

MENÚ INTERACTIVO

Nuevas metodologías y tecnologías alternativas para la investigación y docencia en las ciencias biomédicas

Ver portada

CATÁLOGO 5 | MENÚ DE INFOGRAFÍAS

Haz clic en una imagen o en su título para abrir la infografía.

### ORGANOIDES HUMANOS

Modelos de células y tejidos humanos

CULTIVOS 3D PARA UNA INVESTIGACIÓN MÁS HUMANA

#### INFORMACIÓN GENERAL

**NOMBRE COMÚN**  
Organoides humanos.

**TIPO DE MODELO**  
Cultivos tridimensionales in vitro.

**ORIGEN CELULAR**  
Células madre adultas o pluripotentes, incluidas iPSC.

**BASE CIENTÍFICA**  
Autoorganización y diferenciación celular.

**CARACTERÍSTICAS**  
Reproducen rasgos de arquitectura y función de un tejido, permiten modelos derivados de pacientes.

#### USOS FUNDAMENTALES EN LA INVESTIGACIÓN

**DESARROLLO HUMANO**  
Diferenciación y organización de tejidos.

**MODELO DE ENFERMEDADES**  
Estudio de rasgos genéticos y tisulares.

**NUTRICIÓN**  
Respuesta a nutrientes y componentes alimentarios.

**BARRERA INTESTINAL**  
Transporte y función del epitelio.

**ONCOLOGÍA**  
Modelos tumorales derivados de pacientes.

**FARMACOLOGÍA**  
Evaluación de respuesta a tratamientos.

**NEUROCIENCIA**  
Modelos de desarrollo y enfermedad cerebral.

**SEGURIDAD ALIMENTARIA**  
Evaluación experimental de sustancias y productos.

#### IMPORTANCIA EN LA INVESTIGACIÓN

Aportan un entorno humano para estudiar desarrollo, enfermedad y respuesta a sustancias. Pueden contribuir al reemplazo o la reducción de animales en unos estudios. El artículo de Cáceres estudia tejido cerebral 3D bioingenierado: es un modelo humano relevante, distinto de un organismo autoorganizado.

#### DATOS GENERALES

**Organización:** Tridimensional y autorganizada.

**Soporte:** Matriz o hidrogel, según protocolo.

**Reacción:** Medio y factores de crecimiento.

**Ejemplos:** Intestinales, hepáticos y renales.

**Limitaciones:** Imagen, viabilidad y biomarcadores.

**Variables:** Variable según tipo y cultivo.

**Control:** Identidad, función y reproducibilidad.

**Limites:** Maduración y vascularización incompletas.

#### APLICACIONES EN DIVERSAS ÁREAS

Imagenación | Toxicología | Farmacología | Neurociencia

#### REFERENCIAS

1. García JM, et al. Human based test approach methodologies to accelerate advances in nutrition research. *Food Res*. 2023;10(2):262-265.

2. Cáceres JM, et al. Reprograming human pluripotent stem cells into human brain tissue model. *Sci Signal*. 2020;13:eab4370. doi:10.1126/scisignal.abd4370.

3. Cáceres JM. Modeling Development and Disease with Organoids. *Cell*. 2018;185:108-107. doi:10.1016/j.cell.2018.08.002.

Organoides humanos

### ÓRGANOS EN CHIP

Sistemas microfluídicos

REPRODUCIR FUNCIONES TISULARES EN MICRODISPOSITIVOS

#### INFORMACIÓN GENERAL

**NOMBRE COMÚN**  
Órganos en chip o sistemas microfluídicos.

**TIPO DE ALTERNATIVA**  
Plataforma in vitro con microingeniería.

**BASE CIENTÍFICA**  
Combina células, flujo y señales físicas.

**ENFOQUES**  
Pulmón, hígado, intestino y sistemas conectados.

**CARACTERÍSTICAS**  
Reproduce funciones seleccionadas, no un órgano completo.

#### USOS EN INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA

**BARRERAS**  
Medir permeabilidad de interfaces.

**TOXICOLOGÍA**  
Explorar efectos en tejidos.

**FÁRMACOS**  
Examinar respuesta a compuestos.

**INFLAMACIÓN**  
Modelar interacciones celulares.

**COMPARACIÓN**  
Contrastar sistemas celulares.

**DOCENCIA**  
Visualizar función y microfluídica.

**BIOTERIO Y 3R**  
Reemplazo de etapas específicas si se valida.

#### IMPORTANCIA EN LA INVESTIGACIÓN

Permiten explorar barreras, exposición y respuestas tisulares en condiciones controladas. Pueden incorporar células humanas o de roedores. Su contribución a las 3R depende de la pregunta, el origen celular y la validación frente a referencias relevantes.

