

Recepción: 19.11.2025

Revisión: 30.12.2025

Publicación: 15.01.2026

<https://orcid.org/0000-0003-4392-7028>

<https://orcid.org/0009-0005-5091-8543>

<https://orcid.org/0000-0002-9628-1251>

<https://orcid.org/0000-0001-5404-754X>

# TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA PARA LA INDUSTRIA POBLANA: VER POR DENTRO SIN DESTRUIR

## COMPUTED TOMOGRAPHY FOR INDUSTRY IN PUEBLA: SEEING INSIDE WITHOUT DESTRUCTION

Jorge Raúl Cerna Cortez\*<sup>1</sup>

Gabriela Esquina Arenas<sup>1</sup>

César Márquez Beltrán<sup>2</sup>

Laura Morales Lara<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dirección de Innovación y Transferencia del Conocimiento (DITCo),  
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México.

<sup>2</sup>Instituto de Física,  
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México.

<sup>3</sup>Facultad de Ciencias Químicas,  
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México.

Correos:

[jorge.cerna@correo.buap.mx](mailto:jorge.cerna@correo.buap.mx)\*

[gabriela.esquinaarenas@correo.buap.mx](mailto:gabriela.esquinaarenas@correo.buap.mx)

[cesar.marquez@correo.buap.mx](mailto:cesar.marquez@correo.buap.mx)

[laura.morales@correo.buap.mx](mailto:laura.morales@correo.buap.mx)

## Resumen

La tomografía computarizada de rayos X (CT, por sus siglas en inglés) es una técnica de ensayo no destructivo que permite obtener imágenes tridimensionales del interior de un objeto sin cortarlo ni dañarlo. Aunque se asocia principalmente con el diagnóstico médico, en las últimas décadas se ha convertido en una herramienta estratégica para la industria manufacturera, particularmente en sectores como el automotriz, el aeroespacial, el electrónico y el de materiales avanzados. En este artículo se presenta, en un lenguaje de divulgación científica, el principio de funcionamiento de la tomografía computarizada y su aplicación en la industria poblana, destacando el papel de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla a través del Laboratorio de Innovación y Materiales Aplicados (LIMA-DITCo). Se describen casos típicos de uso —inspección de piezas complejas, análisis de fallas, control de calidad en impresión 3D y evaluación de baterías—, así como las ventajas y limitaciones de la técnica frente a otros métodos de ensayo. Finalmente, se enfatiza la importancia de contar con infraestructura científica de alta especialización en universidades públicas para apoyar la competitividad industrial, la conservación del patrimonio y la formación de talento en la región.

**Palabras clave:** tomografía computarizada; rayos X; ensayo no destructivo; control de calidad; industria automotriz.

## Abstract

X-ray computed tomography (CT) is a nondestructive testing technique that provides three-dimensional images of the interior of an object without cutting or damaging it. Although it is commonly associated with medical diagnosis, in recent decades it has become a strategic tool for manufacturing industries, particularly in the automotive, aerospace, electronics, and advanced materials sectors. This article presents, in an accessible scientific outreach format, the basic working principles of computed tomography and its application in the industrial context of Puebla, Mexico, highlighting the role of the Benemérita Universidad Autónoma de Puebla through the Applied Materials and Innovation Laboratory (LIMA-DITCo). Typical use cases include inspection of complex parts, failure analysis, quality control in 3D printing, and battery evaluation, as well as the main advantages and limitations of the technique compared with other testing methods. Finally, the article stresses the importance of high-level scientific infrastructure within public universities to support industrial competitiveness, heritage conservation, and talent training in the region.

**Keywords:** computed tomography; X-rays; non-destructive testing; quality control; automotive industry.

## Introducción

En esencia, la tomografía computarizada consiste en irradiar un objeto con rayos X desde múltiples ángulos, medir la intensidad transmitida con un detector y, a partir de esas proyecciones, reconstruir matemáticamente un volumen 3D discretizado en vóxeles (Kalender, 2011). Aunque el principio físico es el mismo que en la radiografía industrial convencional, la CT agrega la dimensión volumétrica: en lugar de una sola imagen superpuesta, se obtiene un modelo tridimensional que permite recorrer cortes arbitrarios, hacer mediciones internas y cuantificar porosidad, espesores y defectos con gran detalle (Sun, Brown, & Leach, 2012; IAEA, 2020).

