

Proyecto PAgFRUIT

Avances en la aplicabilidad de tecnologías en la agricultura de precisión en fruticultura

J.A. MARTÍNEZ CASASNOVAS, A. ESCOLÀ AGUSTÍ

Grupo de Investigación en AgróTICa y Agricultura de Precisión, Universitat de Lleida y Agrotecnio–CERCA Center.

El pasado 19 de enero tuvo lugar la jornada 'Agricultura de Precisión en Fruticultura. Proyecto PAgFRUIT y Repositorio Digital de Agricultura de Precisión', que forma parte del Plan Anual 2023 de Transferencia Tecnológica, auspiciado por el Departamento de Acción Climática de la *Generalitat de Catalunya*. Celebrada en la Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària, Forestal i Veterinària (ETSEFiV) de la Universitat de Lleida (UdL), fue presentada y moderada por **José Antonio Martínez Casanovas**, profesor de la ETSEFiV e investigador principal del proyecto.

La finalidad era exponer y divulgar los resultados del PAgFRUIT, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación, dentro del Plan de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2017-2020 Programa de I+D+i Orientada a los Retos de la Sociedad (Agencia Española de Investigación) (Código de Proyecto RTI2018-094222-B-I00), desarrollado entre el 01/01/2019 y el 30/09/2022).

Este proyecto de investigación ha tenido como objetivo principal el desarrollo de técnicas para la producción frutícola sostenible y de precisión, suponiendo la continuidad de trabajos previos en fruticultura de precisión del Grupo de Inves-

tigación en AgróTICa y Agricultura de Precisión (GRAP) de la Universitat de Lleida y Agrotecnio-CERCA Centre.

El desarrollo del mismo ha tratado de avanzar en la resolución de uno de los retos clave contemplado en el Plan de Investigación de Ciencia, Tecnología e Innovación 2017-2020: la 'Mejora de la competitividad y la sostenibilidad ambiental, económica y social de la producción agrícola, a través de la introducción de procesos y tecnologías que aumenten la eficiencia y la intensificación sostenible, incluida la prevención, protección y control de plagas y enfermedades'. En este sentido, el proyecto ha contribuido de manera significativa a avanzar en la aplicabilidad de tecnologías de la agricultura de precisión, como los sensores fotónicos (LiDAR, cámaras RGB-D, fotogrametría intensiva, imágenes multispectrales desde diferentes tipos de plataformas), en diversos aspectos del manejo de los sistemas frutícolas, y en particular en los sistemas de producción intensivos y super-intensivos. Los principales logros alcanzados han sido:

1) Creación de un protocolo para la extracción de información geométrica y estructural del dosel foliar de plantaciones frutales a partir de nubes de puntos 3D generadas por sensores LiDAR



Vista general de la jornada.

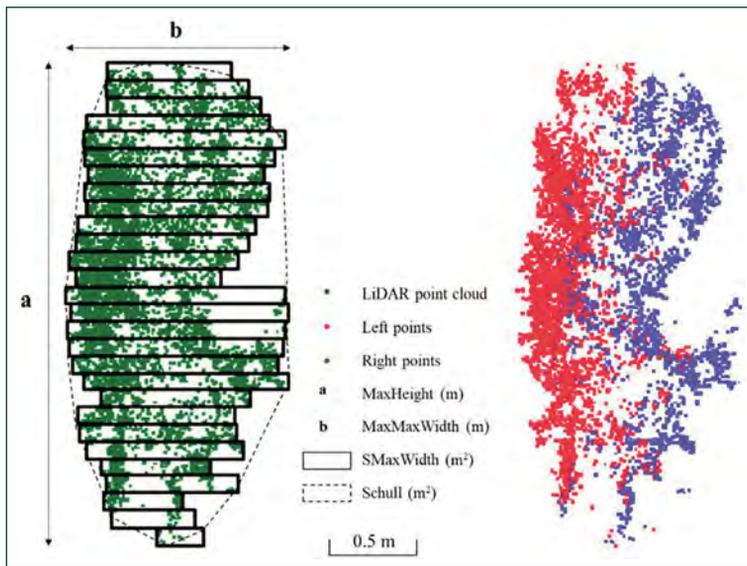


Figura 1. Izda.: Sección transversal de una nube de puntos (impac-tos) LiDAR en una plantación super-intensiva de almendros y representación de diferentes medidas geométricas que pueden extraerse automáticamente de dicha sección. A la dcha., nube de puntos capturada para cada lado del escaneo LiDAR. Fuente: MARTÍ-NEZ-CASASNOVAS et al. (2022).