#### DATOS GENERALES

**Entorno:** Células, medio y dispositivo.

**Resultado:** Respuestas funcionales del tejido.

**Modelo material:** Microcanales y soporte celular.

**Equipos:** Bombas y sistemas de lectura.

**Control:** Viabilidad y función basal.

**Limites:** Control del flujo y materiales.

**Limites:** Madurar y complejidad limitada.

#### APLICACIONES EN DIVERSAS ÁREAS

Microfluídica | Toxicología | Farmacología | Tejidos | 3R

#### REFERENCIAS

1. Huh D, et al. Reconstituting organ-on-a-chip. *Science*. 2010;328:1662-6. PMID:20516885.

2. Mitsuhashi K, et al. Microfluidic organ-on-a-chip: human-on-a-chip. *Nat Rev Microbiol*. 2014;12:773-85. doi:10.1038/nrm3298.

3. Murphy SV, et al. 3D bioprinting of tissues and organs. *Nat Biotechnol*. 2014;32:773-85. doi:10.1038/nrm3298.

Órganos en chip

### BIOIMPRESIÓN 3D

Fabricación de constructos celulares

ORGANIZAR CÉLULAS Y BIOMATERIALES EN TRES DIMENSIONES

#### INFORMACIÓN GENERAL

**NOMBRE COMÚN**  
Bioimpresión tridimensional de tejidos.

**TIPO DE ALTERNATIVA**  
Tecnología de fabricación de modelos in vitro.

**BASE CIENTÍFICA**  
Deposición espacial de biotintas con células.

**ENFOQUES**  
Extrusión y otros procesos de impresión celular.

**CARACTERÍSTICAS**  
Equilibra viabilidad, resolución y estabilidad.

#### USOS EN INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA

**TEJIDOS**  
Ordenar células en un volumen.

**HÍGADO**  
Explorar modelos con hepatocitos.

**TOXICOLOGÍA**  
Evaluar respuestas en cultivos 3D.

**FÁRMACOS**  
Comparar tratamientos in vitro.

**MATERIALES**  
Estudiar compatibilidad de biotintas.

**REPRODUCIBILIDAD**  
Registrar geometría y composición.

**DOCENCIA**  
Integrar diseño, células e ingeniería.

**BIOTERIO Y 3R**  
Realizar modelos celulares bien caracterizados.

#### IMPORTANCIA EN LA INVESTIGACIÓN

Permite construir modelos con arquitectura definida para estudiar tejidos y tratamientos. Se han investigado estructuras impresas con hepatocitos de ratón. No equivale a fabricar órganos completos funcionales; el origen de células y matriz condiciona el reemplazo animal.

#### DATOS GENERALES

**Entorno:** Células, biotinta y diseño 3D.

**Resultado:** Constructos celular tridimensional.

**Modelo material:** Hidrogel y células seleccionadas.

**Equipos:** Bioimpresora e incubación.

**Control:** Viabilidad y función después de imprimir.

**Limites:** Composición y condiciones del proceso.

**Limites:** Vascularización y maduración limitadas.

#### APLICACIONES EN DIVERSAS ÁREAS

Biotecnología | Tejidos | Cultivo 3D | Ingeniería | 3R

#### REFERENCIAS

1. Three-dimensional (3D) printing of human primary hepatocytes to generate 3D hepatic structure. *PLoS*. 2017; PMID:28233333.

