



Evaluación de opciones de reciclaje para el fortalecimiento de la economía circular en Norte de Santander

Evaluation of recycling options for strengthening the circular economy in Norte de Santander.

Esteban Felipe Cáceres Gelvez ¹, Gaudy Carolina Prada Botia ²

¹. Facultad de ingeniería. Ingeniería industrial. Semillero SINDMAT. UFPS. estebanfelipecg@ufps.edu.co

² Facultad de ingeniería. Director semillero SINDMAT. Investigador de GIINPRO. Docente del departamento de procesos industriales. UFPS. gaudycarolinapb@ufps.edu.co

Resumen

La economía circular consiste en la reutilización de los productos, los materiales y los recursos, a fin de que se reduzca al mínimo la generación de residuos y el uso de materias vírgenes en la producción de bienes. Por esto, se evalúan en esta revisión las distintas formas de producir celulosa nanocristalina y biogás con materia prima reciclada o con residuos sólidos municipales, como, por ejemplo, la caña de azúcar, el papel de oficina, la cáscara de arroz, la concha de banano, entre otros.

Este análisis se planteó con base en el costo, los materiales y la aplicabilidad industrial de cada uno de los procesos, con el fin de discutir y comparar su factibilidad de producción en Norte de Santander. Esto último, debido a que este departamento de Colombia almacena alrededor de 355.548 toneladas anuales de basura en sus cuatro rellenos sanitarios, convirtiéndose así en una gran fuente de generación de energía que, de aprovecharse correctamente, brindaría a la región empleo, desarrollo e innovación.

Palabras clave: biogás, celulosa, residuos orgánicos, residuos sólidos municipales.

Abstract

The circular economy consists of the reuse of products, materials, and resources, to minimize the generation of waste and the use of virgin materials in the production of goods. Therefore, this review assesses the different ways of producing nanocrystalline cellulose and biogas with recycled raw material or with municipal solid waste, such as sugar cane, waste office paper, rice husk, banana shell, among others.

These analyses are carried out based on the cost, materials, and the industrial applicability of each of the processes, to discuss and compare the feasibility of their production in Norte de Santander. The latter, because this department of Colombia stores around 355,548 tons of garbage per year in its four sanitary landfills, thus becoming a great source of energy generation, which, if used correctly, would provide the region with employment, development, and innovation.

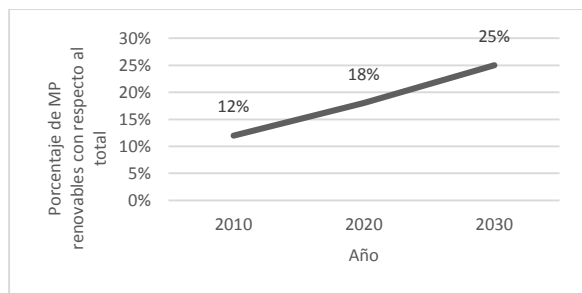
Key words: biogas, cellulose, organic waste, municipal solid waste

1. Introducción

La sobreexplotación de combustibles fósiles y sus derivados, el crecimiento desproporcionado, y la incapacidad de las ciudades para planear en el territorio, están generando problemáticas ambientales, sociales y económicos como, por ejemplo, el cambio climático y la desatendida disposición de los residuos sólidos. Lo anterior, pues para el 2025 serán generadas alrededor de 2.2 billones de toneladas de desperdicios, que a su vez generan gases contaminantes, y que le costarán -por año- a las ciudades del mundo una cifra cercana a los 375,5 billones de dólares. (Fiksel & Lal, 2018)

Por lo anterior, desde la academia se han desarrollado alternativas de producción y no contaminantes, enmarcadas bajo el concepto de economía circular, tal y como se aprecia en la figura 1. En la presente revisión se evalúan dos productos novedosos en cuyos procesos de fabricación está inmerso el uso de desechos agroindustriales y/o residuos sólidos municipales, con el fin de establecer su factibilidad de producción en Norte de Santander, según la materia prima, la aplicabilidad industrial y los costos.

