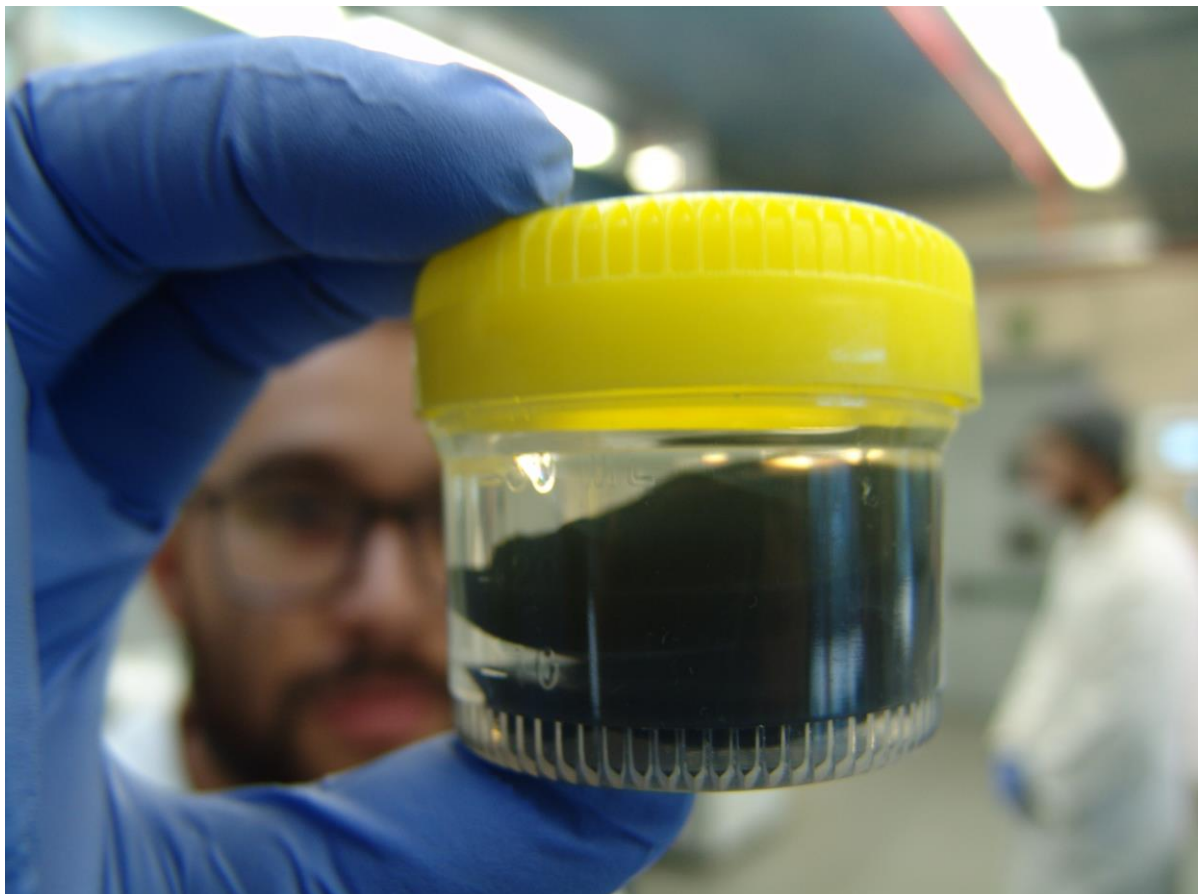




Barcelona, Wednesday 30 January 2019

A paper that converts waste heat into electricity

- The device is composed of cellulose produced in the laboratory by bacteria, with small amounts of a conductor nanomaterial, resulting very sustainable
- The device could be used to generate electricity in wearables, in medical and sports applications, and as intelligent thermal insulation



Thermoelectric paper composed of bacterial cellulose and carbon nanotubes



Thermoelectric materials, capable of transforming heat into electricity, are very promising when converting residual heat into electrical energy, since they allow us to utilize hardly usable or almost lost thermal energy in an efficient way. Researchers at the Institute of Materials Science of Barcelona (ICMAB-CSIC) have created a new thermoelectric material: a paper capable of converting waste heat into electricity. These devices could be used to generate electricity from residual heat to feed sensors in the field of the Internet of Things, Agriculture 4.0 or Industry 4.0. The study has been published in the Energy & Environmental Science journal.

