíprocante de combustión interna (eficiencia del 25%), correspondiente a la tecnologías más utilizadas para revalorización de BRS, pues presentan una alta eficiencia en comparación con las turbinas de gas y microturbinas (BID, 2017).

Los potenciales energéticos en cada departamento provincial se expresan en [GWh/año].

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Mapas temáticos.

En la Figura 1 se pueden observar los límites geográficos de la provincia de Córdoba y su distribución política en departamentos, junto con las líneas de transporte eléctrico de alta tensión (500kV, 132 kV y 66 kV) que atraviesan el territorio provincial. También se puede observar la población por departamento, representada mediante una escala graduada de globos, de acuerdo al tamaño de su población.

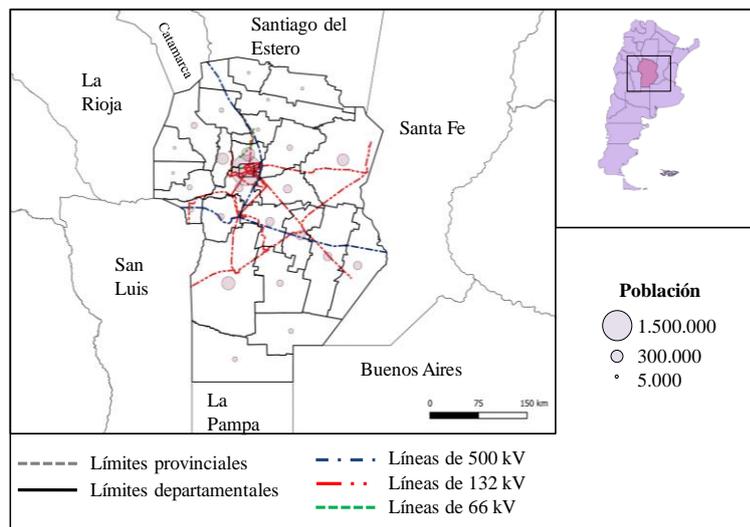


Fig. 1: Localización geográfica de la provincia de Córdoba. Población por departamento y líneas de alta tensión eléctrica.

Las Figuras 2 y 3, muestran el $PE_{total}^{teórico}$ y el $PE_{total}^{técnico}$ de la provincia de Córdoba, respectivamente, mientras que la Figura 4, la Figura 5 y la Figura 6, muestran el $PE_j^{técnico}$ de cada variedad de biomasa, donde el índice j considera: BS, BH y FORSU. Además se georreferenciaron las distintas plantas de biomasa y biogás licitadas durante las distintas

rondas del programa Renovar 1, 1.5 y 2 (en la Ronda 3 no hay proyectos de Biogás ni de Biomasa). Debido a la cercanía de las cuatro plantas de biogás de las empresas Bioeléctrica y Biomass Crop, en el departamento de Río Cuarto, se visualizan en la Figura 3b como un único punto. Cercana a la ubicación de dichas plantas, se ubica Biogeneradora Centro, por lo que los símbolos en la figura se solapan.

