ESTUDIO DE BASE / 7 DE NOVIEMBRE DE 2026

Cristales que cambian la luz

De la microscopía gemológica a la polarización y la fotocomputación

Los colores observados durante la cristalización son el punto de partida. Este estudio reúne mecanismos que pueden producirlos, experimentos en los que la polarización interviene en la visión y materiales que ya cumplen funciones ópticas en dispositivos. La pregunta experimental es si una muestra puede producir **dos estados de salida medibles y repetibles** al cambiar una condición del entorno.

> **La coincidencia química más directa**
> Un monocristal de **cloruro de cobre(I), CuCl**, se utilizó para generar pares de fotones ultravioletas entrelazados. La demostración corresponde a ese semiconductor y a su excitación en resonancia. La fórmula del frasco permite distinguirlo del cloruro de cobre(II), $CuCl_2$, y del sulfato de cobre de la muestra observada. [4]

Pregunta	Qué permite establecer
¿De dónde vienen los colores?	Un examen con polarizadores y varias orientaciones permite probar si el patrón depende de la polarización y dónde se concentra el efecto.
¿Cuál es el vínculo con la visión?	Los fotorreceptores convierten una interacción molecular con la luz en señal celular. En la visión polarizada, la orientación de la luz aporta información. [1] [2]
¿Qué interesa para fotocomputación?	Una transformación óptica caracterizada, con transmisión, orientación, velocidad y recuperación medidas. La prueba inicial puede hacerse con el microscopio.

Alcance. Revisión selectiva de trabajos primarios y un preprint de 2026. Se contrastaron resúmenes y registros bibliográficos recuperados. El acceso directo a varias bases de datos quedó limitado, por lo que la revisión de usos por compuesto es parcial. Las imágenes y las mezclas descritas se toman como observaciones del experimento.

01 / MICROSCOPÍA

Qué puede producir el arcoíris

En un cristal **birrefringente**, dos componentes ortogonales de la luz pueden avanzar con índices de refracción distintos. A la salida llevan un desfase. Al mirar a través de un segundo polarizador, parte de ese desfase se vuelve diferencia de intensidad. Como la intensidad depende de la longitud de onda, con luz blanca pueden aparecer colores intensos.

$$R = d \times \Delta n \qquad I_{\perp}/I_{ent} = \text{sen}^2(2\theta) \times \text{sen}^2(\pi R/\lambda)$$

Modelo de una lámina uniforme ideal entre polarizadores cruzados. R es el retardo óptico, d el espesor, Δn la diferencia entre índices, θ el ángulo del eje rápido de la lámina respecto al polarizador y λ la longitud de onda. I_{ent} se mide tras el primer polarizador. El modelo supone incidencia normal y pérdidas despreciables.

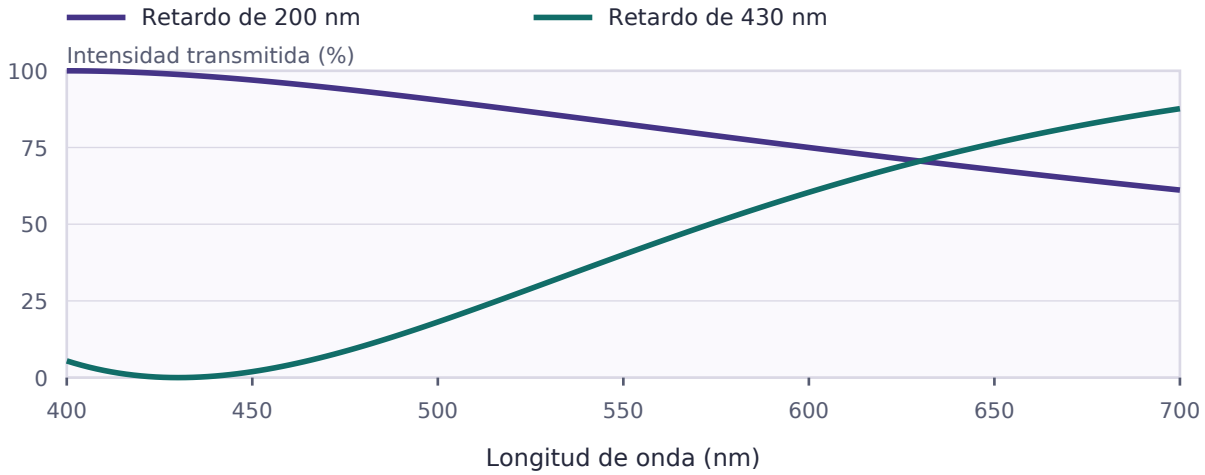


Figura 1. Transmisión calculada a 45° para dos retardos. Las curvas representan un modelo, con los retardos elegidos para ilustrar el efecto del espesor o de Δn.