"This device is composed of cellulose, produced in situ in the laboratory by bacteria, with small amounts of a conductor nanomaterial, carbon nanotubes, using a sustainable and environmentally friendly strategy" explains Mariano Campoy-Quiles, researcher at the ICMAB.

"In the near future, they could be used as wearable devices, in medical or sports applications, for example. And if the efficiency of the device was even more optimized, this material could lead to intelligent thermal insulators or to hybrid photovoltaic-thermoelectric power generation systems" predicts Campoy-Quiles.

In addition "due to the high flexibility of the cellulose and to the scalability of the process, these devices could be used in applications where the residual heat source has unusual forms or extensive areas, as they could be completely covered with this material" indicates Anna Roig, researcher at the ICMAB.

Since bacterial cellulose can be home made, perhaps we are facing the first step towards a new energy paradigm, where users will be able to make their own electric generators. We are still far away, but this study is a beginning. We have to start somewhere.

Farming thermoelectric paper in the lab

"Instead of making a material for energy, we cultivate it" explains Mariano Campoy-Quiles, a researcher of this study. "Bacteria, dispersed in an aqueous culture medium containing sugars and carbon nanotubes, produce the nanocellulose fibers that will end up forming the device, in which the carbon nanotubes are embedded" continues Campoy-Quiles.

"We obtain a mechanically resistant, flexible and deformable material, thanks to the cellulose fibers, and with a high electrical conductivity, thanks to the carbon nanotubes," explains Anna Laromaine, researcher of this study. "The intention is to approach the concept of circular economy, using sustainable materials that are not toxic for the environment, which are used in small amounts, and which can be recycled and reused," explains Roig.

Roig claims that, in comparison to other similar materials, "this one has a higher thermal stability compared to other thermoelectric materials based on synthetic polymers, which allows it to reach temperatures of 250 °C. In addition, the device does not use toxic elements, and the cellulose can easily be recycled, since it can be degraded by an enzymatic process converting it into glucose, while recovering the carbon nanotubes, which are the most expensive element of the device". Moreover, the thickness, color and transparency of the material can be controlled.



Thermoelectric paper is produced in the lab by bacteria

Campoy-Quiles explains that carbon nanotubes have been chosen for their dimensions: "Thanks to their nanoscale diameter and their few microns in length, carbon nanotubes allow, with very little quantity (in some cases up to 1 %), to obtain electrical percolation, i.e. a continuous path where the electrical charges can travel through the material, allowing cellulose to be conductive and thermal insulator at the same time".

Additionally, the use of such a small amount of nanotubes (up to a maximum of 10 %), while maintaining the overall efficiency of a material containing 100 %, makes the process very economic and energy efficient" adds Campoy-Quiles. "On the other hand, the



MINISTERIO
DE CIENCIA, INNOVACIÓN
Y UNIVERSIDADES



dimensions of carbon nanotubes are similar to those of cellulose nanofibres, which results in a homogeneous dispersion. In addition, the inclusion of these nanomaterials has a positive impact on the mechanical properties of cellulose, making it even more deformable, extensible and resistant", adds Roig.

This study is the result of an interdisciplinary project (FIP-THERMOPAPER) between different groups of the Institute of Materials Science of Barcelona (ICMAB-CSIC) in the framework of the "Frontier Interdisciplinary Projects" call, a strategic action of the Severo Ochoa project of excellence.

Deyaa Abol-Fotouh, Bernhard Döring, Osnat Zapata-Arteaga, Xabier Rodríguez-Martínez, Andrés Gómez, J. Sebastian Reparaz, Anna Laromaine, Anna Roig and Mariano Campoy-Quiles. **Farming thermoelectric paper**. *Energy & Environmental Science*. DOI: [10.1039/C8EE03112F](https://doi.org/10.1039/C8EE03112F).