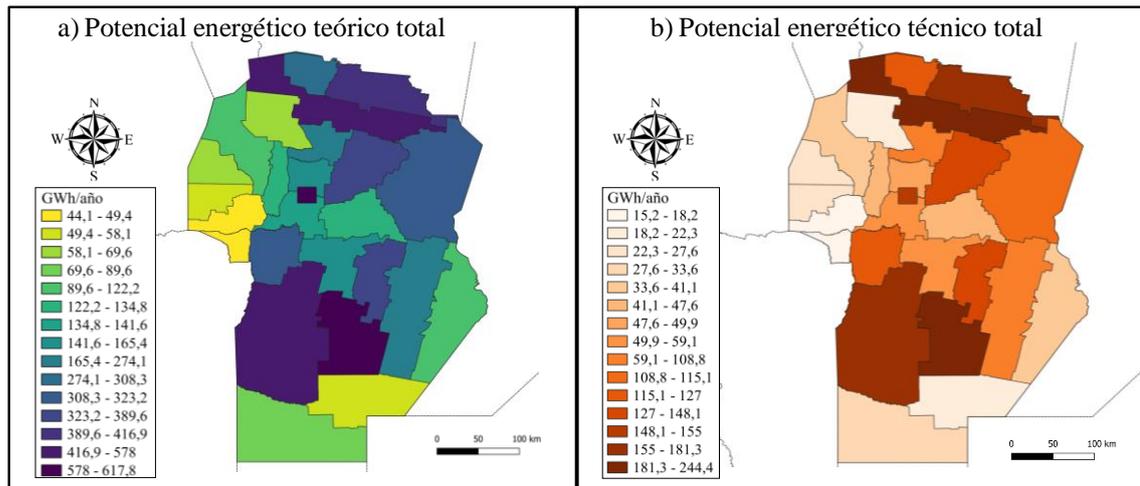


Fig. 2: Potencial energético a) teórico y b) técnico total, de acuerdo a la ecuación (4a y 4b).

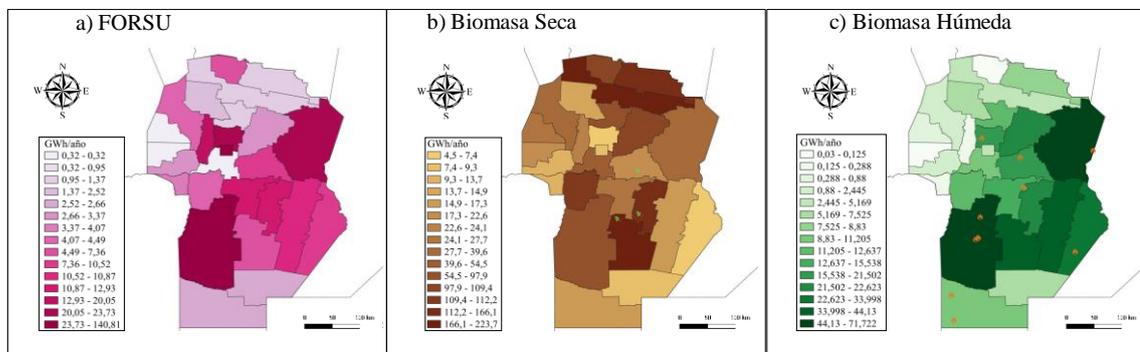


Fig. 3: Potencial energético técnico discriminado por tipo de biomasa a) FORSU, b) BS y c) BH. En b) y c) se georreferenciaron los 3 proyectos de biomasa (símbolo: hojas) y los 13 de biogás (símbolos: llamas) de las diferentes rondas del plan Renovar.

El potencial bioenergético técnico total de la provincia de Córdoba ($PE_{total}^{técnico}$) es de 2,219 [TWh/año], lo que representa aproximadamente el 22% de la energía eléctrica consumida en la provincia en el año 2018. Del $PE_{total}^{técnico}$, el 67,3 % proviene de la BS, el 18,0% proviene de BH y finalmente 14,7 % de la FORSU. Aproximadamente el 50 % del potencial bioenergético técnico se encuentra concentrado en 6 departamentos: Juárez Celman (11,0 %), Tulumba (10,2 %), Río Seco (7,1 %), Río Cuarto (7,0 %), Capital (6,9 %), y General San Martín (6,7%). El departamento Capital es el que mayor disponibilidad de FORSU presenta en toda la provincia, para el caso de la BS es el departamento Tulumba el que mayor disponibilidad posee, y con respecto a la BH el departamento Río Cuarto es quien realiza un mayor aporte.

En la Tabla 1 se puede observar el ranking del potencial energético técnico de los departamentos de la provincia de Córdoba. En el primer puesto se encuentra al departamento Juárez Celman, con un total de 244,4 [GWh/año], su mayor aporte proviene de la BS con 82,2% debido a su gran oferta de cáscara de maní, seguido por la BH con un 15,9%. Completa la distribución una relativamente pequeña proporción de FORSU con un 1,9%.

En el segundo puesto le sigue Tulumba, con 227, 2 [GWh/año], conformado en su gran mayoría por BS con un 98,5%, debido al IMA del bosque nativo, 1,1% de BH y 0,4 % de FORSU.

En tercer lugar se encuentra el departamento Río Seco con 158,4 [GWh/año], con una participación del 93,4 % de BS, proveniente del IMA de bosque nativo en su mayoría junto al de arbustales y pastizales, y pequeñas participaciones de BH con un 5,5% y 0,6% de FORSU.