Observación	Prueba para acotar el mecanismo
El patrón se apaga y reaparece al girar el cristal entre polarizadores cruzados.	Comprobar la periodicidad angular y comparar con una lámina de referencia. Es una pista de anisotropía óptica.
Un color se mantiene con el analizador retirado.	Comparar espectro o canales de cámara con un blanco. La absorción selectiva y la interferencia en películas también pueden producir color.
El borde cambia de color al crecer o al variar la iluminación.	Registrar espesor aparente, orientación y estado. La geometría, la dispersión y el crecimiento pueden cambiar juntos.

La forma redondeada, facetada o con puntas se registra como morfología de cada muestra. Sirve para comparar preparaciones y elegir una zona estable de lectura.

02 / REFERENTE BIOLÓGICO

Del fotón a la señal nerviosa

La relación molecular mejor caracterizada empieza en los **fotorreceptores**. En la rodopsina, la absorción de un fotón induce la isomerización del retinal unido a la proteína. El cambio de forma inicia la activación del receptor y una cadena de transducción que acaba modificando la señal eléctrica de la célula. La cristalografía resuelta en el tiempo ha permitido observar los primeros cambios estructurales. [1]

Qué añade la polarización

La probabilidad de absorción depende de la orientación del campo eléctrico de la luz respecto a la transición molecular. En sistemas visuales con pigmentos orientados, esa dependencia permite distinguir la orientación de la polarización. Rother y colaboradores registraron neuronas del complejo central de abejorros con estímulos polarizados que giraban a distintas velocidades. Observaron que la respuesta también dependía de la actividad previa de la neurona. [2]

Nivel	Qué se transforma	Pregunta equivalente para un material
Molécula	La absorción de luz modifica el estado del cromóforo.	¿La salida cambia con la longitud de onda o con la polarización incidente?
Receptor	El cambio molecular se convierte en una señal de la célula.	¿La muestra cambia cuánto transmite o modifica el estado de polarización?
Circuito	Varias señales y su historia permiten codificar información.	¿Se puede alternar entre estados, medir el tiempo de respuesta y recuperar el estado inicial?

Dónde entra la acetilcolina

La acetilcolina participa en la señalización nerviosa. Jing y colaboradores construyeron un sensor fluorescente que responde a su presencia. En ese experimento, la acetilcolina es **la molécula detectada** y el sensor diseñado aporta la lectura óptica. Es una relación documentada entre la sustancia y un sistema óptico, con un papel bien definido. [3]

> **La analogía que se puede poner a prueba**
> Comparar una entrada y una salida ópticas permite buscar una función semejante. Atribuir el cambio a una molécula concreta requiere identificar la fase sólida y reproducir el efecto con los componentes por separado.

03 / INVENTARIO

Qué se sabe de cada sustancia

Una comparación con un artículo requiere **fórmula, forma química y estado de la muestra**. El nombre comercial puede agrupar varias sustancias. En una mezcla que cristaliza, también importa saber qué compuesto o fase forma el sólido que se está midiendo.