La transición de la CT desde la medicina hacia la industria ha sido impulsada por la disponibilidad de equipos de mayor energía, detectores digitales más sensibles y algoritmos de reconstrucción y filtrado más robustos (Carmignato et al., 2018). Al mismo tiempo, la presión por reducir tiempos de desarrollo de producto, aumentar la confiabilidad y documentar mejor las fallas ha hecho que sectores como el automotriz, el aeroespacial y el de manufactura avanzada incorporen la tomografía como parte de su caja de herramientas de ensayos no destructivos (Sharma, 2023; Abdollahi-Mamoudan et al., 2025).

En un estado como Puebla, con una industria automotriz consolidada, empresas de autopartes, manufactura avanzada, plásticos, metalmeccánica y un ecosistema creciente de dispositivos y componentes de alto valor agregado, la tomografía computarizada se vuelve una herramienta particularmente pertinente para mejorar procesos,

reducir retrabajos y fortalecer la trazabilidad de la calidad.

## Desarrollo

### ¿Qué es la tomografía computarizada de rayos x?

La tomografía computarizada puede entenderse como una evolución de la radiografía tradicional. Mientras que en una radiografía se hace pasar un haz de rayos X a través de un objeto y se registra la atenuación en un detector plano, en CT se siguen, de manera general, los siguientes pasos (Kalender, 2011; Sun et al., 2012; IAEA, 2020):

1. El objeto se coloca sobre una plataforma giratoria.
2. Se toman múltiples proyecciones desde diferentes ángulos, como si se fotografiara el objeto alrededor de 360 grados.
3. Una computadora aplica algoritmos de reconstrucción —como la retroproyección filtrada u otros métodos iterativos— para integrar esa información y generar un volumen tridimensional de vóxeles, donde cada uno representa el nivel de atenuación local de los rayos X.
4. El resultado es un escaneo completo del interior de la muestra, que permite realizar cortes virtuales en cualquier plano, medir espesores, detectar poros, inclusiones, grietas o zonas con materiales distintos.

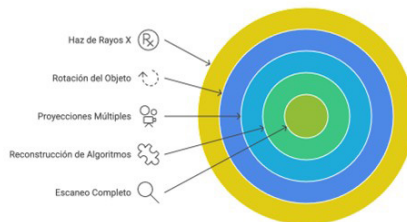


Figura 1. Proceso de escaneo 3D en Tomografía Computarizada (CT) (Autoría Propia)

La calidad del resultado depende de parámetros como la energía y el espectro del haz de rayos X, la resolución espacial, la relación campo de visión/tamaño de la pieza, la relación señal-ruido, la presencia de artefactos (endurecimiento de haz, dispersión, anillos) y la correcta calibración geométrica del sistema (Kalender, 2011; De Chiffre et al., 2014). En aplicaciones metro-lógicas, además de la calidad de imagen, es crítico estimar y minimizar la incertidumbre de medición para que las dimensiones obtenidas por CT sean comparables con otros equipos de

metrología dimensional (Carmignato et al., 2018; Martínez-García et al., 2025).

En términos físicos, la atenuación de los rayos X depende de la densidad y del número atómico efectivo de los materiales. Por ello, la CT es particularmente útil cuando se requiere diferenciar entre regiones de distinta densidad (por ejemplo, vacíos frente a metal) o entre materiales con contraste suficiente, como en el caso de piezas multicapa, compósitos o ensamblajes con insertos.