Río Cuarto representa el cuarto puesto con 155,6 [GWh/año], con una distribución más homogénea en cuanto a los aportes energéticos de los diversos tipos de biomasa: 46,1% de BH, por sus aportes de estiércol animal proveniente, sobre todo, de feedtolts, también de tambos y establecimientos porcinos, 37,7% de BS (proveniente de la foresto-industria y de IMA de bosque nativo), y 16,2% de la FORSU.

En el quinto puesto, se encuentra el departamento Capital con 153,7 [GWh/año], con un aporte del 91,6% proveniente de la FORSU. Este efecto es esperable debido a que la Capital es el principal generador de RSU a nivel provincial, directamente relacionado con la cantidad de habitantes. Le sigue en aporte la BS con el 5,1%, y completa la distribución una relativamente pequeña proporción de BH del 3,3%.

En el sexto puesto, y completando junto con los anteriores departamentos mencionados, la mitad de la potencialidad de generación bioeléctrica a nivel provincial, se encuentra el departamento General San Martín con 148,1 [GWh/año], con un aporte del 76,5% de BS (proveniente en su mayoría de la cáscara de maní), un 14,8% de BH y 8,7% de FORSU.

Tabla 1 – Clasificación del potencial bioenergético de los departamentos provinciales

DEPARTAMENTOS	POTENCIAL BIOELÉCTRICO TÉCNICO TOTAL [Gwh/año]	PUESTO
Juárez Celman	244,36	1
Tulumba	227,16	2
Río Seco	158,40	3
Río Cuarto	155,59	4
Capital	153,70	5
General San Martín	148,09	6
Río Primero	127,53	7
Calamuchita	126,72	8
Sobremonte	116,83	9
San Justo	111,73	10
Totoral	108,83	11
Unión	66,63	12
Santa María	55,39	13
Tercero Arriba	50,45	14
Colón	48,86	15
Río Segundo	47,63	16
Punilla	41,39	17
Marcos Juárez	40,91	18
Cruz del Eje	35,80	19
General Roca	29,06	20
Minas	27,64	21
Pocho	23,05	22
Ischilín	21,91	23
Presidente Roque Sáenz Peña	18,60	24
San Alberto	17,28	25
San Javier	15,23	26

Con respecto a la distribución de las plantas de generación de energía renovable, se puede observar una relativamente buena correlación entre el potencial energético (teórico y técnico) y la localización de las plantas licitadas en las diferentes versiones del programa RenovAr, sin embargo, el norte cordobés, especialmente el departamento de Tulumba, no evidencia proyectos de revalorización de la biomasa, a pesar de ser una zona de alta potencialidad. Es importante considerar, como se mencionó anteriormente, que el mayor aporte de biomasa seca en el departamento es debido al IMA del bosque nativo, por lo que para su desarrollo es fundamental planificar un manejo sustentable del mismo, el cual justamente permitiría valorizar este recurso, a fin de darle un valor agregado que beneficiaría a las comunidades locales, siendo el sector norte uno de los más marginales de la provincia.

Los únicos departamentos de entre los 6 primeros de la clasificación mencionada, en los cuales existe (o se están construyendo) por lo menos una de las plantas del programa RenovAr –que utilice biomasa– corresponden a los de Juárez Celman, Río Cuarto y General San Martín, existiendo para el primero y último una planta de combustión de biomasa respectivamente, y para el segundo varias plantas de quema de biogás (corresponden a 2 plantas de la empresa BIOMASS CROP S.A., con sus respectivas ampliaciones de potencia). Por el contrario, para los departamentos Capital, Tulumba y Río Seco no existen ninguna planta de valorización energética de biomasa, conectada al sistema eléctrico, que inyecte energía a la red. En dichos departamentos, por lo tanto, se

podría explorar la posibilidad de incorporar nuevas plantas de generación de energía renovable. Solo en 9 departamentos de los 26 de la provincia existen plantas de este tipo.

Para el caso de la FORSU, se destacan los departamentos Capital, Río Cuarto, Colón, San Justo y Punilla, los cuáles coinciden con los departamentos en los cuales se localizan los principales centros urbanos de la provincia, que abarcan mayor cantidad de población. Esta fuente de biomasa merece especial atención, ya que una de las principales problemáticas de las ciudades actuales es la tasa de generación de RSU y su adecuada disposición final, dada la escasez de sitios para realizar un adecuado relleno sanitario y garantizar su adecuada gestión.