Material mencionado	Relación con la evidencia revisada	Primera comprobación
Acetilcolina	Hay detección óptica mediante un sensor fluorescente diseñado para reconocerla. Su función en ese trabajo es la de analito. [3]	Identificar la sal y comparar la muestra individual con el blanco.
Inositol	Se conserva como candidato de microscopía y polarimetría. El uso como modulador o componente cuántico quedó por verificar.	Confirmar el isómero del frasco y medir el cristal preparado por separado.
Vitamina B6	El nombre agrupa formas como piridoxina, piridoxal y derivados. La identidad concreta de la muestra determina qué literatura corresponde.	Anotar la forma exacta, por ejemplo clorhidrato de piridoxina si así figura.
Niacina / B3	El ácido nicotínico y la nicotinamida se estudian como compuestos distintos. El uso fotónico de la forma concreta quedó por verificar.	Distinguir el ácido de la amida y registrar los excipientes si los hay.
Sulfato de cobre $CuSO_4$ y sus hidratos	En la mezcla observada se puede separar ópticamente el color de la solución de la respuesta del sólido. La fase cristalina requiere identificación.	Registrar la fórmula del reactivo y conservar controles de solución y de sólido.
Cloruro de cobre(I) CuCl	Coincidencia directa con una demostración cuántica en monocristal semiconductor. Se generaron pares ultravioletas entrelazados por un proceso no lineal resonante. [4]	Confirmar CuCl en la etiqueta. La calidad del cristal y el régimen óptico son parte del resultado publicado.
Cloruro de cobre(II) $CuCl_2$ y sus hidratos	Es una serie química distinta. Su respuesta se caracteriza en el ensayo de cristalización propio.	Anotar la fórmula y la hidratación antes de comparar lotes o artículos.

Para la mezcla de acetilcolina, inositol, B6 y niacina, la primera comparación útil es entre el blanco, cada componente y la mezcla. Si una región muestra una respuesta singular, la identificación del sólido por una técnica adecuada permitiría investigar su causa.

04 / FOTÓNICA

Qué hace cada material en un dispositivo

Un captador sensible a polarización convierte la luz en una señal que depende de su orientación. Un modulador altera una propiedad de la luz de forma controlada. Una fuente produce los fotones. Cada función se demuestra con medidas distintas.

Función	Demostración	Qué se midió o controló
Captar polarización	Fotodetector de fósforo negro en una unión vertical p-n. [6]	La señal eléctrica depende de la polarización por el dicroísmo lineal del material.
Modular la luz	Modulador integrado de niobato de litio. [5]	El campo eléctrico cambia el índice. La arquitectura interferométrica convierte el cambio de fase en una salida modulada.
Generar pares	Monocristal de CuCl excitado en una resonancia de biexcitón. [4]	Evidencia experimental de emisión de pares de fotones ultravioletas entrelazados.
Emitir fotones individuales	Moléculas de dibenzoterrileno en nanocristales de antraceno. [7]	Emisión de fotones individuales con la molécula en un anfitrión cristalino definido.
Procesar con luz	Circuito nanofotónico coherente programable. [9]	La red de interferómetros realiza operaciones que forman parte de un cálculo óptico.
Enlazar sistemas	Conversión cuántica de longitud de onda y red de nodos con memorias de espín. [10] [11]	Se verifica que la interfaz o el enlace conserva la información cuántica relevante.

El trabajo reciente que más se acerca por tipo de material

Una prepublicación de agosto de 2026 estudió emisores de dibenzoterrileno en antraceno. Al excitar con luz resonante intensa, la fluorescencia disminuyó y la línea espectral se ensanchó. Los autores propusieron una vía hacia un estado de corta duración que explica esos resultados. Es un ejemplo de cómo el entorno cristalino y el régimen de iluminación importan incluso en un emisor molecular ya caracterizado. [8]

Un candidato del microscopio puede empezar por una función sencilla, como cambiar la orientación o filtrar una componente. La caracterización cuántica usa medidas específicas de fotones, coincidencias o reconstrucción de estados según la función reclamada.

05 / ENSAYO

Medir un cambio de polarización

El montaje inicial coloca **un polarizador fijo entre un LED visible de un solo color y la muestra**. El segundo polarizador, el analizador, se gira entre la muestra y la cámara. Se mantiene el mismo recorte de imagen, la misma posición y la misma exposición. Conviene obtener una imagen oscura y un blanco con el mismo soporte.

Paso	Qué queda en el registro
1. Referencia	Fórmula y lote, hora, fase de cristalización, región de imagen y longitud de onda de la iluminación. El blanco recorre el mismo procedimiento.
2. Cuatro tomas	Intensidad de la región a 0°, 45°, 90° y 135° del analizador. Para el cálculo, usar intensidades lineales, restar fondo y evitar saturación.
3. Ciclo A → B → A	Sobre un cristal estable, variar una sola condición y medir la orientación y transmisión en cada estado. Anotar el tiempo que tarda en responder y en recuperarse.
4. Repetición	Repetir el ciclo y ensayar preparaciones independientes. Comparar la diferencia observada con la dispersión del blanco y de las lecturas repetidas.