ICMAB Communication

Anna May Masnou, PhD
Communication & Outreach Officer
amay@icmab.cat
Telf.: +34 935 801 853 (ext 397)

Campus de la Universitat Autònoma de Barcelona
08193 Bellaterra, Catalunya, Espanya
Telf.: +34 935 801 853
Fax.: +34 935 805 729
<http://www.icmab.es>



Barcelona, dimecres 30 de gener de 2019

Un paper que converteix la calor residual en energia elèctrica

- El dispositiu està compost de cel·lulosa produïda al laboratori per uns bacteris, amb petites quantitats d'un nanomaterial conductor, per la qual cosa resulta sostenible
- Aquests materials es podrien utilitzar per generar electricitat en dispositius “wearables”, en aplicacions mèdiques i esportives, i com a aïllament tèrmic intel·ligent

Els materials termoelèctrics, capaços de transformar la calor en electricitat, són molt prometedors a l'hora de convertir la calor residual en energia elèctrica, ja que permeten aprofitar una energia que, d'una altra manera, es perdria. Ara, un equip d'investigadors de l'Institut de Ciència de Materials de Barcelona (ICMAB-CSIC) han creat un nou material termoelèctric: es tracta d'un paper capaç de convertir la calor residual en electricitat. Aquests dispositius podrien usar-se per generar electricitat a partir de calor residual per alimentar sensors en el camp de l'Internet de les Coses, l'Agricultura 4.0 o la Indústria 4.0. Els resultats de la recerca es publiquen a la revista Energy & Environmental Science.

“Aquest dispositiu està compost de cel·lulosa, produïda in situ al laboratori per uns bacteris, amb petites quantitats d'un nanomaterial conductor, els nanotubs de carboni, utilitzant una estratègia sostenible i respectuosa amb el medi ambient”, explica Mariano Campoy-Quiles, investigador de l'ICMAB.

“En un futur proper, es podrien utilitzar com a dispositius wearables, en aplicacions mèdiques o esportives, per exemple. I si l'eficiència del dispositiu s'optimitzés encara més, aquest material podria donar lloc a un aïllament tèrmic intel·ligent, o a sistemes de generació elèctrica híbrids fotovoltaics-termoelèctrics”, prediu Campoy-Quiles.

A més “degut a l'alta flexibilitat de la cel·lulosa i a l'escalabilitat del procés, aquests dispositius es podrien utilitzar en aplicacions on la font de calor residual tingui formes poc regulars o àrees extenses, ja que es podrien recobrir totalment amb el material” indica Anna Roig, investigadora de l'ICMAB.



Com que la cel·lulosa bacteriana es pot fabricar a casa, potser estem davant del primer pas cap a un nou paradigma energètic, on els usuaris es podran fabricar els seus propis generadors elèctrics. Encara estem lluny, però aquest estudi en representa un principi. Per algun lloc s'ha de començar.

Cultivat al laboratori

“En comptes de fabricar un material per a l'energia, el cultivem” explica Mariano Campoy-Quiles, investigador de l'estudi. “Els bacteris, dispersos en un medi de cultiu aquós que conté sucres i els nanotubs de carboni, van produint les fibres de nanocel·lulosa que acabaran formant el dispositiu, on els nanotubs de carboni queden perfectament dispersats” continua Campoy-Quiles.

“S'obté un material mecànicament molt resistent, molt flexible i deformable, gràcies a les fibres de cel·lulosa, i amb una elevada conductivitat elèctrica, gràcies als nanotubs de carboni”, explica Anna Laromaine, investigadora de l'ICMAB. “La intenció és acostar-nos al concepte d'economia circular, utilitzant materials sostenibles i que no siguin tòxics pel medi ambient, que s'utilitzin en poca quantitat, que es puguin reciclar i reutilitzar”, explica Roig.

Roig afirma que, en comparació amb altres materials semblants, aquest “té una estabilitat tèrmica superior als materials termoelèctrics basats en polímers sintètics, la qual cosa permet arribar fins als 250 °C. A més, no fa servir elements tòxics, i es pot reciclar, degradant fàcilment la cel·lulosa mitjançant un procés enzimàtic en glucosa, recuperant al mateix temps els nanotubs de carboni, que són l'element més car del dispositiu”. A més, se'n pot controlar el gruix, el color i fins i tot la transparència.