2. Murphy SV, et al. 3D bioprinting of tissues and organs. *Nat Biotechnol*. 2014;32:773-85. doi:10.1038/nrm3298.

3. Huh D, et al. Reconstituting organ-on-a-chip. *Science*. 2010;328:1662-6. PMID:20516885.

Bioimpresión 3D

### INTELIGENCIA ARTIFICIAL PREDICTIVA

Aprendizaje automático

INTEGRAR DATOS PARA PRIORIZAR HIPÓTESIS

#### INFORMACIÓN GENERAL

**NOMBRE COMÚN**  
IA predictiva aplicada a biomedicina.

**TIPO DE ALTERNATIVA**  
Tecnología in silico basada en datos.

**BASE CIENTÍFICA**  
Aprendizaje automático asociado con resultados medidos.

**ENFOQUES**  
Redes neuronales y otros modelos supervisados.

**CARACTERÍSTICAS**  
Necesita validación externa y control de sesgos.

#### USOS EN INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA

**TOXICOLOGÍA**  
Predecir respuestas definidas.

**FÁRMACOS**  
Ordenar candidatos por prioridad.

**IMÁGENES**  
Clasificar características observables.

**PATRONES**  
Explorar relaciones entre variables.

**DATOS HISTÓRICOS**  
Aprovechar evidencia disponible.

**INTERPRETACIÓN**  
Examinar variables relevantes.

**DOCENCIA**  
Enseñar sesgo y validación.

**BIOTERIO Y 3R**  
Apoyar decisiones sobre nuevos experimentos.

#### IMPORTANCIA EN LA INVESTIGACIÓN

Puede apoyar la selección de sustancias y el análisis de datos existentes antes de nuevos estudios. Los datos de rata, ratón o cerdo deben distinguirse por especie y contexto. Una buena predicción interna no garantiza utilidad en otra población ni reemplazo regulatorio.

#### DATOS GENERALES

**Entorno:** Datos químicos o biológicos.

**Resultado:** Clasificación o respuesta de respuesta.

**Modelo material:** Conjunto de entrenamiento y prueba.

**Equipos:** Software y recursos de cómputo.

**Control:** Separación de datos y validación externa.

**Limites:** Inestabilidad y variabilidad.

**Limites:** Sesgo y cambio de dominio.

#### APLICACIONES EN DIVERSAS ÁREAS

Bioinformática | Toxicología | Datos | Validación | 3R

#### REFERENCIAS

1. May A, et al. DeepTox: Toxicity Prediction using Deep Learning. *Front Environ Sci*. 2018;6:380. doi:10.3389/fenvs.2018.00088.

2. OECD. OECD Assessment Framework. Second edition. 2018. doi:10.1787/9789264081400-en.

3. Xu H, et al. Compound cytotoxicity profiling using quantitative high-throughput screening. *Environ Health Perspect*. 2008; PMID:184235061.

Inteligencia artificial predictiva

### REALIDAD VIRTUAL Y AUMENTADA

Aprendizaje interactivo en el bioterio

PREPARAR HABILIDADES EN ENTORNOS DIGITALES

#### INFORMACIÓN GENERAL

**NOMBRE COMÚN**  
Realidad virtual (RV) y aumentada (RA).

**TIPO DE ALTERNATIVA**  
Tecnología digital de enseñanza y simulación.

**BASE CIENTÍFICA**  
RV: inmersión RA: información sobre el entorno real.

**ENFOQUES**  
Videos 360°, anatomía interactiva y tareas virtuales.

**CARACTERÍSTICAS**  
Permite repetir escenarios y recibir retroalimentación.

#### USOS EN INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA

**BIOSSEGURIDAD**  
Explorar reglas del entorno.

**ANATOMÍA**  
Examinar modelos tridimensionales.

**PREPARACIÓN**  
Reconocer equipo y secuencias.

**OBSERVACIÓN**  
Revisar demostraciones grabadas.

**ESCENARIOS**  
Practicar decisiones en simulación.

**EVALUACIÓN**  
Identificar errores de comprensión.

**ACCESIBILIDAD**  
Repetir contenidos a distinto ritmo.

**BIOTERIO Y 3R**  
Reducir demostraciones con animales vivos.

#### IMPORTANCIA EN LA INVESTIGACIÓN

Los módulos virtuales pueden preparar al personal y sustituir algunas demostraciones repetitivas con roedores. La evidencia citada se centra en RV. La RA es una modalidad relacionada cuya eficacia debe evaluarse por separado: ambas requieren objetivos y seguimiento del aprendizaje.

#### DATOS GENERALES

**Entorno:** Contenido validado y escenario.

**Resultado:** Aprendizaje y desempeño evaluados.

**Modelo material:** Módulos 3D o videos 360°.

**Equipos:** Visor, pantalla o dispositivo móvil.

**Control:** Revisión de contenido por especialistas.

**Limites:** Evaluación antes y después.

**Limites:** Texto limitado y posible incomodidad.

#### APLICACIONES EN DIVERSAS ÁREAS

Docencia | Bioterio | Anatomía | Simulación | 3R

#### REFERENCIAS

1. Lemos M, et al. Virtual Reality in Biomedical Education in the time of the 3Rs. *Lab Anim*. 2023;57:1049-50. doi:10.1177/0950767123118271.

2. Experimental learning with virtual reality: general handling training. *Innovation and Education*. 2020; doi:10.1155/2020/4261009-9.