Lectura de las cuatro intensidades

$$S_0 = I_{0°} + I_{90°} \qquad S_1 = I_{0°} - I_{90°} \qquad S_2 = I_{45°} - I_{135°}$$

$$\psi = \tfrac{1}{2}\,\mathrm{atan2}(S_2, S_1) \qquad P_L = \sqrt{(S_1^2 + S_2^2)} / S_0$$

S_0 sirve para comprobar cambios de intensidad. ψ es la orientación del componente lineal, módulo 180°, y P_L su grado de polarización. Cuando P_L es muy bajo, el ángulo se vuelve indeterminado. $I_{45°} + I_{135°}$ debe ser compatible con S_0 dentro del error de medida. Las cuatro tomas deben hacerse antes de que cambie apreciablemente la muestra.

> **Si interesa la polarización circular**
> La secuencia anterior mide la parte lineal. Añadir una lámina de cuarto de onda calibrada para la longitud de onda permite medir también la componente circular. Para distinguir una rotación de otros mecanismos, repetir con más de un estado de entrada.

06 / LECTURA DEL RESULTADO

Del arcoíris a un candidato medible

Ejemplo calculado con intensidades ficticias en unidades lineales. Se propone un giro de 45° como objetivo de ensayo y se comprueba la recuperación del estado inicial.

Estado	I_0 / I_{45} / I_{90} / I_{135}	S_0	Ángulo ψ	Grado P_l
A inicial	85 / 50 / 15 / 50	100	0°	70 %
B	50 / 85 / 50 / 15	100	45°	70 %
A de vuelta	83 / 51 / 17 / 49	100	0,9°	66 %

En el ejemplo, S_0 queda constante y la orientación cambia. En el ensayo real, el giro debe superar la incertidumbre del montaje. Para confirmar la recuperación, la última lectura debe ser compatible con la inicial. Un cambio de brillo con ψ estable se anotaría como un resultado distinto.

Cómo enlazarlo con la cristalización

Conservar la ficha de cuatro fases, desde líquido hasta final observado. Añadir las notas de puntas, color arcoíris y actividad. El color puede señalar una zona donde interesa medir. Para cada lectura óptica se guardan los cuatro fotogramas, el ángulo, el grado lineal, la intensidad de referencia y la condición A o B.

Cari puede seguir capturando fotos espaciadas para la evolución lenta. La lectura de polarización se hace como un bloque de cuatro tomas próximas entre sí. Excalibur guarda la serie, la ficha de observación y las medidas. La primera versión admite un analizador girado a mano y ángulos anotados en la ficha.

Qué resultado justifica el siguiente paso

Resultado observado	Siguiente pregunta experimental
Color o contraste angular estable	¿Cuánto transmite la zona y cómo varía con la orientación y la longitud de onda?
Cambio reversible de polarización con A → B → A	¿Qué contraste, pérdida, velocidad y repetibilidad ofrece el cambio? Es un candidato a modulador.
Cambio que persiste al retirar el estímulo	¿Durante cuánto tiempo se conserva y puede escribirse, leerse y borrarse de manera repetible?

Si la variable aplicada es un campo eléctrico, registrar por separado la condición eléctrica y la salida óptica. La estructura del cristal y su simetría importan para explicar un efecto electroóptico macroscópico.