e imágenes adquiridas desde dron. Como paso previo, también se pusieron a punto métodos para mejorar el registro de estas nubes de puntos y se desarrolló un modelo/patrón para evaluar la exactitud y precisión de los modelos 3D de árboles frutales. En esta línea, también se trabajó en el modelado de la atenuación de los impactos de los rayos láser (LiDAR) a medida que atraviesan el dosel foliar, sirviendo para analizar el efecto que distintos métodos de manejo en olivo tienen en el desarrollo de los árboles (Figura 1).

2) Caracterización del dosel foliar de los árboles a través de un índice estructural extraído de los datos LiDAR que se correlaciona con el desarrollo foliar según diferentes estrategias de manejo (principalmente, diferentes tratamientos nutricionales). Esta caracterización se llevó a cabo en olivo y almendro. En olivo se analizó el desarrollo vegetativo, rendimiento y calidad del aceite en relación a diferentes dosis de nitrógeno y riego. Los resultados mostraron una alta correlación del índice con la radiación fotosintéticamente activa interceptada por el dosel foliar, con parámetros de desarrollo vegetativo, como el porcentaje de poda, y con el rendimiento. También la relación fue positiva con el contenido en polifenoles, estabilidad del aceite y amargor. En almendro se analizó el efecto del abonado nitrogenado en el desarrollo vegetativo y en el ren-

dimiento, encontrándose diferencias significativas no tanto en la cantidad aportada como en el momento de suministro de nitrógeno (Figura 2).

3) Creación de mapas de variables geométricas y estructurales de los árboles frutales a partir de métodos geoestadísticos, y su zonificación. Para ello se desarrolló una metodología para resumir la información de las nubes de puntos LiDAR 3D a lo largo de las filas de las plantaciones super-intensivas y después proceder a su interpolación y generación de mapas que permiten la zonificación de la información. Así, se determinó la distancia óptima a la cual deben ser resumidos los datos para su representación espacial en forma de mapas y su relación con otros índices derivados de imágenes multiespectrales obtenidas a partir de dron y de satélite (Figura 3).

4) Correlación entre índices de vegetación calculados a partir de imágenes multiespectrales desde diferentes plataformas (satélites: Sentinel-2, PlanetScope; y dron) con los parámetros geométricos y estructurales de las plantaciones, para que sirvan como intermediario en el seguimiento del vigor y del desarrollo de la arquitectura foliar de los árboles (Figura 4).

5) Desarrollo de métodos avanzados para la detección, georreferenciación y discriminación de frutos, así como para la medida del diámetro, utilizando técnicas de inteligencia artificial. Esta



Las mejores variedades de hueso, pepita y almendro

SUBLIM

Melocoton plano



Fruit Futur ▶▶

PERLA

Nectarina plana



Fruit Futur ▶▶

SMERALDA

Manzana



* Resistente al moteado

ELLIOT

Pera



* Tolerante al fuego bacteriano

MAKAKO®

Almendra



* Novedad

GENEVA®

Portainjertos



Variedades bajo licencia y autorización de Eurosemillas, Domaine de Castang, CIV, FruitFutur, Europa Fruit Tree, Rootstocks y CEBAS-CSIC

Ctra. el Palau, km 1,
25243, El Palau d'Anglesola,
Lérida, España

973 71 14 00
certiplant.com
info@certiplant.com



Figura 2. Escaneo LiDAR de una plantación intensiva de olivos para la caracterización en continuo del dosel foliar.

línea de investigación, desarrollada principalmente en manzano, ha sido una de las que ha generado más resultados en cuanto a publicaciones científicas. Con LiDAR, la medición de la reflectancia aparente ha resultado ser útil para detectar los frutos, con éxitos de localización del 87,5% y de identificación del 82,4%. También se analizó

la influencia de las oclusiones de la propia vegetación en la localización y conteo de frutos. Con cámaras RGB-D se aplicó inteligencia artificial para detectar y medir el tamaño de los frutos. Los resultados obtenidos contribuyeron a participar en la primera edición del concurso Farm@thon, organizado por LleidaDrone Robotics y la empre-