Figura 1. Crecimiento en el uso de materias primas renovables en los procesos productivos. (Gurunathan, Mohanty, & Nayak, 2015)



2. Celulosa nanocrystalina

La celulosa nanocrystalina (CNC) es el resultado de la máxima eliminación posible de las regiones amorfas de la celulosa, el biopolímero más abundante de la tierra, resultando así, unos cristales más resistentes que el Kevlar y el alambre de acero, como se puede observar en la tabla 1.

Tabla 1. Propiedades mecánicas de distintos materiales

Material	Resistencia a la tracción (GPa)	Módulo elástico (GPa)	Fuente
Nanocristales de celulosa	7,5 – 7,7	110 – 120	(Mishra, Sabu, & Tiwari, 2018)
Acero inoxidable 302	1,280	210	(Brinchi, Cotana, Fortunati, & Kenny, 2013)
Alambre de acero	4,1	210	(Mishra et al., 2018)
Aluminio	0,33	20	(Brinchi et al., 2013)
Kevlar	3,5	124 – 130	(Mishra et al., 2018)

Es ideal como material de refuerzo en la fabricación de compuestos. Funciona también como aditivo para revestimientos, pinturas, adhesivos, productos farmacéuticos, reparación de dientes, embalaje e inclusive en aerogeles super aislantes (Rahbar Shamskar, Heidari, & Rashidi, 2016)

La variable que se usó para comparar los diferentes nanocristales producidos con los distintos residuos es el índice de cristalinidad, pues entre mayor sea este, será más fuerte y rígida

la NCC (Osswald & Menges, 2012). Una alta cristalinidad, además, mejora la estabilidad térmica y mecánica. (Xu et al., 2018)

Tabla 2. Fuentes revisadas para producir celulosa nanocristalina

Fuente usada	Índice de cristalinidad	Fuente
Madera de pino y mazorca de maíz	78,2% y 73,9%	(Ditzel, Prestes, Carvalho, Demiate, & Pinheiro, 2017)
Palma de aceite	80%	(Zianor Azrina et al., 2017)
Conchas de sagú	72%	(Naduparambath et al., 2018)
Cáscara de arroz	65%	(Islam, Kao, Bhattacharya, Gupta, & Choi, 2017)
Palma de azúcar	85,9%	(Ilyas, Sapuan, & Ishak, 2018)
Paja de arroz	76,99%	(Xu et al., 2018)
Pelusa de algodón	96%	(Orasugh et al., 2018)
Algodón natural	91,7%	(Theivasanthi, Anne Christma, Toyin, Gopinath, & Ravichandran, 2018)

3. Biogás

El biogás es un combustible renovable que se genera por la degradación de materia orgánica. Puede usarse para producir electricidad: en Estados Unidos se generan 10 GW de energía a través de las 17.400 plantas instaladas en el país. Por otro lado, funciona como combustible para vehículos. En Europa, por ejemplo, se usa el biometano, un derivado del biogás, como combustible para vehículos, produciendo, en 2015, 1,2 billones de metros cúbicos de este biocombustible. (Scarlat, Dallemard, & Fahl, 2018). Además, en un proyecto piloto realizado en Sudáfrica, se vio factible y rentable la producción de biometano a escala industrial, en donde se obtuvo una tasa interna de retorno del 16,90%. (Masebinu, Akinlabi, Muzenda, Aboyade, & Mbohwa, 2018). Así mismo, la producción de biogás pudo satisfacer demandas de energía de toda una población rural (Zareei, 2018) y producirse con los residuos industriales de una mediana empresa de tenería, en donde se redujo en un 6,8% el consumo de electricidad. (Agustini, da Costa, & Gutterres, 2018).

Para generar biogás se necesita de residuos de comida y de jardín que se encuentren, por ejemplo, en vertederos. Según (Vergara & Cáceres, 2017), más de la mitad de la basura que se produce en el relleno más grande de Norte de Santander son estos residuos, por ende, existe una gran fuente de materia prima para una potencial fabricación del mismo.