07 / BIBLIOGRAFÍA

Referencias primarias

[1] Gruhl et al. (2023). Ultrafast structural changes direct the first molecular events of vision. Nature 615, 939-944. 10.1038/s41586-023-05863-6

[2] Rother, Stöckl y Pfeiffer (2024). History-dependent spiking facilitates efficient encoding of polarization angles in neurons of the central complex. eLife 13, RP101956. Prepublicación revisada, versión 1. 10.7554/eLife.101956

[3] Jing et al. (2018). A genetically encoded fluorescent acetylcholine indicator for in vitro and in vivo studies. Nature Biotechnology 36, 726-737. 10.1038/nbt.4184

[4] Edamatsu, Oohata, Shimizu e Itoh (2004). Generation of ultraviolet entangled photons in a semiconductor. Nature 431, 167-170. 10.1038/nature02838

[5] Wang et al. (2018). Integrated lithium niobate electro-optic modulators operating at CMOS-compatible voltages. Nature 562, 101-104. 10.1038/s41586-018-0551-y

[6] Yuan et al. (2015). Polarization-sensitive broadband photodetector using a black phosphorus vertical p-n junction. Nature Nanotechnology 10, 707-713. 10.1038/nnano.2015.112

[7] arXiv:1712.05178v2. Experimento de emisión de fotones individuales en nanocristales de antraceno dopados con dibenzoterrileno. Resumen de la prepublicación. 1712.05178v2

[8] Levy-Falk et al. (2026). Breakdown of the optical saturation regime in molecular single-photon emitters. Prepublicación arXiv:2608.00596v1, agosto de 2026. 2608.00596v1

[9] Shen et al. (2017). Deep learning with coherent nanophotonic circuits. Nature Photonics 11, 441-446. 10.1038/nphoton.2017.93

[10] Tanzilli et al. (2005). A photonic quantum information interface. Nature 437, 116-120. Prepublicación de los autores. quant-ph/0509011

[11] Hermans et al. (2022). Qubit teleportation between non-neighbouring nodes in a quantum network. Nature 605, 663-668. 10.1038/s41586-022-04697-y

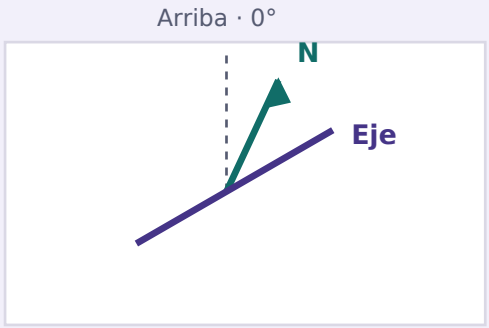
Ruta para ampliar por material

Buscar primero la fórmula, la sal, el hidrato o el identificador del reactivo. Añadir *birefringence*, *linear dichroism* o *polarimetry* para caracterización. Para dispositivos, añadir *electro-optic modulator*, *polarization-sensitive photodetector*, *single-photon emitter* o *quantum frequency conversion*. Comprobar siempre qué material se midió, en qué forma y cuál fue su función.

08 / AMPLIACIÓN · 7 DE NOVIEMBRE DE 2026

El crecimiento orientado al norte

El microscopio está orientado al norte según la descripción del montaje. La respuesta que se quiere seguir es **la orientación de los cristales que se forman**. La serie principal observa el crecimiento con iluminación fija y registra cómo aparecen y se disponen los ejes visibles. La polarimetría descrita en la primera parte queda como medición auxiliar de la luz cuando se estudie el mecanismo.



Marca norte en la imagen	25°
Eje visible del cristal	60°
Eje respecto al norte	35°

Esquema de cálculo

Figura 2. Ángulo en el plano de imagen. En el ejemplo, 60° menos 25° da un eje a 35° del norte. Verificar la marca este para detectar si la cámara invierte el sentido. Indicar si la marca de campo corresponde a norte geográfico o magnético.

Cómo leer el eje

Se toma una dirección visible por cristal, con un criterio definido antes de revisar las tomas. Un eje a 5° equivale a uno a 185°. Se informa de 0° a menos de 180°, junto con su distribución y el número de cristales. Si un cristal no ofrece eje discernible, se conserva esa observación sin asignarle un ángulo.

La finalidad contemplativa

La disposición de los cristales se contempla como una posible huella del observador. La hipótesis del ensayo propone que el observador podría modificar la polarización de la luz en origen y que esa luz podría influir en el crecimiento. La orientación visible es la lectura de la imagen. Vincularla con el observador exige comprobar por separado los dos pasos de la hipótesis.

La orientación del banco proporciona una referencia reproducible. El ángulo en la imagen se calibra con marcas físicas, porque el encuadre y el sentido de la cámara pueden diferir de los del banco.