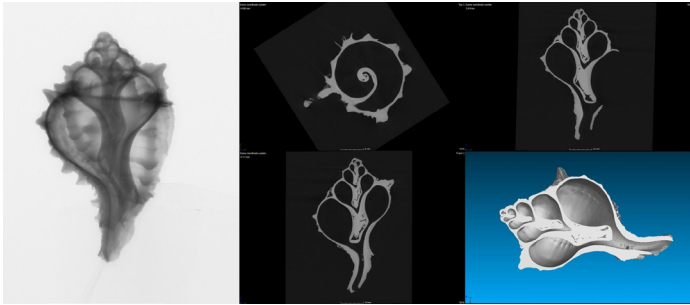


Figura 2. Imagen radiográfica 2D (izquierda), imágenes 2D y 3D de reconstrucción en tomografía computarizada (derecha).

## De la medicina a la industria

Históricamente, la tomografía computarizada se desarrolló para aplicaciones médicas; sin embargo, los mismos principios pueden aplicarse a componentes industriales (du Plessis et al., 2016). El salto de la clínica al taller implica varios cambios:

- En medicina se trabajan tejidos blandos y hueso; en la industria se analizan metales, polímeros, cerámicos, compuestos y ensamblajes complejos.
- Los objetos industriales suelen ser más pequeños, pero mucho más densos, lo que exige fuentes de rayos X de mayor tensión (hasta cientos de kV) y detectores especializados (IAEA, 2020; De Chiffre et al., 2014).

- La metrología industrial demanda mediciones dimensionales precisas, por lo que se combinan técnicas de CT con análisis geométrico y software de ingeniería asistida por computadora (CAD/CAE), incluyendo la comparación directa del volumen escaneado con el modelo nominal (Carmignato et al., 2018; Bellens et al., 2024).

En Puebla, la presencia de armadoras automotrices, empresas de autopartes, proveedores de sistemas electrónicos, fabricantes de moldes e inyección de plástico, así como un sector creciente de manufactura aditiva, convierte a la tomografía computarizada en un aliado natural para reducir incertidumbre en diseño y proceso.

## ¿Qué puede ver la CT que otros métodos no ven?

Los métodos tradicionales de inspección, como la medición dimensional por contacto, la microscopía óptica o la metalografía, siguen siendo fundamentales. No obstante, presentan limitaciones cuando se trata de componentes internos o geometrías complicadas. La CT ofrece varias ventajas (De Chiffre et al., 2014; Sietins et al., 2022; Abdollahi-Mamoudan et al., 2025):

**Visualización interna completa.** Permite observar cavidades, canales, insertos, uniones y defectos en el interior de una pieza sin cortarla. Esto es clave en componentes de fundición, piezas soldadas, conectores eléctricos o dispositivos ensamblados.

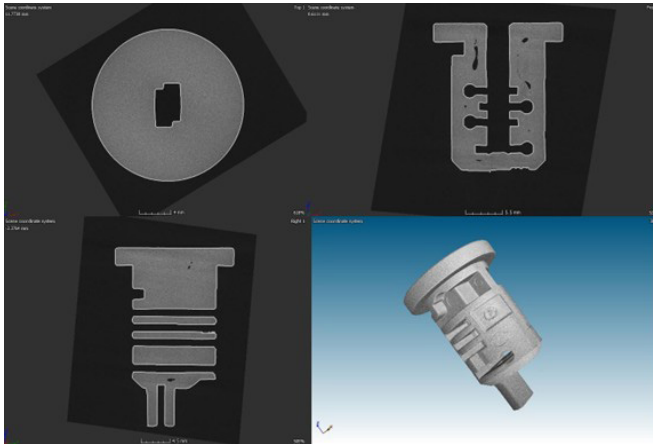


Figura 3. Vista 2D y 3D de reconstrucción de pieza plástica detección de inspección por fallo estructural. (Autoría Propia).

**Detección de porosidad y grietas.** Los poros y grietas internas pueden afectar la resistencia mecánica, la hermeticidad o el desempeño en servicio. La CT cuantifica tamaño, distribución y

volumen de poros, información valiosa para ajustar parámetros de proceso en fundición, inyección de plástico o impresión 3D (Lang et al., 2023; Martínez-García et al., 2025).