3. Alternatives in Education: Rat and Mouse Simulation Evaluated From Course Trainers' and Supervisors' Perspectives. *Animals*. 2021; PMID:34206243.

Realidad virtual y aumentada

### GEMELOS DIGITALES

Modelos individualizados y actualizables

SIMULAR ESCENARIOS CON DATOS DEL SISTEMA REAL

#### INFORMACIÓN GENERAL

**NOMBRE COMÚN**  
Gemelo digital biomédico.

**TIPO DE ALTERNATIVA**  
Modelo computacional vinculado a un sistema real.

**BASE CIENTÍFICA**  
Integra estructura, fisiología y datos observados.

**ENFOQUES**  
Modelos mecanísticos y métodos basados en datos.

**CARACTERÍSTICAS**  
Se actualiza con información del sistema representado.

#### USOS EN INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA

**FISIOLOGÍA**  
Integrar estructura y función.

**SIMULACIÓN**  
Explorar cambios de condiciones.

**HIPOTESIS**  
Anticipar respuestas plausibles.

**DISEÑO**  
Comparar escenarios experimentales.

**SEGUIMIENTO**  
Actualizar parámetros con nuevos datos.

**INTEGRACIÓN**  
Combinar múltiples mediciones.

**DOCENCIA**  
Visualizar relaciones dinámicas.

**BIOTERIO Y 3R**  
Aplicación potencial sujeta a validación.

#### IMPORTANCIA EN LA INVESTIGACIÓN

Permite explorar escenarios antes de intervenir sobre un sistema real. La referencia principal trata cardiología humana; su adaptación a roedores requiere datos y validación específicos. Un modelo 3D validado no es necesariamente un gemelo digital.

#### DATOS GENERALES

**Entorno:** Imágenes y mediciones del sistema.

**Resultado:** Escenarios y respuestas simuladas.

**Modelo material:** Modelos culturales e individualizados.

**Equipos:** Computo y flujo de actualización.

**Control:** Comparación con datos independientes.

**Limites:** Cuantificación de incertidumbre.

**Limites:** No garantiza protección individual.

#### APLICACIONES EN DIVERSAS ÁREAS

Modelado | Fisiología | Datos | Investigación | 3R

#### REFERENCIAS

1. Corral-Acero J, et al. The "Digital Twin" to model the onset of precocious puberty. *Eur Heart J*. 2020; doi:10.1093/eurheartj/ehaa159.

2. OECD. OECD Assessment Framework. Second edition. 2018. doi:10.1787/9789264081400-en.

3. May A, et al. DeepTox: Toxicity Prediction using Deep Learning. *Front Environ Sci*. 2018;6:380. doi:10.3389/fenvs.2018.00088.

Gemelos digitales

BIOTERIO UAEH • 2026

# Nuevas metodologías y tecnologías alternativas para la investigación y docencia en las ciencias biomédicas

Innovación para investigar, aprender y modelar

- ◆ Órganos en chip
- ◆ Bioimpresión 3D
- ◆ Inteligencia artificial
- ◆ Realidad virtual
- ◆ Gemelos digitales

CATÁLOGO 5

[Volver al menú](#)

[CATÁLOGO 5](#) · [Portada](#) · [Catálogo 5](#)



## DIRECCIÓN DE BIOTERIO



# INNOVACIÓN BIOMÉDICA

PARA UN FUTURO MÁS HUMANO EN LA CIENCIA



Microfluídica



Biofabricación



IA



Inmersión

[Anterior](#)

[Siguiente](#)

# ORGANOIDES HUMANOS

Modelos de células y tejidos humanos

CULTIVOS 3D PARA UNA INVESTIGACIÓN MÁS HUMANA



## IMPORTANCIA EN LA INVESTIGACIÓN

Aportan un entorno humano para estudiar desarrollo, enfermedad y respuesta a sustancias. Pueden contribuir al reemplazo o la reducción de animales en usos validados. El artículo de Cairns estudia tejido cerebral 3D bioingenierizado: es un modelo humano relacionado, distinto de un organoide autoorganizado.



## INFORMACIÓN GENERAL



### NOMBRE COMÚN

Organoides humanos.



### TIPO DE MODELO

Cultivos tridimensionales *in vitro*.



### ORIGEN CELULAR

Células madre adultas o pluripotentes, incluidas iPSC.



### BASE CIENTÍFICA

Autoorganización y diferenciación celular.



### CARACTERÍSTICAS

Reproducen rasgos de arquitectura y función de un tejido; permiten modelos derivados de pacientes.



## USOS FUNDAMENTALES EN LA INVESTIGACIÓN



### DESARROLLO HUMANO

Diferenciación y organización de tejidos.