09 / MATERIALES

Candidatos y qué comparar

El punto de partida es una muestra conocida y una serie por material. En los trabajos con láser, la nucleación y la selección de estructura se midieron bajo condiciones específicas. Esas publicaciones sirven para elegir candidatos y formular preguntas para el microscopio.

Candidato	Antecedente y primera lectura
Inositol y sulfato de cobre Serie actual	Registrar los cristales visibles al inicio y marcar después solo las nuevas formaciones. Comparar con controles separados de cada componente.
Glicina Primer candidato bibliográfico	Se comunicó selección de estructura cristalina al variar la polarización en un montaje láser. Comparar aparición y ejes visibles. La forma de una imagen no determina el polimorfo. [15] [16]
Urea Segunda serie orgánica	Se publicó nucleación inducida por láser dependiente de polarización. Registrar aparición y eje en preparaciones independientes con el montaje de observación. [14]
Cloruro de potasio Comparación inorgánica	Hay un estudio de nucleación con pulsos de luz. En la observación ordinaria sirve para comparar tiempo de aparición y forma. Registrar solo los ejes distinguibles. [17]
$CuCl_2 \cdot 2H_2O$ Cristalización sensible	Con albúmina, la pérdida de humectación alteró el patrón durante la evaporación. El control de sal sola y el soporte documentado permiten comparar la serie. [18]
Acetilcolina, inositol, B6 y niacina Mezcla exploratoria	Anotar sal, forma de vitamina y excipientes. Medir los componentes por separado antes de atribuir una dirección o color a la mezcla.

Primera tanda. Continuar el registro de la muestra existente y abrir una serie de glicina con condiciones constantes. Añadir urea y KCl como comparaciones independientes. La serie de cobre(II) queda documentada como trabajo de laboratorio con sus controles de preparación.

10 / ANTECEDENTES

Steiner, Pfeiffer y la forma

El **Curso de agricultura de Rudolf Steiner** de 1924, GA 327, sitúa el marco antroposófico de las fuerzas formativas. La cristalización sensible con sales de cobre se vincula históricamente con el trabajo de **Ehrenfried Pfeiffer**. Su libro sobre patrones de cristalización recoge esa interpretación en el lenguaje de su época. Las dos fuentes se identifican por separado en la bibliografía. [12] [13]

Qué aporta una comparación moderna

Busscher y colaboradores estudiaron placas de cloruro de cobre(II) dihidratado con albúmina. Encontraron que la retracción del líquido sobre el soporte influía en la forma general de las placas. La distribución de la solución y la dinámica del borde se convierten así en observaciones que conviene conservar al interpretar una imagen. [18]

Los ensayos de nucleación con luz

Los trabajos sobre urea y glicina describen fenómenos en disoluciones y montajes láser definidos. En la glicina se investigó también cómo dependía el resultado de la sobresaturación. Otro trabajo de laboratorio describió un intermedio amorfo en la nucleación inducida por luz en su montaje de glicina. Estos resultados acotan los mecanismos posibles y las condiciones de comparación. [14] [15] [16] [19]

Lectura	Qué se registra
Histórica	Autor, obra, edición y pasaje. El contexto de Steiner y el procedimiento de Pfeiffer se pueden ampliar con textos de primera mano.
Experimental	Composición, sustrato, concentración, borde, temperatura, secuencia temporal y orientación. Cada efecto se refiere al montaje donde se observó.
Contemplativa	Nota sobre el sentido atribuido a la forma. La lectura simbólica se archiva junto a la observación bajo su propio rótulo.

La serie actual estudia la geometría que se ve al microscopio. Una coincidencia de forma entre dos preparaciones puede motivar otra comparación con los parámetros físicos registrados.

11 / CONTRASTE

Cómo poner a prueba la huella

Pregunta	Medida y comparación
1. ¿Cambia la luz incidente?	En una prueba separada, medir la polarización en el plano de la muestra. Mantener fuente, distancia y montaje fijos. Comparar presencia y ausencia del observador en orden aleatorio, con códigos ocultos a quien lee los datos. Registrar irradiancia y temperatura.
2. ¿La luz cambia el crecimiento?	Comparar preparaciones nuevas con condiciones de luz caracterizadas. Equilibrar color, intensidad, temperatura y sustrato. Fijar de antemano cuándo se anota el primer cristal y qué eje se traza. Repetir el ensayo en días y preparaciones distintos.
3. ¿El patrón se reproduce?	Comparar la distribución angular y el tiempo de aparición entre preparaciones. Girar el soporte en una serie de control para comprobar si la preferencia acompaña al soporte o permanece en el sistema de referencia del banco.