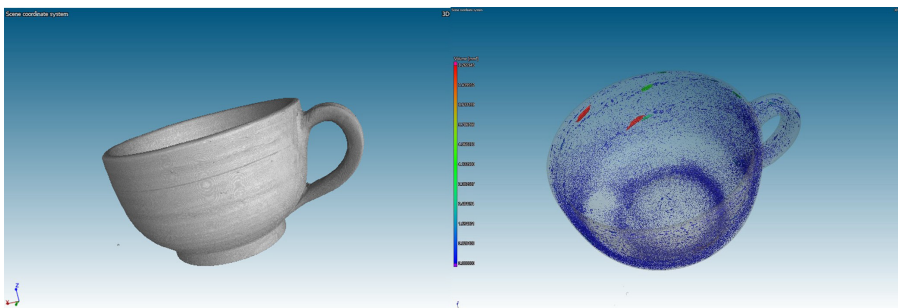


Figura 4. Pieza de barro vista 3D (izquierda), análisis de porosidad (derecha). (Autoría propia)

*Comparación con diseño CAD.* Al superponer el volumen obtenido por CT con el modelo de diseño, es posible evaluar desviaciones dimensionales, deformaciones y contracciones. Este

tipo de análisis es especialmente útil en prototipado, validación de moldes y ajustes finos de procesos (Carmignato et al., 2018; Bellens et al., 2024).

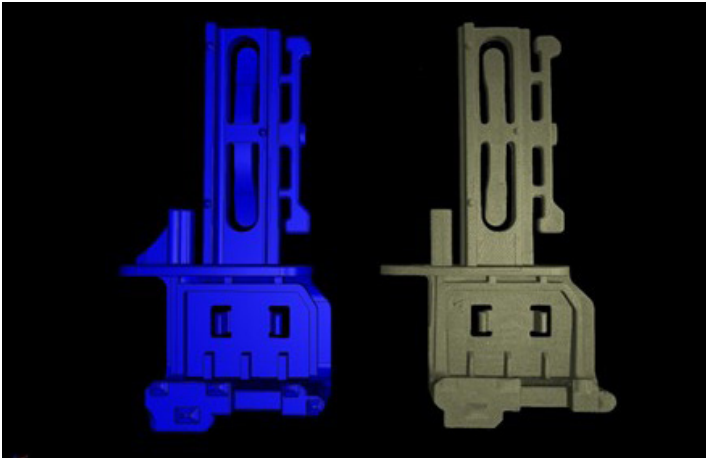


Figura 5. Comparación Nominal/Actual CAD, diseño digital (izquierda), imagen 3D pieza manufacturada (derecha). (Autoría propia)

*Análisis de ensamblajes y mecanismos.* En productos que integran múltiples componentes —como válvulas, actuadores, sensores o baterías— la CT permite verificar el posicionamiento de piezas, la presencia de holguras y el estado de uniones mecánicas o adhesivas (Olanami et al., 2023; Ghosh et al., 2023).

*Estudios de falla no destructivos.* Ante una falla en servicio, cortar una pieza suele destruir evidencia importante. La CT permite explorar el interior, identificar el origen de la grieta o la zona crítica y, si es necesario, seleccionar de forma precisa dónde realizar cortes posteriores para análisis complementarios (Sharma, 2023; du Plessis et al., 2016).

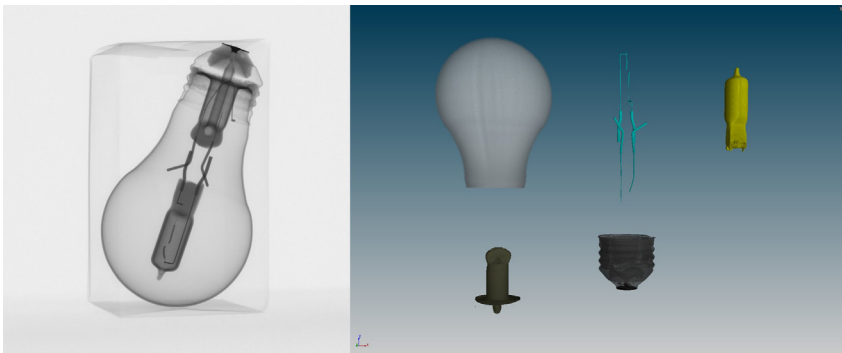


Figura 6. Segmentación en piezas multicomponentes. Imagen radiográfica (izquierda) y reconstrucción tridimensional (derecha). (Autoría Propia)manufacturada (derecha). (Autoría propia)