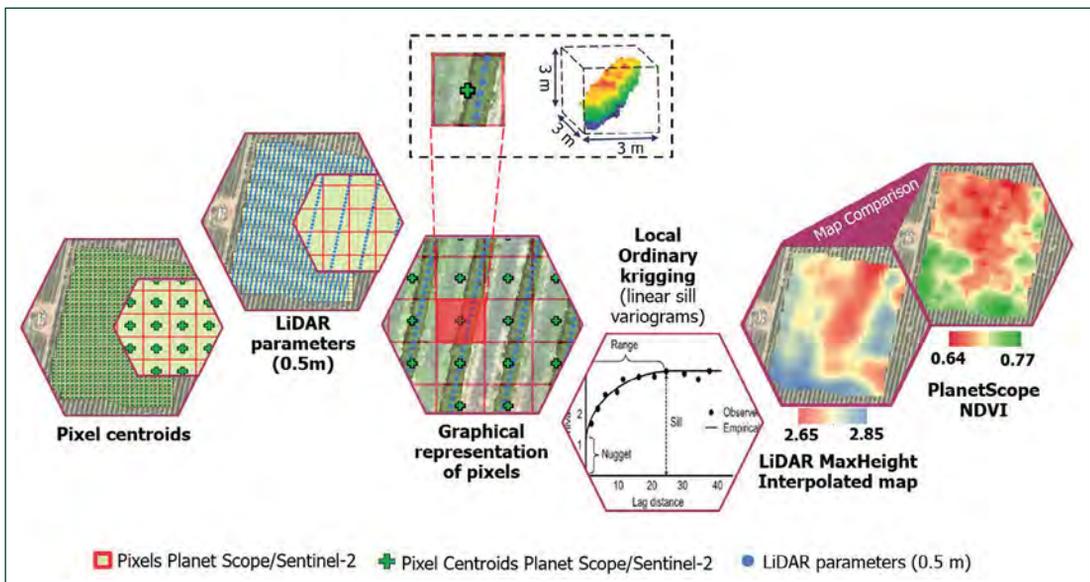


Figura 3. Protocolo metodológico para la interpolación de los valores geométricos y estructurales de la vegetación medidos con LiDAR a la malla de centroides de los píxeles de las imágenes de satélite para su comparación con índices espectrales. Fuente: SANDONIS-POZO *et al.*, 2022a.

Control Biológico y semioquímico de plagas en frutales de hueso y pepita

Feromonas de confusión sexual para el control de lepidópteros

Producto	Objetivo
Isomate® A/OFM	<i>Grapholita molesta</i> , <i>Anarsia lineatella</i> y <i>Grapholita funebrana</i>
Isomate®OFM rosso Flex	<i>Grapholita molesta</i> y <i>Grapholita funebrana</i>
Isonet® ATT	<i>Anarsia lineatella</i>
Isomate® C TT	<i>Cydia pomonella</i> (<i>Carpocapsa</i>)
Isonet® Z	<i>Zeuzera pyrina</i> y <i>Synanthedon tipuliformis</i> (<i>Sesia</i>)
Isonet® LR	<i>Adoxophyes orana</i> (<i>Capua de los frutales</i>)
MISTER C	<i>Cydia pomonella</i> (<i>Carpocapsa</i>)
MISTER C LR	<i>C. pomonella</i> , <i>P. heparana</i> , <i>P. cerasana</i> , <i>A. orana</i> (<i>Capua</i>), <i>A. Ijungiana</i> (<i>Eulia</i>), <i>Archips podanus</i>



Productos registrados basados en microorganismos

NATURALIS®

Insecticida-acaricida a base de *Beauveria bassiana* cepa ATCC 74040 para el control de trips, araña roja, psila del peral, mosca de la fruta y mosca de la cereza



RAPAX® AS

Bacillus thuringiensis kurstaki cepa EG2348 en formulación acuosa para el control de larvas de lepidópteros