### MODELADO DE ENFERMEDADES

Estudio de rasgos genéticos y tisulares.



### NUTRICIÓN

Respuesta a nutrientes y componentes alimentarios.



### BARRERA INTESTINAL

Transporte y función del epitelio.



### ONCOLOGÍA

Modelos tumorales derivados de pacientes.



### FARMACOLOGÍA

Evaluación de respuesta a tratamientos.



### NEUROCIENCIA

Modelos de desarrollo y enfermedad cerebral.



### SEGURIDAD ALIMENTARIA

Evaluación experimental de sustancias y productos.

## DATOS GENERALES



### Organización

Tridimensional y autoorganizada



### Soporte

Matriz o hidrogel, según protocolo



### Nutrición

Medio y factores de crecimiento



### Ejemplos

Intestinales, hepáticos y cerebrales



### Lecturas

Imagen, viabilidad y biomarcadores



### Duración

Variable según tejido y cultivo



### Control

Identidad, función y reproducibilidad



### Límites

Maduración y vascularización incompletas

## APLICACIONES EN DIVERSAS ÁREAS



Nutrición



Genética



Oncología



Farmacología



Neurociencia



## ARTÍCULOS DE INTERÉS

Cassotta et al. (2024)

Organoides y nutrición  
doi:10.1002/fft2.369



Escanea para consultar la fuente.

Cairns et al. (2025)

Tejido cerebral humano 3D  
doi:10.1126/scisignal.ado6430



Escanea para consultar la fuente.



## REFERENCIAS

- Cassotta M, et al. Human-based new approach methodologies to accelerate advances in nutrition research. *Food Front.* 2024;5:1031-1062. doi:10.1002/fft2.369.
- Cairns DM, et al. Repetitive injury induces phenotypes associated with Alzheimer's disease by reactivating HSV-1 in a human brain tissue model. *Sci Signal.* 2025;18:eado6430. doi:10.1126/scisignal.ado6430.
- Clevers H. Modeling Development and Disease with Organoids. *Cell.* 2016;165:1586-1597. doi:10.1016/j.cell.2016.05.082.

# ÓRGANOS EN CHIP

## Sistemas microfisiológicos

REPRODUCIR FUNCIONES TISULARES EN MICRODISPOSITIVOS

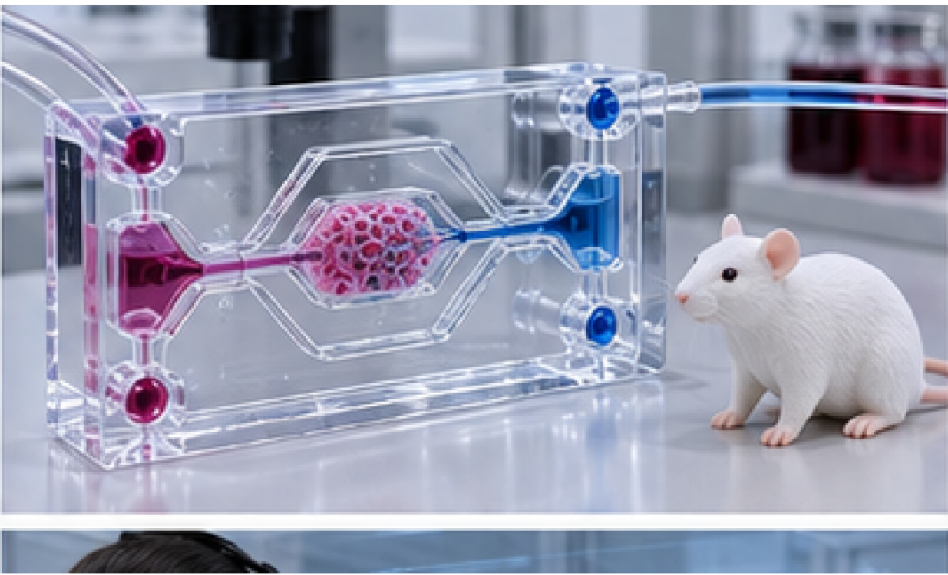


Ilustración conceptual de bioterio y modelos alternativos

### IMPORTANCIA EN LA INVESTIGACIÓN

Permiten explorar barreras, exposición y respuestas tisulares en condiciones controladas. Pueden incorporar células humanas o de roedores. Su contribución a las 3R depende de la pregunta, el origen celular y la validación frente a referencias relevantes.