## Casos de aplicación en la industria poblana

Sin entrar en detalles confidenciales, pueden describirse algunos escenarios típicos donde un centro como LIMA-DITCo/CAPAND resulta estratégico para la industria de Puebla:

*Componentes automotrices de seguridad.* Piezas como soportes estructurales, elementos de

suspensión o carcasas de frenos deben cumplir estándares estrictos. La CT permite detectar porosidad excesiva en fundiciones, falta de material en zonas críticas o defectos de soldadura que podrían comprometer la seguridad del vehículo (De Chiffre et al., 2014; IAEA, 2020).

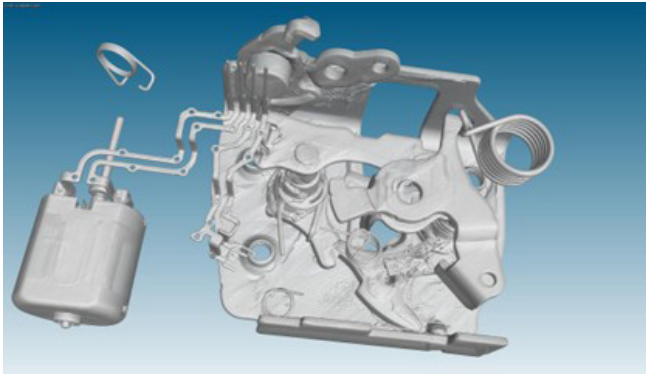


Figura 7. Imagen 3D pieza automotriz. (Autoría propia)

*Piezas plásticas e inyectadas.* En autopartes interiores, carcasas de sensores o conectores eléctricos, la técnica ayuda a identificar atrapa-

miento de aire, rebabas internas o deficiencias en el llenado del molde, lo que orienta ajustes de temperatura, presión o diseño de compuertas.

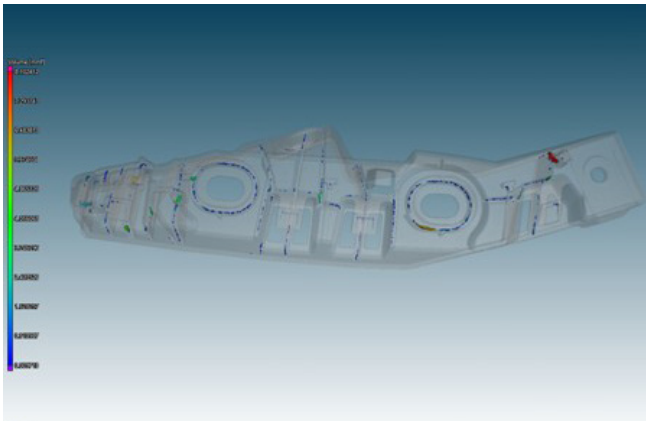


Figura 8. Imagen 3D pieza plástica con análisis de porosidad. (Autoría propia)

Impresión 3D y manufactura aditiva. La fabricación capa por capa puede generar defectos internos difíciles de detectar externamente. La CT permite verificar densidad, porosidad y

continuidad de estructuras complejas, aspecto crítico cuando se emplean piezas impresas en aplicaciones funcionales o de seguridad (Sietins et al., 2022; Abdollahi-Mamoudan et al., 2025).



Figura 9. Pieza arqueológica Museo Comunitario Xiutetelco, Puebla (izquierda), Tomografía Computarizada (central) e Impresión 3D (derecho). (Autoría propia)

*Dispositivos electrónicos y baterías.* En módulos electrónicos encapsulados o paquetes de baterías, la CT ayuda a verificar alineación, contacto entre componentes, presencia de

vacios en compuestos encapsulantes y posibles deformaciones internas asociadas con ciclos de carga y descarga (Lang et al., 2023; Olakanmi et al., 2023).