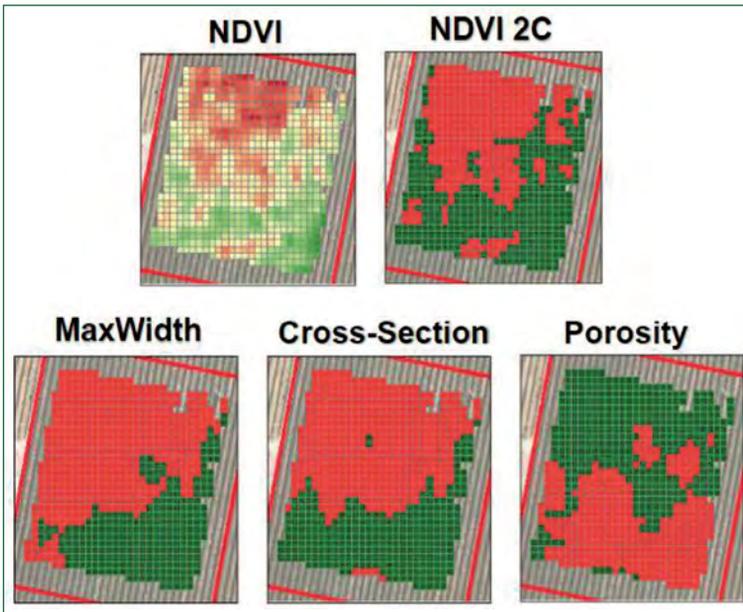


Figura 4. Comparación del NDVI obtenido a partir de una imagen de satélite PlanteScope y su clasificación en 2 zonas, con las zonas obtenidas a partir de parámetros geométricos y estructurales de la plantación en almendro super-intensivo (SANDONÍS-POZO *et al.*, 2022b).

sa Farm-*ng* en el marco de la Fira de Lleida 2022, obteniendo el primer premio (Figura 5).

6) Revisión del sistema de ayuda a la decisión de dosis (DOSA3D) para la aplicación de fitosanitarios mediante cálculo de dosis zonales y validación en parcelas de viña con diferente variabilidad intraparcularia (caracterizada mediante

LiDAR), y comparación de aplicaciones zonales mediante maquinaria convencional y mediante dron. Un primer ensayo de aplicación de dosis zonal tras la revisión de esta aplicación fue realizado en viña mediante atomizadoras convencionales. También se realizó el ensayo sobre tratamiento zonal con atomizadora convencional y

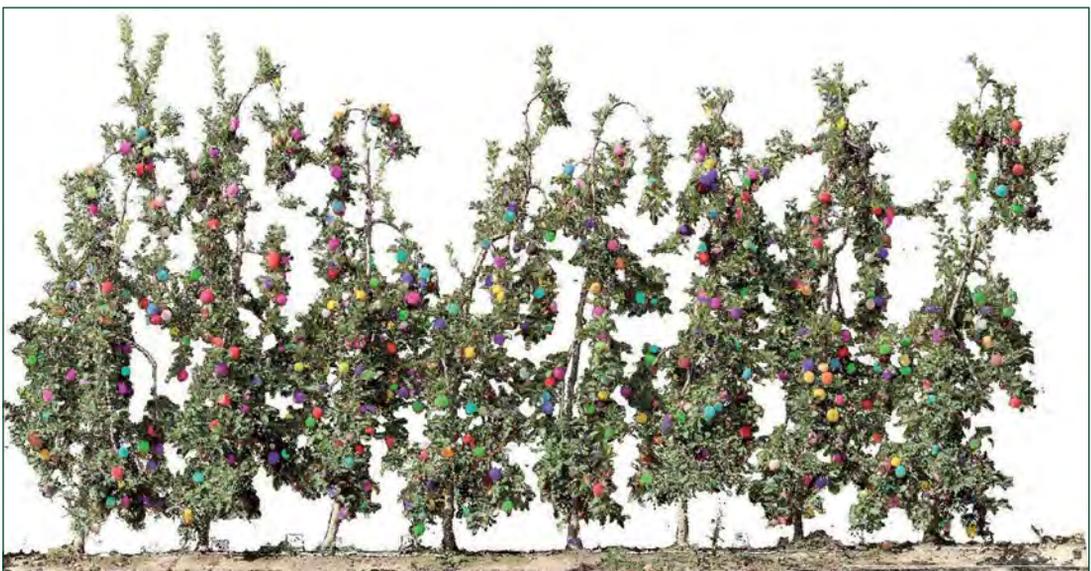


Figura 5. Ejemplo de resultados de detección y localización de frutos en manzanos. Fuente: GENÉ *et al.* (2020).