4. CONCLUSIONES

La biomasa es una fuente de energía renovable disponible en la provincia de Córdoba con un gran potencial de aprovechamiento con fines energéticos. Este objetivo contribuirá a disminuir el componente fósil de la matriz energética provincial, en concordancia con los objetivos y metas descriptos en los ODS-ONU, que marcan el sentido de lograr una matriz energética sostenible.

En el presente trabajo se estimó el potencial energético que se podría obtener, a partir de la oferta de diversas fuentes de biomasa en la provincia de Córdoba.

Todos los departamentos ofrecen potencialidades, dependiendo del tipo de disponibilidad, encontrándose en los primeros 6 puestos del ranking de la Tabla 1, los departamentos: Juárez Celman, Tulumba, Río Seco, Río Cuarto, Capital y General San Martín.

Se observó una buena correlación entre la localización de las plantas del plan RenovAr y la oferta de biomasa. Sin embargo, se detectó una zona con potencial energético -al norte y nor-oeste de la provincia- en donde los recursos pueden ser valorizados, pero no hay evidencia de planes conteniendo plantas de generación energética, por lo que se podría estudiar como área potencial para futuros proyectos. Es de gran importancia realizar una adecuada planificación y gestión del recurso, ya que el subtipo más abundante corresponde al IMA de boque nativo. En el trabajo de FAO, al calcular la disponibilidad del recurso, se tuvieron en cuenta criterios legales y de accesibilidad estrictos, y solo se consideró el Incremento Medio Anual del mismo. También se deben evaluar las redes de distribución eléctrica en la zona, para garantizar una adecuada evacuación de electricidad de las futuras plantas.

Sólo 9 de los 26 departamentos de la provincia poseen plantas de generación energética a partir de biomasa, siendo posible elevar sustancialmente este número de acuerdo a sus recursos.

La disponibilidad de la FORSU está directamente relacionada con el tamaño de la población, y se considera prioritario estudiar mecanismos para revalorizar los mismos energéticamente. De esta forma se intentaría solucionar una doble problemática: el pasivo ambiental que conforman los RSU y la contribución a la generación energética.

Los avances del presente trabajo se direccionarán en la inclusión de nuevas variables, tales como la posibilidad de evacuación local de energía, otras fuentes de recursos primarios, y su vinculación con sistemas de planificación energética.

AGRADECIMIENTOS

A CONICET por la beca doctoral otorgada a R.E. Guido y a la SECyT-UNC por el subsidio 33620180101091CB.

REFERENCIAS

Arteaga-Pérez, L., Casas-Ledón, Y., Cabrera-Hernández, J., Rodríguez Machín, L. (2014). Gasificación de biomasa para la producción sostenible de energía. Revisión de las tecnologías y barreras para su aplicación.

Belmonte S., Franco J., Viramonte, V., Núñez (2009). Integración de las energías renovables en procesos de ordenamiento territorial. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, **13**, 41-48.

Banco Interamericano de Desarrollo - BID. (2017). Nota técnica N° IDB-TN-1260. División de energía. Generación de electricidad a partir de biogás capturado de residuos sólidos urbanos: Un análisis teórico-práctico.

Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico - CAMMESA. (2018). Informe anual 2017. Recuperado de: <http://portalweb.cammesa.com/memnet1/Pages/descarga.s.aspx>

Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico - CAMMESA. (2019). Informe anual 2018. Recuperado de: <http://portalweb.cammesa.com/memnet1/Pages/descargas.aspx>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2014). Documento de proyecto: Pobreza energética en América Latina.

CREE, Centro Regional de Energía Eólica.(2006). Decreto N° 134/2015. Emergencia Energética 2018. *Energy Progress Report*. Recuperado de: https://trackingsdg7.esmap.org/data/files/download-documents/tracking_sdg7-the_energy_progress_report_full_report.pdf

Ex – Ministerio de Energía y Minería de la Nación. Balance Energético Nacional. (2017). Recuperado de: <http://www.energia.gob.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3366>

Ehrlich, P., Kareiva, P. y Daily, G. (2012). Securing natural capital and expanding equity to rescale civilization; 486(7401):68-73. doi:10.1038/nature11157

GIRSU. (2019). Observatorio GIRSU - Ambiente y Desarrollo Sustentable. Recuperado de: <http://observatoriorsu.ambiente.gob.ar/>

Gobierno de la Nación. (2019). RenovAr. Recuperado de: <https://www.argentina.gob.ar/renovar>

Gobierno de la Nación. (2019). Proyectos adjudicados del programa RenovAr. Recuperado de: <https://public.tableau.com/profile/datosenergia#!/vizhome/AdjudicacionesRenovARMINEMArgentina/AdjudicacionesRenovArArgentina>.