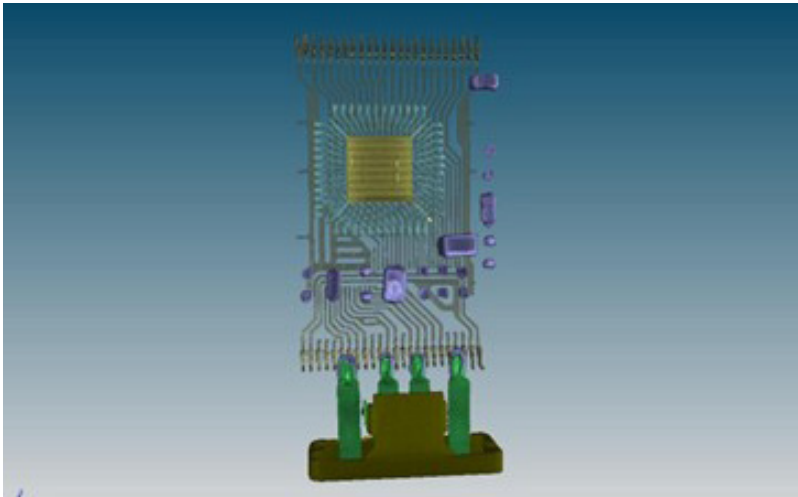


Figura 10. Segmentación en dispositivo con circuito integrado. (Autoría propia)grafía Computarizada (central) e Impresión 3D (derecho). (Autoría propia)

**Materiales avanzados y compuestos.** La combinación de matrices poliméricas con fibras o cargas requiere conocer la distribución espacial de las fases. La CT ofrece una visión tridimensional que complementa técnicas como la microscopía o la espectroscopía, por ejemplo, en materiales de cambio de fase, geociencias o suelos (Applications of X-ray computed tomography

in the geosciences, 2013; Martínez-García et al., 2025; Ghosh et al., 2023).

En todos estos casos, el valor no reside solo en obtener imágenes espectaculares, sino en traducir los resultados en decisiones de proceso, diseño y garantía de calidad.

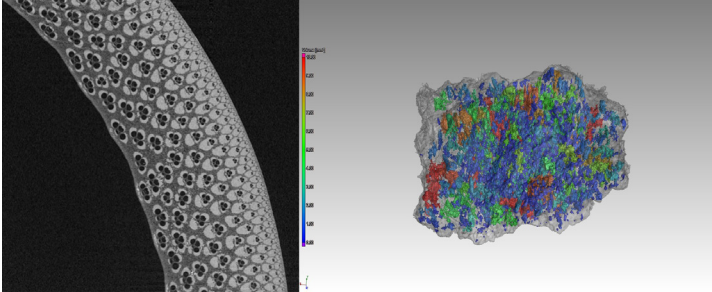


Figura 11. Fibra de Bambú (izquierda) y Muestra volcánica con análisis de inclusiones (derecha). (Autoría propia) Computarizada (central) e Impresión 3D (derecho). (Autoría propia)

### LIMA-DITCo: Infraestructura de frontera en la universidad pública

El Laboratorio de Innovación y Materiales Aplicados (LIMA-DITCo), de la BUAP, se ha consolidado como un nodo de servicios e investigación en tomografía computarizada y otros métodos de ensayo no destructivo. Esta infraestructura permite:

- Ofrecer servicios especializados a empresas que, de otro modo, tendrían que enviar sus muestras al extranjero para ser caracterizadas.
- Desarrollar proyectos de investigación aplicada en colaboración con la industria, en temas de diseño de materiales, análisis de fallas y optimización de procesos.
- Formar estudiantes de licenciatura y posgrado en el manejo e interpretación de técnicas avanzadas de caracterización, fortaleciendo el capital humano de la región.