### APLICACIONES EN DIVERSAS ÁREAS

Microfluídica | Toxicología | Farmacología | Tejidos | 3R

### REFERENCIAS

1. Huh D, et al. Reconstituting organ-level lung functions on a chip. Science. 2010;328:1662-8. PMID:20576885.  
2. NIEHS/NICEATM. Microphysiological Systems (MPS). Recurso técnico sobre sistemas microfisiológicos y evaluación de métodos.  
3. Murphy SV, Atala A. 3D bioprinting of tissues and organs. Nat Biotechnol. 2014;32:773-85. doi:10.1038/nbt.2958.

### INFORMACIÓN GENERAL



#### NOMBRE COMÚN

Órganos en chip o sistemas microfisiológicos.



#### TIPO DE ALTERNATIVA

Plataforma in vitro con microingeniería.



#### BASE CIENTÍFICA

Combina células, flujo y señales físicas.



#### ENFOQUES

Pulmón, hígado, intestino y sistemas conectados.



#### CARACTERÍSTICAS

Reproduce funciones seleccionadas, no un órgano completo.

### USOS EN INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA



#### BARRERAS

Medir permeabilidad de interfaces.



#### TOXICOLOGÍA

Explorar efectos en tejidos.



#### FÁRMACOS

Examinar respuesta a compuestos.



#### INFLAMACIÓN

Modelar interacciones celulares.



#### MECÁNICA

Estudiar flujo y deformación.



#### COMPARACIÓN

Contrastar sistemas celulares.



#### DOCENCIA

Visualizar función y microfluídica.



#### BIOTERIO Y 3R

Reemplazo de etapas específicas si se valida.

### DATOS GENERALES

|                   |                                   |
|-------------------|-----------------------------------|
| Entrada           | Células, medio y dispositivo      |
| Resultado         | Respuestas funcionales del tejido |
| Modelo / material | Microcanales y soporte celular    |
| Equipo            | Bombas y sistemas de lectura      |
| Control           | Viabilidad y función basal        |
| Calidad           | Control del flujo y materiales    |
| Límite            | Madurez y complejidad limitadas   |

### ARTÍCULO DE INTERÉS



Huh et al. (2010)  
Funciones pulmonares reproducidas en un chip.

Escanea el QR para consultar la fuente.

# BIOIMPRESIÓN 3D

## Fabricación de constructos celulares

ORGANIZAR CÉLULAS Y BIOMATERIALES EN TRES DIMENSIONES



Ilustración conceptual de bioterio y modelos alternativos

## IMPORTANCIA EN LA INVESTIGACIÓN

Permite construir modelos con arquitectura definida para estudiar tejidos y tratamientos. Se han investigado estructuras impresas con hepatocitos de ratón. No equivale a fabricar órganos completos funcionales; el origen de células y matriz condiciona el reemplazo animal.

## APLICACIONES EN DIVERSAS ÁREAS

Biofabricación | Tejidos | Cultivo 3D | Ingeniería | 3R

## REFERENCIAS

1. Three-dimensional (3D) printing of mouse primary hepatocytes to generate 3D hepatic structure. 2017. PMID:28203553.
2. Murphy SV, Atala A. 3D bioprinting of tissues and organs. Nat Biotechnol. 2014;32:773-85. doi:10.1038/nbt.2958.
3. Huh D, et al. Reconstituting organ-level lung functions on a chip. Science. 2010;328:1662-8. PMID:20576885.

## INFORMACIÓN GENERAL



### NOMBRE COMÚN

Bioimpresión tridimensional de tejidos.



### TIPO DE ALTERNATIVA

Tecnología de fabricación de modelos in vitro.



### BASE CIENTÍFICA

Deposición espacial de biotintas con células.



### ENFOQUES

Extrusión y otros procesos de impresión celular.



### CARACTERÍSTICAS

Equilibra viabilidad, resolución y estabilidad.

## USOS EN INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA



### TEJIDOS

Ordenar células en un volumen.



### HÍGADO

Explorar modelos con hepatocitos.



### TOXICOLOGÍA

Evaluar respuestas en cultivos 3D.



### FÁRMACOS

Comparar tratamientos in vitro.



### MATERIALES

Estudiar compatibilidad de biotintas.



### REPRODUCIBILIDAD

Registrar geometría y composición.



### DOCENCIA

Integrar diseño, células e ingeniería.



### BIOTERIO Y 3R

Reutilizar modelos celulares bien caracterizados.

