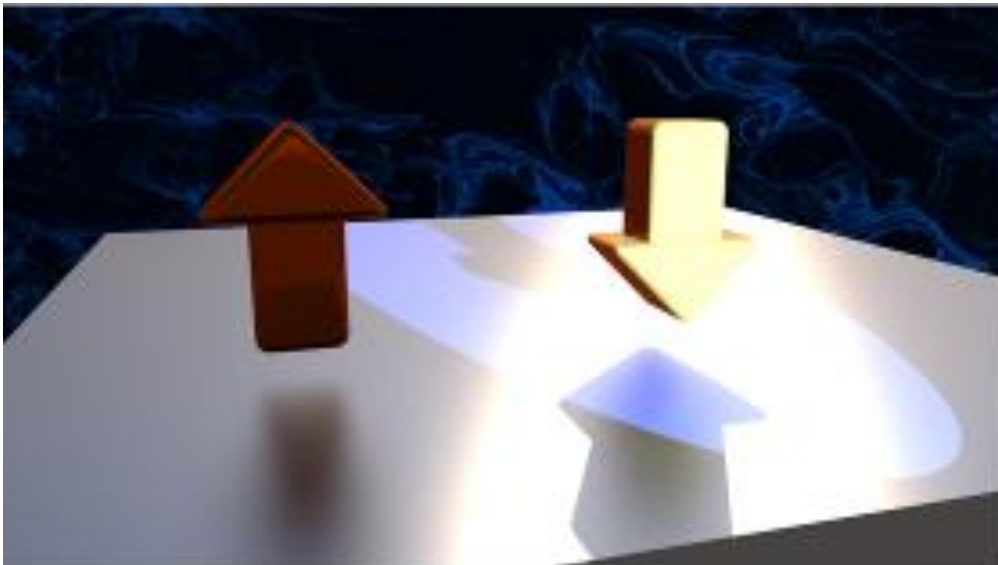


## Storing information with light

- **New photo-ferroelectric materials allow to store information in a non-volatile way using light stimulus.**
- **The idea is to create energy efficient memory devices with high performance and versatility to face the challenges of the current society**



*Figure: A photon reverses the binary 0/1 state of a memory device*

Can you imagine controlling the properties of a material by just shining light on it? We are used to see that the temperature of materials increases when exposed to the sun. But light may also have subtler effects. Indeed, light photons can create pairs of free charge carriers in otherwise insulating materials. This is the basic principle of the photovoltaic panels we use to harvest electrical energy from sun.

In a new twist, a light-induced change of materials' properties could be used in memory devices, allowing more efficient storage of information and faster access and computing.

This, in fact, is one of our society's current challenge: being able to develop high-performance commercially available electronic devices which are, at the same time, energy efficient. Smaller electronic devices having lower energy consumption and high performance and versatility.

Now, researchers from the Institute of Materials Science of Barcelona (ICMAB, CSIC) have studied photoresponsive ferroelectric materials integrated in devices exploiting nanotechnologies and quantum effects. Memory elements have been engineered to store non-volatile information in distinct resistance states (ON/OFF). It has been discovered that, when properly designed, their electrical resistance can be modulated by pulsed light. This means that they can switch from a low-resistance to a high-resistance state just by the application of light pulses.

“Materials that show changes of resistance under illumination are abundant, although the effect is typically volatile and the material recovers its initial state after some dwell time” says ICMAB researcher Ignasi Fina, co-author of the study. “For devices to be used in computing and data storage, non-volatile optical control of electrical resistance is of potential interest” and adds “for non-volatile, we mean that the information can be retained stored in the device, even when the power is off”.

Currently two different devices are required to use optical signals for non-volatile data storage: optoelectronic sensors and memory devices. The ICMAB study features these properties in one single material able to modulate its resistance by pulsed light: a photo-ferroelectric material.

Ferroelectric materials have electrically switchable spontaneous non-volatile electric polarization. In ferroelectric ultrathin films of such material sandwiched between appropriate metals, a quantum mechanical phenomenon effect appears called **the tunneling current**. This effect allows a charge current flow across the ferroelectric layer, which is genuinely insulating, in an amount that depends on the direction of its polarization.