We are ready
for a sustainable future

now



Con **eqo.x** comienza una nueva era para
los fertilizantes de liberación controlada



Para más
información
sobre eqo.x,
visite:





Figura 6. Ensayo de aplicación de dosis zonal con atomizadora convencional (izda.) y dron (dcha.) en una parcela de viña.

con un dron, comparándose el realizado con un pulverizador ajustado según los parámetros de DOSA3D. Estos resultados están pendientes de publicación (Figura 6).

7) Propuesta de un esquema avanzado de muestreo que, haciendo uso de parámetros vegetativos del dosel foliar suministrados por sensores LiDAR, y en combinación con la detección electrónica de frutos, permite estimar la cosecha (carga de fruta) con mayor eficiencia que los métodos convencionales de muestreo aleatorio y/o sistemático. Este objetivo se trabajó en manzano. A partir de datos de la recolección (carga de fruta y cosecha en kg cada cinco árboles a lo largo de las hileras), fue posible mapear ambas variables (carga y producción) con el objetivo de analizar el patrón de distribución espacial y la estructura de variación de la cosecha en una parcela comercial. La simulación recomendó usar tamaños de muestra entre 10–12 unidades de muestreo (Coeficiente de Variación de la carga de fruta del 18%), cuando la opción elegida fuese un muestreo aleatorio simple. El uso de un muestreo sistemático mejoró la precisión de las estimaciones usando el mismo tamaño de muestra (N=10). Finalmente, la estratificación de la muestra en base a la carga de fruta permitió duplicar la eficiencia del muestreo usando únicamente dos estratos (carga de fruta baja y alta). En todos los casos, se comprobó que el tamaño de la muestra depende únicamente de la variabilidad que presenta la plantación, no estando

especialmente condicionado por la superficie (área) de la parcela. Es esperable que, dados los resultados anteriores, la estratificación en base a parámetros geométricos LiDAR permita asimismo mejorar la precisión de las estimaciones en comparación con el muestreo aleatorio, quedando pendiente fijar cuál es la eficiencia relativa entre ambos métodos (aleatorio y estratificado LiDAR). Este es un logro de gran interés a la hora de combinar el muestreo con la detección electrónica de frutos. La estimación de la cosecha solo será fiable si los sistemas discontinuos de detección y conteo de frutos (App móviles) se usan siguiendo un protocolo avanzado de muestreo en cuanto al número y la localización de los árboles a muestrear (Figura 7).

Todos estos resultados vienen a afianzar a los sensores de base fotónica como una tecnología clave en el fenotipado del dosel y la arquitectura foliar, abriendo la posibilidad a la implementación de nuevos servicios a disposición del fruticultor para un manejo más optimizado de las plantaciones.

Los resultados del PAGFRUIT están publicados en abierto y son accesibles a través de la página web del proyecto: <https://www.pagfruit.udl.cat/en/news/Completion-of-the-PAGFRUIT-project/>

Repositorio digital

Así mismo, en la jornada técnica, **Àlex Escollà Agustí**, profesor de la Universitat de Lleida y coordinador del GRAP, presentó el Reposito-