Ahora bien, para establecer que tan factible es la producción de biogás, se analizó el estado del arte del mismo, tomando como comparación la energía producida por cada proceso revisado, como se puede apreciar en la tabla 3.

Tabla 3. Análisis de energía de distintas fuentes de alimentos usando 1kg de residuos

Fuente usada	Energía producida
Residuos de comida	5350 kJ
Glucosa	16000 kJ
Residuos de comida (produciendo metano)	13860 kJ
Residuos de comida (a través de la fermentación oscura)	5760 kJ
Residuos de comida (con ácido butírico)	2953,49 KJ
Residuos de comida (con foto-fermentación)	17720 KJ

Fuente: (Dahiya et al., 2018)

4. Conclusiones y futuras perspectivas

En términos generales, por materia prima y resultados financieros es el biogás el más ideal para producirse en comparación con la celulosa nanocristalina. Además, presenta en la información consultada estudios en su aplicación a escala industrial. De la celulosa nanocristalina, a pesar de existir información a nivel de laboratorio, no hay estudios que sustenten su producción en masa.

Sin embargo, se puede evaluar la opción también de producir celulosa nanocristalina usando o arroz o la palma de aceite, que son el primer y el tercer cultivo permanente que más se produce en Norte de Santander, respectivamente. Lo anterior, pues estos cristales tienen un alto potencial como material de refuerzo y de embalaje.



Para proyectos derivados de esta revisión se recomiendan varios aspectos. El primero, es revisar el estado del arte de la producción de biogás en Norte de Santander, ya sea por Aseo Urbano S.A.S. o por cualquier otro ente público y privado, con el fin de que haya sinergia y mejores resultados. También se recomienda evaluar los problemas del departamento y usar esta variable como factor de escogencia del producto a fabricar. Así mismo, para una futura propuesta, se recomienda analizar la legislación colombiana, como, por ejemplo: la resolución 754 de 2014, la resolución 276 de 2016 y el decreto 596 de 2016.

Referencias Bibliográficas

- Agustini, C., da Costa, M., & Gutterres, M. (2018). Biogas production from tannery solid wastes – Scale-up and cost saving analysis. *Journal of Cleaner Production*, 187, 158–164. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.185>
- Brinchi, L., Cotana, F., Fortunati, E., & Kenny, J. M. (2013). Production of nanocrystalline cellulose from lignocellulosic biomass: Technology and applications. *Carbohydrate Polymers*, 94(1), 154–169. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.01.033>
- Dahiya, S., Kumar, A. N., Shanthi Sravan, J., Chatterjee, S., Sarkar, O., & Mohan, S. V. (2018). *Food waste biorefinery: Sustainable strategy for circular bioeconomy. Bioresource Technology* (Vol. 248). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.176>
- Ditzel, F. I., Prestes, E., Carvalho, B. M., Demiate, I. M., & Pinheiro, L. A. (2017). Nanocrystalline cellulose extracted from pine wood and corncob. *Carbohydrate Polymers*, 157, 1577–1585. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.11.036>
- Fiksel, J., & Lal, R. (2018). Transforming waste into resources for the Indian economy. *Environmental Development*. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2018.02.002>
- Gurunathan, T., Mohanty, S., & Nayak, S. K. (2015). A review of the recent developments in biocomposites based on natural fibres and their application perspectives. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 77(January), 1–25. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.06.007>
- Ilyas, R. A., Sapuan, S. M., & Ishak, M. R. (2018). Isolation and characterization of nanocrystalline cellulose from sugar palm fibres (Arenga Pinnata). *Carbohydrate Polymers*, 181, 1038–1051. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.11.045>
- Islam, M. S., Kao, N., Bhattacharya, S. N., Gupta, R., & Choi, H. J. (2017). Potential aspect of rice husk biomass in Australia for nanocrystalline cellulose production. *Chinese Journal of Chemical Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2017.07.004>
- Masebinu, S. O., Akinlabi, E. T., Muzenda, E., Aboyade, A. O., & Mbohwa, C. (2018). Experimental and feasibility assessment of biogas production by anaerobic digestion of fruit and vegetable waste from Joburg Market. *Waste Management*. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.02.011>
- Mishra, R. K., Sabu, A., & Tiwari, S. K. (2018). Materials chemistry and the futurist eco-friendly applications of nanocellulose: Status and prospect. *Journal of Saudi Chemical Society*. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2018.02.005>