In the explored devices, first an electric field is used once to write the ON/OFF states, and it is combined with the optical stimulus to promote the ON/OFF change of states, and reversibly modulate the resistance (from high to low, and vice versa).

These devices are energy efficient for two main reasons: firstly, the energy consumption is reduced when the memory state is written, as it does not need any charge current flow. Secondly, as the information is stored in a non-volatile manner, the state is preserved and there is no need to refresh the information (re-writing) as continuously done in current RAMs memories of all computers, for example.

The observed optical switch is not restricted to the studied materials and, thus, opens a path towards further investigations on this phenomenon.

As for future applications, Ignasi Fina envisions the following: "The studied devices combine light sensor and memory functions. In addition, as shown in the study, the device behaves like a memristor. A memristor is a device that can display multiple resistance states according to the stimulus it has received, and is one of the basic devices for the development of neuromorphic computing systems. Therefore, the developed device opens a path to be explored in relation to its integration into neuromorphic vision systems, where the system learns to recognize images."

The study has been published in *Nature Communications*. One of the authors, Ignasi Fina, has been granted with a BBVA Foundation Leonardo Grant to further explore this topic.

## Reference:

### **Non-volatile optical switch of resistance in photoferroelectric tunnel junctions**

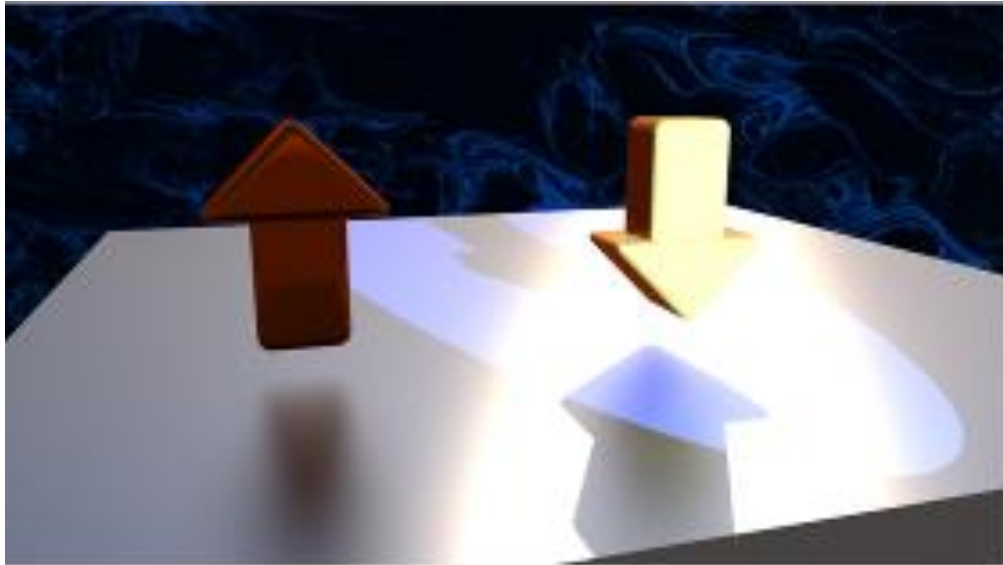
Xiao Long, Huan Tan, Florencio Sánchez, Ignasi Fina, Josep Fontcuberta

*Nature Communications*, 2021

[DOI: 10.1038/s41467-020-20660-9](https://doi.org/10.1038/s41467-020-20660-9)

## Usar la luz para almacenar información

- **Nuevos materiales foto-ferroeléctricos permiten guardar información de forma no volátil usando la luz como estímulo.**
- **La idea es crear dispositivos de memoria de alto rendimiento y versatilidad para hacer frente a retos de la sociedad actual.**



*Figura: Un fotón invierte el estado binario 0/1 de un dispositivo de memoria*

¿Puedes imaginarte controlar las propiedades de un material con sólo aplicarle luz? Estamos acostumbrados a ver que la temperatura de los materiales aumenta cuando se exponen al sol. Pero la luz también puede tener efectos más sutiles. De hecho, los fotones de luz pueden crear pares de cargas libres en materiales que de otro modo serían aislantes. Este es el principio básico de los paneles fotovoltaicos que usamos para recoger la energía eléctrica del sol.