Campoy-Quiles explica que s'han utilitzat els nanotubs de carboni per un tema de dimensions: “Gràcies al seu diàmetre nanomètric i a les poques micres de llargada, els nanotubs de carboni permeten, amb molt poca quantitat (en alguns casos fins un 1 %), aconseguir que hi hagi percolació elèctrica, és a dir, un camí continu on les càrregues elèctriques puguin viatjar a través del material, permetent que la cel·lulosa sigui conductora i, al mateix temps, aïllant tèrmic”.

A més, el fet d'utilitzar una quantitat tan petita de nanotubs (fins a un 10 % com a màxim), conservant l'eficiència global d'un material que en contingués el 100 %, s'aconsegueix un estalvi econòmic i energètic molt significatiu”, afegeix Campoy-Quiles. “D'altra banda, les dimensions dels nanotubs de carboni són semblants a les nanofibres de cel·lulosa, amb la qual cosa s'aconsegueix una dispersió homogènia. A més, la inclusió d'aquests nanomaterials té un impacte positiu en les propietats mecàniques de la cel·lulosa, fent-la encara més deformable, extensible i resistent”, afegeix Roig.



MINISTERIO
DE CIENCIA, INNOVACIÓN
Y UNIVERSIDADES



Aquest estudi és el resultat d'un projecte interdisciplinari (FIP-THERMOPAPER) entre diferents grups de l'Institut de Ciència de Materials de Barcelona (ICMAB-CSIC) de la convocatòria "Frontier Interdisciplinary Projects", una de les accions estratègiques del projecte d'excel·lència Severo Ochoa.

Deyaa Abol-Fotouh, Bernhard Döring, Osnat Zapata-Arteaga, Xabier Rodríguez-Martínez, Andrés Gómez, J. Sebastian Reparaz, Anna Laromaine, Anna Roig and Mariano Campoy-Quiles. **Farming thermoelectric paper**. *Energy & Environmental Science*. DOI: [10.1039/C8EE03112F](https://doi.org/10.1039/C8EE03112F).

ICMAB Comunicació

Anna May Masnou, PhD
Communication & Outreach Officer
amay@icmab.cat
Telf.: +34 935 801 853 (ext 397)

Campus de la Universitat Autònoma de Barcelona
08193 Bellaterra, Catalunya, Espanya
Telf.: +34 935 801 853
Fax.: +34 935 805 729
<http://www.icmab.es>



Barcelona, miércoles 30 de enero de 2019

Un papel que convierte el calor residual en energía eléctrica

- Este dispositivo está compuesto de celulosa producida en laboratorio por unas bacterias, con pequeñas cantidades de un nanomaterial conductor, por lo que resulta sostenible
- Estos dispositivos podrían usarse para generar electricidad en dispositivos 'wearables', en aplicaciones médicas y deportivas, y como aislamiento térmico inteligente

Los materiales termoeléctricos, capaces de transformar el calor en electricidad, son muy prometedores a la hora de convertir el calor residual en energía eléctrica, ya que permiten aprovechar una energía difícilmente utilizable que, de otro modo, se perdería. Ahora, un equipo de investigadores del Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona (ICMAB-CSIC) ha creado un nuevo material termoeléctrico: se trata de un papel capaz de convertir el calor residual en energía eléctrica. Estos dispositivos podrían usarse para generar electricidad a partir de calor residual para alimentar sensores en el campo de la Internet de las Cosas, la Agricultura 4.0 o la Industria 4.0. Los resultados de la investigación se publican en la revista *Energy & Environmental Science*.

"Este dispositivo está compuesto de celulosa producida en laboratorio por unas bacterias, con pequeñas cantidades de un nanomaterial conductor –nanotubos de carbono-, por lo que su producción resulta sostenible y respetuosa con el medio ambiente", explica Mariano Campoy-Quiles, investigador del Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona

"En un futuro próximo, se podrían utilizar como dispositivos *wearables*, en aplicaciones médicas o deportivas, por ejemplo. Y si la eficiencia del dispositivo se optimizara aún más, este material podría dar lugar a un aislamiento térmico inteligente, o en sistemas de generación eléctrica híbridos fotovoltaicos-termoeléctricos", augura Campoy-Quiles.