- Naduparambath, S., T.V., J., Shaniba, V., M.P., S., Balan, A. K., & Purushothaman, E. (2018). Isolation and characterisation of cellulose nanocrystals from sago seed shells. *Carbohydrate Polymers*, *180*, 13–20.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.09.088>
- Orasugh, J. T., Saha, N. R., Sarkar, G., Rana, D., Mondal, D., Ghosh, S. K., & Chattopadhyay, D. (2018). A facile comparative approach towards utilization of waste cotton lint for the synthesis of nano-crystalline cellulose crystals along with acid recovery. *International Journal of Biological Macromolecules*, *109*, 1246–1252.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.123>
- Osswald, T. A., & Menges, G. (2012). *Materials Science of Polymers for Engineers*. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG.
Recuperado de
<https://doi.org/10.3139/9781569905241>
- Rahbar Shamskar, K., Heidari, H., & Rashidi, A. (2016). Preparation and evaluation of nanocrystalline cellulose aerogels from raw cotton and cotton stalk. *Industrial Crops and Products*, *93*, 203–211.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.01.044>
- Scarlat, N., Dallemand, J.-F., & Fahl, F. (2018). Biogas: developments and perspectives in Europe. *Renewable Energy*.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.03.006>
- Theivasanthi, T., Anne Christma, F. L., Toyin, A. J., Gopinath, S. C. B., & Ravichandran, R. (2018). Synthesis and characterization of cotton fiber-based nanocellulose. *International Journal of Biological Macromolecules*, *109*, 832–836.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.054>
- Vergara, C., & Cáceres, S. (2017). *Manejo integral de residuos líquidos y aceites usados generados en el departamento Norte de Santander y gestionados en el parque tecnológico ambiental Guayabal administrado por la empresa Aseo Urbano S.A.S.E.S.P.* (tesis de pregrado). Universidad Francisco de Paula Santander.
- Xu, K., Liu, C., Kang, K., Zheng, Z., Wang, S., Tang, Z., & Yang, W. (2018). Isolation of nanocrystalline cellulose from rice straw and preparation of its biocomposites with chitosan: Physicochemical characterization and evaluation of interfacial compatibility. *Composites Science and Technology*, *154*, 8–17.
<https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2017.10.022>
- Zareei, S. (2018). Evaluation of biogas potential from livestock manures and rural wastes using GIS in Iran. *Renewable Energy*, *118*, 351–356.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.11.026>
- Zianor Azrina, Z. A., Beg, M. D. H., Rosli, M. Y., Ramli, R., Junadi, N., & Alam, A. K. M. M. (2017). Spherical nanocrystalline cellulose (NCC) from oil palm empty fruit bunch pulp via ultrasound assisted hydrolysis. *Carbohydrate Polymers*, *162*(17), 115–120.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.01.035>



150

*Para citar este artículo: Cáceres Gelvez E.F., Prada Botia G.C.. Evaluation of recycling options for strengthening the circular economy in Norte de Santander.. Revista Bistua.2019. 17(2):144-150.

+ Autor para el envío de correspondencia y la solicitud de las separatas : Prada Botia G.C A. Facultad de ingeniería. Director semillero SINDMAT. Investigador de GIINPRO. Docente del departamento de procesos industriales. UFPS. gaudycarolinapb@ufps.edu.co

Recibido: Septiembre 08 de 2018

Aceptado: Enero 23 de 2019