En un nuevo giro, se podría utilizar un cambio en las propiedades de los materiales inducido por la luz en dispositivos de memoria, permitiendo un almacenamiento más eficiente de la información y un acceso y computación más rápidos.

Este es, de hecho, uno de los desafíos actuales de nuestra sociedad: poder desarrollar dispositivos electrónicos de alto rendimiento, disponibles en el mercado, que sean, al mismo tiempo, eficientes desde el punto de vista energético. Dispositivos electrónicos más pequeños con menor consumo de energía y de alto rendimiento y versatilidad.

Ahora, investigadores del Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona (ICMAB, CSIC) han estudiado materiales ferroeléctricos fotosensibles integrados en dispositivos basados en nanotecnología y efectos cuánticos. Se han diseñado memorias capaces de almacenar información no volátil en distintos estados de resistencia (ON/OFF). Se ha descubierto que, cuando se diseñan adecuadamente, la resistencia eléctrica de estos materiales puede ser modulada usando luz pulsada. Esto significa que pueden pasar de un estado de baja resistencia a uno de alta resistencia sólo por la aplicación de pulsos de luz.

"Los materiales que muestran cambios de resistencia bajo la iluminación son abundantes, aunque el efecto es típicamente volátil y el material recupera su estado inicial después de algún tiempo de permanencia" dice el investigador del ICMAB Ignasi Fina, co-autor del estudio. "Para los dispositivos que se van a utilizar en la informática y el almacenamiento de datos en un futuro, el control óptico no volátil de la resistencia eléctrica es de interés " y añade "no volátil quiere decir que la información permanece en el dispositivo, incluso cuando la fuente de alimentación está apagada".

Actualmente se necesitan dos dispositivos diferentes para utilizar las señales ópticas para el almacenamiento no volátil de datos: un sensor optoelectrónico y un dispositivo de memoria. El estudio del ICMAB demuestra que estas dos propiedades se pueden combinar en un único material capaz de modular su resistencia mediante luz pulsada: un material foto-ferroeléctrico.

Los materiales ferroeléctricos tienen polarización eléctrica espontánea no volátil conmutable. En las películas ultrafinas ferroeléctricas de dicho material, intercaladas entre los metales apropiados, aparece un efecto de fenómeno mecánico cuántico llamado corriente de túnel. Este efecto permite que una corriente de carga fluya a través de la capa ferroeléctrica, que es aislante eléctrico, en una cantidad que depende de la dirección de su polarización.

En los dispositivos explorados, primero se utiliza un campo eléctrico para escribir los estados ON/OFF, y se combina con el estímulo óptico para promover el cambio de estados ON/OFF, y modular reversiblemente la resistencia (de alta a baja).

Estos dispositivos son eficientes energéticamente por dos razones principales: en primer lugar, el consumo de energía se reduce en el momento de escribir el estado de memoria, ya que no necesita un flujo de corriente de carga. En segundo lugar, como la información se almacena de forma no volátil, el estado se conserva y no hay necesidad de refrescar la información (re-escribirla) como se hace continuamente en las memorias RAM actuales de todos los ordenadores, por ejemplo.

Este fenómeno de interruptor óptico observado no se limita a los materiales estudiados y, por lo tanto, abre un camino hacia nuevas investigaciones sobre este fenómeno.

Respecto a futuras aplicaciones, Ignasi Fina explica "Los dispositivos estudiados combinan funciones de sensor de luz y de memoria. Además, como se demuestra en el estudio, el dispositivo se comporta como un memristor. Un memristor es un dispositivo que puede mostrar múltiples estados de resistencia según el estímulo que ha recibido, y es uno de los dispositivos básicos para el desarrollo de sistemas de computación neuromórfica. Por lo tanto, el dispositivo desarrollado abre un camino a explorar en relación a su integración sistemas de visión neuromórfica, donde el sistema aprende a reconocer imágenes."