## DATOS GENERALES

|                   |                                          |
|-------------------|------------------------------------------|
| Entrada           | Células, biotinta y diseño 3D            |
| Resultado         | Constructo celular tridimensional        |
| Modelo / material | Hidrogeles y células seleccionadas       |
| Equipo            | Bioimpresora e incubación                |
| Control           | Viabilidad y función después de imprimir |
| Calidad           | Composición y condiciones del proceso    |
| Límite            | Vascularización y maduración limitadas   |

## ARTÍCULO DE INTERÉS



Estudio experimental (2017)  
Impresión 3D de hepatocitos  
primarios de ratón.

Escanea el QR para consultar la fuente.

# INTELIGENCIA ARTIFICIAL PREDICTIVA

Aprendizaje automático

INTEGRAR DATOS PARA PRIORIZAR HIPÓTESIS



Ilustración conceptual de bioterio y modelos alternativos

## IMPORTANCIA EN LA INVESTIGACIÓN

Puede apoyar la selección de sustancias y el análisis de datos existentes antes de nuevos estudios. Los datos de rata, ratón o gerbo deben distinguirse por especie y contexto. Una buena predicción interna no garantiza utilidad en otra población ni reemplazo regulatorio.

## APLICACIONES EN DIVERSAS ÁREAS

Bioinformática | Toxicología | Datos | Validación | 3R

## REFERENCIAS

1. Mayr A, et al. DeepTox: Toxicity Prediction using Deep Learning. Front Environ Sci. 2016;3:80. doi:10.3389/fenvs.2015.00080.
2. OECD. (Q)SAR Assessment Framework. Second edition. 2024. doi:10.1787/bbdac345-en.
3. Xia M, et al. Compound cytotoxicity profiling using quantitative high-throughput screening. Environ Health Perspect. 2008. PMID:PMC2265061.

## INFORMACIÓN GENERAL



### NOMBRE COMÚN

IA predictiva aplicada a biomedicina.



### TIPO DE ALTERNATIVA

Tecnología in silico basada en datos.



### BASE CIENTÍFICA

Aprende patrones asociados con resultados medidos.



### ENFOQUES

Redes neuronales y otros modelos supervisados.



### CARACTERÍSTICAS

Necesita validación externa y control de sesgos.

## USOS EN INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA



### TOXICOLOGÍA

Predecir respuestas definidas.



### FÁRMACOS

Ordenar candidatos por prioridad.



### IMÁGENES

Clasificar características observables.



### PATRONES

Explorar relaciones entre variables.



### DATOS HISTÓRICOS

Aprovechar evidencia disponible.



### INTERPRETACIÓN

Examinar variables relevantes.



### DOCENCIA

Enseñar sesgo y validación.



### BIOTERIO Y 3R

Apoyar decisiones sobre nuevos experimentos.

## DATOS GENERALES

|                   |                                          |
|-------------------|------------------------------------------|
| Entrada           | Datos químicos o biológicos              |
| Resultado         | Clasificación o estimación de respuesta  |
| Modelo / material | Conjuntos de entrenamiento y prueba      |
| Equipo            | Software y recursos de cómputo           |
| Control           | Separación de datos y validación externa |
| Calidad           | Incertidumbre y trazabilidad             |
| Límite            | Sesgo y cambio de dominio                |

## ARTÍCULO DE INTERÉS



Mayr et al. (2016)  
DeepTox: predicción de toxicidad con aprendizaje profundo.

Escanea el QR para consultar la fuente.

# REALIDAD VIRTUAL Y AUMENTADA

*Aprendizaje inmersivo en el bioterio*

PREPARAR HABILIDADES EN ENTORNOS DIGITALES



Ilustración conceptual de bioterio y modelos alternativos

## IMPORTANCIA EN LA INVESTIGACIÓN

Los módulos virtuales pueden preparar al personal y sustituir algunas demostraciones repetidas con roedores. La evidencia citada se centra en RV. La RA es una modalidad relacionada cuya eficacia debe evaluarse por separado; ambas requieren objetivos y seguimiento del aprendizaje.

## APLICACIONES EN DIVERSAS ÁREAS

Docencia | Bioterio | Anatomía | Simulación | 3R

## REFERENCIAS

1. Lemos M, et al. Virtual Reality in Biomedical Education in the sense of the 3Rs. Lab Anim. 2023;57:160-9. doi:10.1177/00236772221128127.
2. Experiential learning with virtual reality: animal handling training. Innovation and Education. 2020. doi:10.1186/s42862-020-00007-3.
3. Alternatives in Education: Rat and Mouse Simulators Evaluated from Course Trainers' and Supervisors' Perspective. Animals. 2021. PMID:34206243.