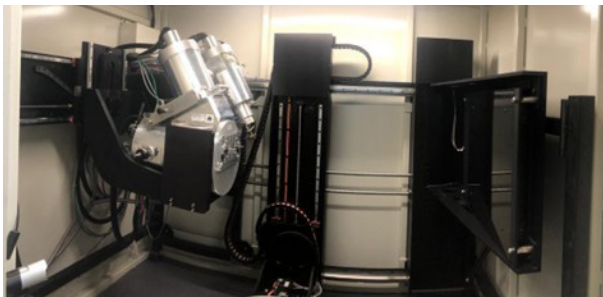


Figura 12. Tomógrafo Computarizado de fuente dual 225kV/450kV ubicado en LIMA-DITCo BUAP. (Autoría propia) Computarizada (central) e Impresión 3D (derecho). (Autoría propia)

A lo largo de casi diez años de operación, el trabajo del laboratorio ha trascendido el ámbito local: actualmente se tiene presencia en **13 estados de la República Mexicana**, a través de servicios, proyectos y colaboraciones con universidades, centros públicos de investigación, dependencias gubernamentales y empresas del sector productivo. Esta red de vinculación incluye tanto aliados industriales —como **Exponent Inc.**, firma internacional de análisis y peritaje técnico— como colaboraciones académicas y de patrimonio cultural con instituciones como el **Departamento de Antropología de las Américas de la Universidad de Bonn** (Alemania), la

**Dirección de Antropología Física del INAH** y el **Instituto de Investigaciones Antropológicas de la UNAM**.

Estas alianzas han permitido aplicar la tomografía computarizada no solo a componentes industriales, sino también al estudio de restos óseos, materiales arqueológicos, piezas de interés antropológico y materiales fosilizados, demostrando que la misma tecnología que sirve para inspeccionar una pieza automotriz puede aportar conocimiento sobre la historia biológica y cultural de las poblaciones humanas.



Figura 13. Vinculación pública y privada con LIMA-DITCo BUAP

## Conclusiones

La tomografía computarizada de rayos X se ha convertido en una herramienta indispensable para la industria moderna, en particular en sectores donde la seguridad, la confiabilidad y la precisión son innegociables (De Chiffre et al., 2014; Sharma, 2023). En un estado como Puebla, con una fuerte vocación manufacturera y una creciente diversificación hacia materiales avanzados y tecnologías emergentes, contar con capacidades de ensayo no destructivo de alto nivel deja de ser un lujo para convertirse en un factor de competitividad.

Al mismo tiempo, la existencia de laboratorios como LIMA-DITCo en la BUAP demuestra que la universidad pública puede desempeñar un

papel estratégico en la articulación entre ciencia, industria y patrimonio cultural. A través de la tomografía computarizada, no solo se observan poros, grietas o ensamblajes ocultos; también se visibiliza la importancia de invertir en infraestructura científica y en talento humano capaz de interpretar lo que esas imágenes revelan.

Ver por dentro, sin destruir, es una metáfora poderosa: la CT no solo permite entender mejor los materiales y productos, sino también imaginar una relación más estrecha entre investigación académica, innovación tecnológica, conservación del patrimonio y desarrollo industrial en Puebla (Bellens et al., 2024; X-ray computed tomography – materials science topic overview, 2023).

## Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de intereses relacionado con el contenido de este manuscrito.

## Declaración de privacidad

Los datos técnicos y la información complementaria asociada a este trabajo pueden ser proporcionados por el autor de correspondencia a solicitud justificada. Los datos personales de los autores se utilizarán exclusivamente con fines editoriales y no se compartirán con terceros.

**Los autores se descargan de responsabilidad** (INTELIGENCIA ARTIFICIAL) Los autores declaran por la presente que NO se han utilizado tecnologías de IA generativa, tales como modelos de lenguaje grandes (*ChatGPT, COPILOT, etc.*) y generadores de texto a imagen, durante la redacción o edición de este manuscrito.

## Agradecimientos

Se agradece el apoyo institucional de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, así como la colaboración de las dependencias y empresas que han participado en proyectos vinculados con el LIMA-DITCo.