El estudio se ha publicado en *Nature Communications*. Uno de los autores, Ignasi Fina, ha sido premiado con una beca Leonardo de la Fundación BBVA para seguir explorando este tema.

## Reference:

### **Non-volatile optical switch of resistance in photoferroelectric tunnel junctions**

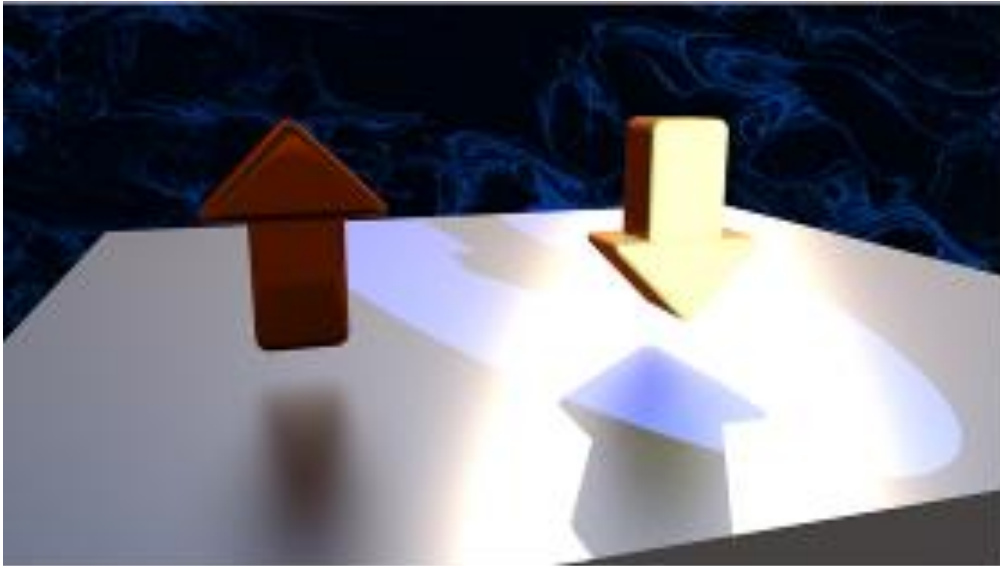
Xiao Long, Huan Tan, Florencio Sánchez, Ignasi Fina, Josep Fontcuberta

*Nature Communications*, 2021

[DOI: 10.1038/s41467-020-20660-9](https://doi.org/10.1038/s41467-020-20660-9)

## Utilitzar la llum per emmagatzemar informació

- **Nous materials foto-ferroelèctrics permeten guardar informació de forma no volàtil fent servir la llum com a estímul.**
- **La idea és crear dispositius de memòria d'alt rendiment i versatilitat per fer front a reptes de la societat actual.**



*Figura: Un fotó inverteix l'estat binari 0/1 d'un dispositiu de memòria*

T'imagines poder controlar les propietats d'un material només aplicant-li llum? Estem acostumats a veure que la temperatura dels materials augmenta quan s'exposen al sol. Però la llum també pot tenir efectes més subtils. De fet, els fotons de llum poden crear parells de càrregues lliures en materials que, d'altra manera, serien aïllants. Aquest és el principi bàsic dels panells fotovoltaics que fem servir per recollir l'energia elèctrica de el sol.

En un nou gir, es podria utilitzar un canvi en les propietats dels materials induït per la llum en dispositius de memòria, permetent un emmagatzematge més eficient de la informació i un accés i computació més ràpids.

Aquest és, de fet, un dels reptes actuals de la nostra societat: poder desenvolupar dispositius electrònics d'alt rendiment i disponibles al mercat, que siguin, al mateix temps, eficients des del punt de vista energètic. Dispositius electrònics més petits amb menor consum d'energia i d'alt rendiment i versatilitat.