## INFORMACIÓN GENERAL



### NOMBRE COMÚN

Realidad virtual (RV) y aumentada (RA).



### TIPO DE ALTERNATIVA

Tecnología digital de enseñanza y simulación.



### BASE CIENTÍFICA

RV: inmersión; RA: información sobre el entorno real.



### ENFOQUES

Videos 360°, anatomía interactiva y tareas virtuales.



### CARACTERÍSTICAS

Permite repetir escenarios y recibir retroalimentación.

## USOS EN INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA



### BIOSEGURIDAD

Explorar reglas del entorno.



### ANATOMÍA

Examinar modelos tridimensionales.



### PREPARACIÓN

Reconocer equipo y secuencias.



### OBSERVACIÓN

Revisar demostraciones grabadas.



### ESCENARIOS

Practicar decisiones en simulación.



### EVALUACIÓN

Identificar errores de comprensión.



### ACCESIBILIDAD

Repetir contenidos a distinto ritmo.



### BIOTERIO Y 3R

Reducir demostraciones con animales vivos.

## DATOS GENERALES

|                   |                                         |
|-------------------|-----------------------------------------|
| Entrada           | Contenido validado y escenario          |
| Resultado         | Aprendizaje y desempeño evaluados       |
| Modelo / material | Modelos 3D o videos 360°                |
| Equipo            | Visor, pantalla o dispositivo móvil     |
| Control           | Revisión de contenido por especialistas |
| Calidad           | Evaluación antes y después              |
| Límite            | Tacto limitado y posible incomodidad    |

## ARTÍCULO DE INTERÉS



Lemos et al. (2023)  
Realidad virtual en educación biomédica y las 3R.

Escanea el QR para consultar la fuente.

# GEMELOS DIGITALES

Modelos individualizados y actualizables

SIMULAR ESCENARIOS CON DATOS DEL SISTEMA REAL



Ilustración conceptual de bioterio y modelos alternativos

## IMPORTANCIA EN LA INVESTIGACIÓN

Permite explorar escenarios antes de intervenir sobre un sistema real. La referencia principal trata cardiología humana; su adaptación a roedores requiere datos y validación específicos. Un modelo 3D aislado no es necesariamente un gemelo digital.

## APLICACIONES EN DIVERSAS ÁREAS

Modelado | Fisiología | Datos | Investigación | 3R

## REFERENCIAS

1. Corral-Acero J, et al. The “Digital Twin” to enable the vision of precision cardiology. Eur Heart J. 2020. doi:10.1093/eurheartj/ehaa159.  
2. OECD. (Q)SAR Assessment Framework. Second edition. 2024. doi:10.1787/bbdac345-en.  
3. Mayr A, et al. DeepTox: Toxicity Prediction using Deep Learning. Front Environ Sci. 2016;3:80. doi:10.3389/fenvs.2015.00080.

## INFORMACIÓN GENERAL



### NOMBRE COMÚN

Gemelo digital biomédico.



### TIPO DE ALTERNATIVA

Modelo computacional vinculado a un sistema real.



### BASE CIENTÍFICA

Integra estructura, fisiología y datos observados.



### ENFOQUES

Modelos mecánicos y métodos basados en datos.



### CARACTERÍSTICAS

Se actualiza con información del sistema representado.

## USOS EN INVESTIGACIÓN Y DOCENCIA



### FISIOLOGÍA

Integrar estructura y función.



### SIMULACIÓN

Explorar cambios de condiciones.



### HIPÓTESIS

Anticipar respuestas plausibles.



### DISEÑO

Comparar escenarios experimentales.



### SEGUIMIENTO

Actualizar parámetros con nuevos datos.



### INTEGRACIÓN

Combinar múltiples mediciones.



### DOCENCIA

Visualizar relaciones dinámicas.



### BIOTERIO Y 3R

Aplicación potencial sujeta a validación.

## DATOS GENERALES

|                   |                                      |
|-------------------|--------------------------------------|
| Entrada           | Imágenes y mediciones del sistema    |
| Resultado         | Escenarios y respuestas simuladas    |
| Modelo / material | Modelo calibrado e individualizado   |
| Equipo            | Cómputo y flujo de actualización     |
| Control           | Comparación con datos independientes |
| Calidad           | Cuantificación de incertidumbre      |
| Límite            | No garantiza predicción individual   |

## ARTÍCULO DE INTERÉS



Corral-Acero et al. (2020)  
Gemelos digitales para cardiología de precisión.

Escanea el QR para consultar la fuente.