## Referencias

- Abdollahi-Mamoudan, F., Ibarra-Castanedo, C., & Maldague, X. P. V. (2025). Non-destructive testing and evaluation of hybrid and advanced structures: A comprehensive review of methods, applications, and emerging trends. *Sensors*, 25(12), 3635. <https://doi.org/10.3390/s25123635>
- Applications of X-ray computed tomography in the geosciences. (2013). Geological Society, London, Special Publications, 215(1), 1–16. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2003.215.01.01>
- Bellens, S., et al. (2024). Machine learning in industrial X-ray computed tomography. *NDT & E International*, 143, 102804. <https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2023.102804>
- Carmignato, S., Dewulf, W., & Leach, R. (Eds.). (2018). *Industrial X-ray computed tomography*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-59573-3>
- De Chiffre, L., Carmignato, S., Kruth, J.-P., Schmitt, R., & Weckenmann, A. (2014). Industrial applications of computed tomography. *CIRP Annals*, 63(2), 655–677. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2014.05.011>
- Du Plessis, A., le Roux, S. G., & Guelpa, A. (2016). Comparison of medical and industrial X-ray computed tomography for non-destructive testing. *Case Studies in Nondestructive Testing and Evaluation*, 6, 17–25. <https://doi.org/10.1016/j.csndt.2016.07.001>
- Ghosh, T., Sarkar, S., Bhunia, S. S., & Hazra, G. C. (2023). Application of X-ray computed tomography in soil and plant research. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1216630. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1216630>
- International Atomic Energy Agency. (2008). *Industrial process gamma tomography (IAEA-TECDOC-1589)*. IAEA.
- International Atomic Energy Agency. (2020). *An introduction to practical industrial tomography techniques for non-destructive testing (NDT) (IAEA-TECDOC-1931)*. IAEA.
- Kalender, W. A. (2011). *Computed tomography: Fundamentals, system technology, image quality, applications (3rd ed.)*. Wiley-VCH.
- Lang, J. T., et al. (2023). X-ray tomography applied to electrochemical devices and materials. *Chemical Reviews*, 123(5), 3084–3141. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.2c00873>
- Martínez-García, J., et al. (2025). Applications of X-ray computed tomography technology in the characterization of phase change materials. *Energies*, 18(17), 4704. <https://doi.org/10.3390/en18174704>
- Olakanmi, E. O., et al. (2023). Applications of X-ray micro-computed tomography and small-angle X-ray scattering techniques in food systems: A concise review. *Journal of Food Engineering*, 342, 111355. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111355>
- Rigaku. (2022). *CT analysis software product review: VGSTUDIO*. Rigaku Corporation. <https://rigaku.com/products/imaging-ndt/x-ray-ct/learning/blog/ct-analysis-software-review-vgstudio>
- Sharma, K. (2023). Computed tomography (CT) for non-destructive evaluation: Enhancing inspection capabilities and 3D visualization. *European Chemical Bulletin*, 12(8), 2676–2691. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5156497>
- Sietins, J. M., et al. (2022). Material evaluation using X-ray computed tomography. In *Materials characterization using non-destructive evaluation (NDE) methods* (pp. 203–242). CRC Press.
- Sun, W., Brown, S. B., & Leach, R. K. (2012). An overview of industrial X-ray computed tomography (NPL Report ENG 32). National Physical Laboratory.
- Volume Graphics. (2023a). *VGSTUDIO MAX – Analysis and visualization of CT data*. Volume Graphics/Hexagon. <https://volumegraphics.hexagon.com/en/products/vgstudio-max.html>
- Volume Graphics. (2023b). *VGMETROLOGY – CT-based metrology software*. Volume Graphics/Hexagon. <https://volumegraphics.hexagon.com/en/products/vgmetrology.html>
- Volume Graphics. (2023c). *Volume Graphics product family overview*. Volume Graphics / Exact Metrology. <https://www.exactmetrology.com/product/volumegraphics/>
- X-ray computed tomography – Materials science topic overview. (2023). ScienceDirect Topics. Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/x-ray-computed-tomography>