Ara, investigadors de l'Institut de Ciència de Materials de Barcelona (ICMAB, CSIC) han estudiat materials ferroelèctrics fotosensibles integrats en dispositius basats en nanotecnologia i efectes quàntics. Han dissenyat memòries capaces d'emmagatzemar informació no volàtil en diferents estats de resistència (ON/OFF). Han descobert que, quan es dissenyen adequadament, la resistència elèctrica d'aquests materials pot ser modulada usant llum polsada. Això vol dir que poden passar d'un estat de baixa resistència a un d'alta resistència només per l'aplicació de polsos de llum.

"Els materials que mostren canvis de resistència sota una il·luminació són abundants, encara que l'efecte és típicament volàtil i el material recupera el seu estat inicial després d'algun temps de permanència" diu l'investigador de l'ICMAB Ignasi Fina, coautor de l'estudi. "Per als dispositius que es volen utilitzar en la informàtica i l'emmagatzematge de dades en un futur, és d'un enorme interès poder controlar òpticament i de manera no volàtil la resistència elèctrica del material" i afegeix "amb 'no volàtil' volem dir que la informació roman al dispositiu, fins i tot quan la font d'alimentació està apagada".

Actualment calen dos dispositius diferents per utilitzar els senyals òptics per a l'emmagatzematge no volàtil de dades: un sensor optoelectrònic i un dispositiu de memòria. L'estudi de l'ICMAB demostra que aquestes dues propietats es poden combinar en un únic material capaç de modular la seva resistència mitjançant llum polsada: un material fotoferroelèctric.

Els materials ferroelèctrics tenen polarització elèctrica espontània no volàtil commutable. Utilitzant unes capes ultrafines d'aquest material ferroelèctric, intercalades entre uns metalls apropiats, apareix un efecte de fenomen mecànic-quàntic anomenat corrent de túnel. Aquest efecte permet que un corrent de càrrega flueixi a través de la capa ferroelèctrica, que és un aïllant elèctric, en una quantitat que depèn de la direcció de la seva polarització.

En els dispositius explorats, primer s'utilitza un camp elèctric per escriure els estats ON/OFF, i es combina amb l'estímul òptic per promoure els canvis d'estats ON/OFF, i modular de manera reversible la resistència (d'alta a baixa) .

Aquests dispositius són eficients energèticament per dues raons principals: en primer lloc, el consum d'energia es redueix en el moment d'escriure l'estat de memòria, ja que no necessita un flux de corrent de càrrega. En segon lloc, com que la informació s'emmagatzema de forma no volàtil, l'estat es conserva i no hi ha necessitat de refrescar la informació (re-escriure) com es fa contínuament en les memòries RAM actuals de tots els ordinadors, per exemple.

Aquest fenomen d'interruptor òptic observat no es limita als materials estudiats i, per tant, obre un camí cap a noves investigacions sobre aquest fenomen.

Respecte a futures aplicacions, Ignasi Fina explica "Els dispositius estudiats combinen funcions de sensor de llum i de memòria. A més, com es demostra a l'estudi, el dispositiu es comporta com un memristor. Un memristor és un dispositiu que pot mostrar múltiples estats de resistència segons l'estímul que ha rebut, i és un dels dispositius bàsics per al desenvolupament de sistemes de computació neuromòrfica. Per tant, el dispositiu desenvolupat obre un camí a explorar en relació a la seva integració sistemes de visió neuromòrfica, on el sistema aprèn a reconèixer imatges."

L'estudi s'ha publicat a *Nature Communications*. Un dels autors, Ignasi Fina, ha estat premiat amb una beca Leonardo de la Fundació BBVA per seguir explorant aquest tema.

## Reference:

### **Non-volatile optical switch of resistance in photoferroelectric tunnel junctions**

Xiao Long, Huan Tan, Florencio Sánchez, Ignasi Fina, Josep Fontcuberta

*Nature Communications*, 2021

[DOI: 10.1038/s41467-020-20660-9](https://doi.org/10.1038/s41467-020-20660-9)