Registro por ensayo

Fase 0, líquido. Fase 1, primera formación visible. Fase 2, crecimiento. Fase 3, final observado. Anotar también si al comenzar ya había sólidos, el encuadre de referencia, puntas, color arcoíris y actividad. Mantener separados el eje visible, la orientación cristalográfica y la polarización óptica.

Para resumir ejes, se duplican los ángulos antes de promediarlos. Se obtiene una dirección axial y un valor R de concentración entre 0 y 1. Un R bajo puede aparecer con dos familias casi ortogonales, por lo que se conserva la distribución completa. La unidad para comparar condiciones es la preparación independiente. Los cristales de un mismo campo describen esa preparación.

Un cambio de orientación por sí solo no identifica el mecanismo. Si cambia la luz sin cambio de crecimiento, o cambia el crecimiento sin un cambio medido de luz, los dos eslabones quedan por verificar en ese montaje. La nota contemplativa puede conservarse en ambos casos.

12 / OBSERVATORIO

El cuaderno y sus fuentes

El cuaderno integra el vídeo de Mic 1, cam5, y un registro de fases y ejes. La vista «Local notes» conserva anotaciones en el navegador. La vista «Daemon» lee el futuro estado JSON en el mismo origen. Los datos de ejemplo son sintéticos y quedan fuera del CSV. El péndulo usa cam4 y su aplicación aparece en la página temática.

Mic 1. Fuente de vídeo comprobada. **Rutas del conjunto.** /techniques/crystallization/ y /techniques/pendulum/. El estado de cristalización se publicará en /telemetry-crystallization/state.json.

Fuentes históricas y experimentales

[12] Rudolf Steiner (1924). Geisteswissenschaftliche Grundlagen zum Gedeihen der Landwirtschaft. Curso de agricultura de Koberwitz, GA 327.

[13] Ehrenfried Pfeiffer. Sensitive Crystallization Processes. A Demonstration of Formative Forces in the Blood. Edición de Anthroposophic Press, 1975.

[14] Garetz et al. (1996). Nonphotochemical, Polarization-Dependent, Laser-Induced Nucleation in Supersaturated Aqueous Urea Solutions. Physical Review Letters 77, 3475-3476. 10.1103/PhysRevLett.77.3475

[15] Garetz, Matic y Myerson (2002). Polarization Switching of Crystal Structure in the Nonphotochemical Light-Induced Nucleation of Supersaturated Aqueous Glycine Solutions. Physical Review Letters 89, 175501. 10.1103/PhysRevLett.89.175501

[16] Sun, Garetz y Myerson (2006). Supersaturation and Polarization Dependence of Polymorph Control in the Nonphotochemical Laser-Induced Nucleation (NPLIN) of Aqueous Glycine Solutions. Crystal Growth & Design 6, 684-689. 10.1021/cg050460+

[17] Alexander y Camp (2009). Single Pulse, Single Crystal Laser-Induced Nucleation of Potassium Chloride. Crystal Growth & Design 9, 958-963. 10.1021/cg8007415

[18] Busscher et al. (2019). Influence of dewetting on the crystallization behavior of $CuCl_2$ in the presence of BSA during evaporation in a Petri dish. Heliyon 5, e01102. 10.1016/j.heliyon.2018.e01102

[19] Liao y Wynne (2022). A Metastable Amorphous Intermediate Is Responsible for Laser-Induced Nucleation of Glycine. Journal of the American Chemical Society 144, 6727-6733. 10.1021/jacs.1c11154

Alcance de la ampliación. Se contrastaron títulos, registros bibliográficos y el resumen del trabajo de Busscher. La bibliografía histórica deja espacio para incorporar pasajes y ediciones de Steiner. La hipótesis de una huella del observador permanece como propuesta del cuaderno.