Gobierno de la Provincia de Córdoba. (2016). Provincia. Recuperado de: <http://www.cba.gov.ar/provincia/aspectos-generales/>

Grossi Gallegos H, Righini R. (2007). Atlas de Energía Solar de la República Argentina. Universidad Nacional de Luján y Secretaría de Ciencia y Tecnología, Buenos Aires.

INDEC. Censo 2010.

International Energy Agency. 2018. World Energy Outlook 2018.

Informe de estado global de energías renovables 2020. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21).(2018). Global status Report. A comprehensive annual overview of the state of renewable energy.

IPCC. 2014. Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza.

López E., Belmonte S., Franco J. (2013). Elaboración de un Sistema de Información Geográfica hídrico para evaluar potenciales aplicaciones de energía solar en el Chaco salteño. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, **17**, 01.43-01.53.

Manrique, S. (2017). Biomasa con fines energéticos. Recursos, potencialidad y cambio climático. (Pág 15), Editorial: edUTecNe. www.edutecne.utn.edu.ar.

Ministerio de Energía y Minería de la Nación. (2016). Cálculo del Factor de Emisión de CO₂ de la Red Argentina de Energía Eléctrica. Recuperado de <http://www.energia.gob.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=2311> el 18 de marzo de 2017.

- Ministerio de Hacienda de la Nación. (2018). Se presentó el Programa RenovAr MINIREN – RONDA 3. Recuperado de:
<https://www.argentina.gob.ar/noticias/se-presento-el-programa-renovar-miniren-ronda-3-0>
- Ministerio de Hacienda de la Nación. (2019). Recuperado de:
<https://www.argentina.gob.ar/energia/energia-electrica/renovables/plantas-de-energia-renovable>.
- Olaya, V. (2014). Sistemas de Información Geográfica. Recuperado de: <http://volaya.es/writing>.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). Objetivo 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos. Fecha de consulta: 24/06/19, Recuperado de:
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2014). World Urbanization Prospects. Economic and social affairs.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Ministerio de Energía y Minería, y Ministerio de Agroindustria de la Nación. (2017). *Análisis espacial del balance energético derivado de biomasa. Metodología WISDOM*. Provincia de Córdoba. Colección de documentos técnicos N° 5.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Recuperado de:
<http://www.fao.org/docrep/T2363s/t2363s0p.htm>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2009). Análisis del Balance de Energía derivada de Biomasa en Argentina. WISDOM Argentina. Análisis espacial de la producción y consumo de biocombustibles aplicando la metodología de “Mapeo de Oferta y Demanda Integrada de Dendrocombustibles” (Wood fuel Integrated Supply / Demand Overview Mapping)
Q-GIS. Recuperado de:
<https://www.qgis.org/es/site/about/index.html>
- Quijano, R., Domínguez, J. (2008). Diseño de un proyecto integrado para la planificación energética y el desarrollo regional de las energías renovables en Colombia basado en Sistemas de Información Geográfica. XIII Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica, Universidad de Las Palmas de Gran Canarias. Pag. 63.
- Senado y Cámara de Diputados de la Nación Argentina. 2015. Ley 27.191. Ley 26190. Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía destinada a la Producción de Energía Eléctrica: Recuperado de:
<http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/250000-254999/253626/norma.htm>
- Sigal, A., Leiva, E.P.M., Rodríguez, C.R. (2014). Assessment of the potential for hydrogen production from renewable resources in Argentina. *International journal of hydrogen energy* **39**, 8204. ELSEVIER. DOI:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.03.157>
- SIG eólico. www.eolica.com.ar
- Subsecretaría de Energías Renovables y Eficiencia Energética. Ministerio de Hacienda. Presidencia de la Nación. Informe: Índice Provincial De Atractivo Renovable (IPAR). 2019. Edición 1.
- Secretaría de Energía de la Nación. Información Geográfica. Energía. Recuperado de:
<https://sig.se.gob.ar/visor/visorsig.php?t=6>