Además, "debido a la alta flexibilidad de la celulosa y la escalabilidad del proceso, estos dispositivos podrían utilizarse en aplicaciones donde la fuente de calor residual tuviera formas poco regulares o áreas extensas, ya que se podrían recubrir totalmente con el material" indica Anna Roig, investigadora del estudio.



Como la celulosa bacteriana se puede fabricar en casa, tal vez estamos delante del primer paso hacia un nuevo paradigma energético, donde los usuarios se podrán fabricar sus propios generadores eléctricos. Todavía estamos lejos, pero este estudio representa un principio. Por algún sitio hay que empezar.

Cultivado en laboratorio

"En vez de fabricar un material para la energía, lo cultivamos", explica Campoy-Quiles. "Las bacterias, dispersas en un medio de cultivo acuoso que contiene azúcares y los nanotubos de carbono, van produciendo las fibras de nanocelulosa que acaban formando el dispositivo, donde quedan perfectamente dispersos los nanotubos de carbono", continúa.

"Se obtiene un material mecánicamente muy resistente, muy flexible y deformable, gracias a las fibras de celulosa, y con una elevada conductividad eléctrica, gracias a los nanotubos de carbono", explica Anna Laromaine, investigadora del estudio. "La intención es acercarnos al concepto de economía circular, utilizando materiales sostenibles y que no sean tóxicos para el medio ambiente, que se utilicen en poca cantidad, y que se puedan reciclar y reutilizar", explica Roig.

Roig afirma que, en comparación con otros materiales similares, este "tiene una estabilidad térmica superior a los materiales termoeléctricos basados en polímeros sintéticos, lo que permite llegar hasta los 250 °C. Además, no utiliza elementos tóxicos, y se puede reciclar fácilmente la celulosa, degradándola mediante un proceso enzimático que la convierte en glucosa. Así, se recuperan al mismo tiempo los nanotubos de carbono, que son el elemento más costoso del dispositivo". Además, se puede controlar el grosor, el color e incluso la transparencia.

Campoy-Quiles explica que se han utilizado los nanotubos de carbono por sus dimensiones: "Gracias a su diámetro nanométrico y a las pocas micras de largo, los nanotubos de carbono permiten, con muy poca cantidad (en algunos casos hasta un 1%), conseguir que haya percolación eléctrica, es decir, un camino continuo donde las cargas eléctricas puedan viajar a través del material, permitiendo que la celulosa sea conductora y, al mismo tiempo, aislante térmico".

Además, el hecho de utilizar una cantidad tan pequeña de nanotubos (hasta un 10 % como máximo), conservando la eficiencia global de un material que tuviera el 100 %, se consigue un ahorro económico y energético muy significativo", añade Campoy-Quiles. "Por otra parte, las dimensiones de los nanotubos de carbono son similares a las nanofibras de celulosa, con lo que se consigue una dispersión homogénea. Además, la inclusión de estos nanomateriales tienen un impacto positivo en las propiedades mecánicas de la celulosa, haciéndola aún más deformable, extensible y resistente", añade Roig.



MINISTERIO
DE CIENCIA, INNOVACIÓN
Y UNIVERSIDADES



Este estudio es el resultado de un proyecto interdisciplinario (FIP-THERMOPAPER) entre diferentes grupos del Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona de la convocatoria "Frontier Interdisciplinary Projects", una de las acciones estratégicas del proyecto de excelencia Severo Ochoa.

Deyaa Abol-Fotouh, Bernhard Döring, Osnat Zapata-Arteaga, Xabier Rodríguez-Martínez, Andrés Gómez, J. Sebastian Reparaz, Anna Laromaine, Anna Roig and Mariano Campoy-Quiles. **Farming thermoelectric paper**. *Energy & Environmental Science*. DOI: [10.1039/C8EE03112F](https://doi.org/10.1039/C8EE03112F).

ICMAB Comunicación

Anna May Masnou, PhD
Communication & Outreach Officer
amay@icmab.cat
Telf.: +34 935 801 853 (ext 397)

Campus de la Universitat Autònoma de Barcelona
08193 Bellaterra, Catalunya, Espanya
Telf.: +34 935 801 853
Fax.: +34 935 805 729
<http://www.icmab.es>