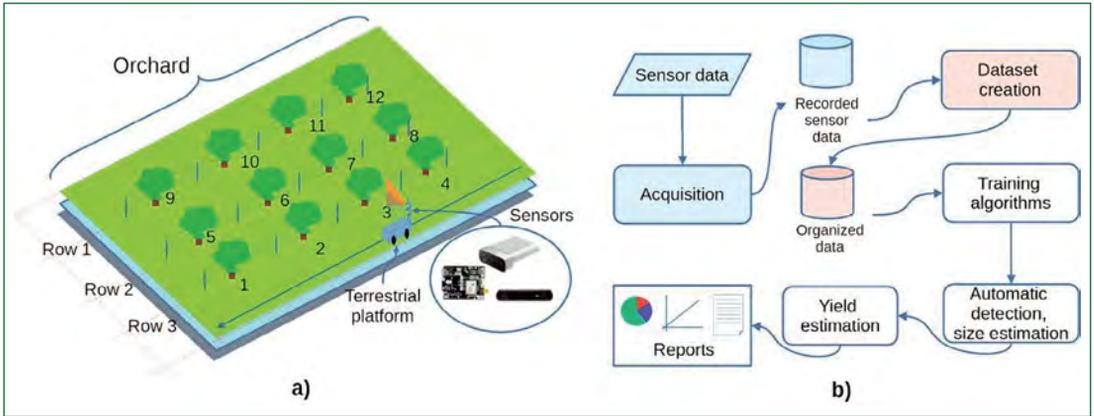


Figura 7. Protocolo para la estimación del rendimiento de frutos utilizando métodos de visión artificial. (a) Esquema de montaje del sensor en pruebas de campo. (b) Etapas propuestas de adquisición y extracción de datos. Fuente: MIRANDA *et al.* (2022).

rio Digital de Agricultura de Precisión elaborado por dicho grupo de investigación. El objetivo de este repositorio es poner a disposición de agricultores, técnicos y público en general, materiales divulgativos relacionados con la Agricultura de Precisión, a fin de facilitar la transición hacia este nuevo tipo de agricultura. Esto se hace a través de las páginas del sitio web <https://www.grap.udl.cat/ca/repositori/inici/> y del Repositorio Abierto de la Universitat de Lleida (<https://repositori.udl.cat/>), donde están alojados todos los documentos del repositorio en formato pdf.

Los materiales están divididos en 5 bloques: conceptos básicos, adquisición de datos, extracción de información, toma de decisiones y actuación en campo, siguiendo el ciclo de la Agricultura de Precisión (AP) y los procesos que se derivan de su definición. Navegando por el repositorio el lector encontrará 4 tipos de documentos: 1) Bases de la AP: son documentos formativos básicos que tienen el objetivo de enviar las bases conceptuales de la AP a todos aquellos que no las han recibido de forma reglada; 2) Fichas técnicas: son fichas descriptivas de tecnologías o técnicas concretas para poder entenderlas fácilmente; 3) Tutoriales: son o bien guías prácticas o bien materiales multimedia para realizar proce-

dos u operaciones concretas; y 4) Aplicaciones prácticas: son estudios y casos prácticos de éxito que sirven para analizar casos concretos que puedan servir de referencia . •

Bibliografía

GENÉ-MOLA, J., SANZ-CORTIELLA, R., ROSELL-POLO, J.R., MORROS, J.R., RUIZ-HIDALGO, J., VILAPLANA, V., GREGORIO, E., (2020). Fruit detection and 3D location using instance segmentation neural networks and structure-from-motion photogrammetry. *Computers and Electronics in Agriculture* 169, 105165. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105165>

MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A., SANDONÍS-POZO, L., ESCOLÀ, A., ARNÓ, J., LLORENS, J., (2022). Delineation of Management Zones in Hedgerow Almond Orchards Based on Vegetation Indices from UAV Images Validated by LiDAR-Derived Canopy Parameters. *Agronomy* 2022, 12, 102. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010102>

MIRANDA, J.C., GENÉ-MOLA, J., ARNÓ, J., GREGORIO, E., (2022). AKFruitData: A dual software application for Azure Kinect cameras to acquire and extract informative data in yield tests performed in fruit orchard environments. *SoftwareX* 20, 101231, <https://doi.org/10.1016/j.softx.2022.101231>

SANDONÍS-POZO, L., PLATA-MORENO, J.M., LLOREN, J., ESCOLÀ, A., PASCUAL, M., MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A., (2022). PlanetScope Vegetation Indices to Estimate UAV and LiDAR-derived Canopy Parameters in a Super-Intensive Almond Orchard. *Fruic* 14th Interational Symposium, 29 Jun – 1 Jul, Valencia. <http://hdl.handle.net/10459.1/84009>

SANDONÍS-POZO, L., LLORENS, J., ESCOLÀ, A., ARNÓ, J., PASCUAL, M., MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A., (2022b). Satellite multispectral indices to estimate canopy parameters and within-field management zones in super-intensive almond orchards. *Precision Agriculture* 23, 2040–2062. <https://doi.org/10.1007/s11119-022-09956-6>

