

Tarea de Iniciación a la Investigación: Resumen  
del artículo de Wang et al. sobre electrónica  
flexible multilámina

Estela Manso García

Diciembre 2025

## Índice

|          |  |          |
|----------|--|----------|
| <b>1</b> | <b>Introducción</b>                            | <b>3</b> |
| 1.1      | Definición . . . . .                           | 3        |
| 1.2      | Ventajas y límites técnicos . . . . .          | 3        |
| <b>2</b> | <b>Procesos de fabricación</b>                 | <b>4</b> |
| 2.1      | Microfabricación directa capa a capa . . . . . | 4        |
| 2.2      | <i>Transfer printing</i> secuencial . . . . .  | 4        |
| <b>3</b> | <b>Aplicaciones</b>                            | <b>4</b> |
| 3.1      | Optoelectrónica . . . . .                      | 4        |
| 3.2      | Robótica . . . . .                             | 5        |
| 3.3      | Biomedicina . . . . .                          | 5        |
| 3.4      | Energía y sistemas autónomos . . . . .         | 5        |
| <b>4</b> | <b>Líneas futuras</b>                          | <b>6</b> |

## Índice de cuadros

|   |   |   |
|---|---|---|
| 1 | Resumen general del artículo de Wang et al. sobre electrónica flexible multilámina. . . . . | 3 |
|---|---|---|

## Índice de ecuaciones

|   |  |   |
|---|--|---|
| 1 | Potencia eléctrica instantánea de un generador triboeléctrico. . . . . | 5 |
|---|--|---|

## 1. Introducción

|                    |   |
|--------------------|---|
| Título             | Multilayer flexible electronics: Manufacturing approaches and applications  |
| Autores            | Y. Wang, C. Xu, X. Yu, H. Zhang, M. Han   |
| Revista            | Materials Today Physics   |
| Año                | 2022  |
| Volumen / Artículo | 23 / 100647   |
| DOI                | 10.1016/j.mtphys.2022.100647  |
| Palabras clave     | Flexible electronics; Optoelectronics; Biomedicine; Robotics; Energy devices  |
| Tema principal     | Revisión de esquemas de fabricación (microfabricación directa, transfer printing, screen printing, FPCB, etc.) y aplicaciones de la electrónica flexible multilámina en optoelectrónica, robótica, biomedicina y dispositivos de energía. |

Cuadro 1: Resumen general del artículo de Wang et al. sobre electrónica flexible multilámina.

### 1.1. Definición

Las electrónicas flexibles integran sensores, actuadores y circuitos sobre sustratos poliméricos flexibles o elásticos, logrando portabilidad, biocompatibilidad y estabilidad mecánica para usos en sensores químicos/biológicos, HCI, e-skins y pantallas; el salto a arquitecturas multicapa supera límites de integración, resolución y personalización del formato monolayer al explotar el eje vertical. Estas pilas permiten combinar funciones, aumentar densidad de píxeles o electrodos, y trazar cableados por vías (VIAs) entre capas, a costa de nuevos desafíos de alineación, adhesión y robustez de interconexiones.

### 1.2. Ventajas y límites técnicos

- **Ventajas demostradas:** multimodalidad simultánea, densidad espacial alta, lazos cerrados sensor-actuador, y configuraciones personalizables con indicación visual del estado (p. ej., electrocrómico).
- **Retos:** alineación intercapas precisa, adhesión y estabilidad frente a flexión/estiramiento, VIAs flexibles, elección de materiales con alta sensibilidad/eficiencia y bajo módulo en películas delgadas, y diseño de circuitos que minimice área de interconexión aprovechando el eje Z.

## 2. Procesos de fabricación

### 2.1. Microfabricación directa capa a capa

Deposición/patronado secuencial (p. ej., parylene-C y Ti/Pt) sobre polímeros, con tratamientos de plasma y promotores de adhesión para evitar delaminación; limita el uso de materiales que requieran alta temperatura, pero ofrece integración estrecha y procesado cruzado.

### 2.2. *Transfer printing* secuencial

Se microfabrica en sustratos rígidos tolerantes a temperatura y se transfiere repetidamente a sustratos flexibles (también sobre elastómeros preestirados), alcanzando apilados 3D y geometrías *buckled* con ajuste de propiedades electromagnéticas.

## 3. Aplicaciones

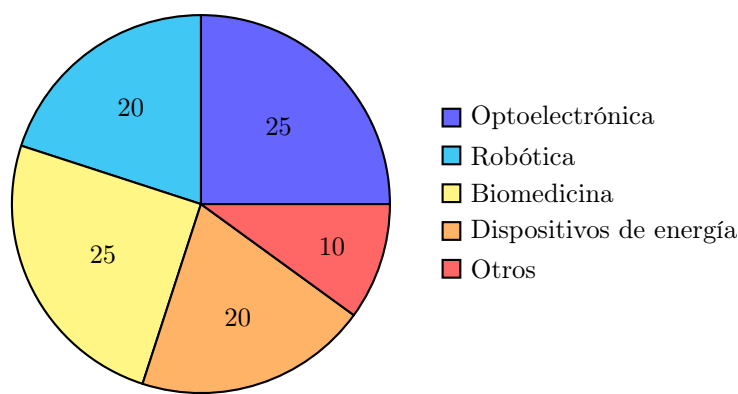


Figura 1: Campos de aplicación de la electrónica flexible multilámina en porcentajes.

### 3.1. Optoelectrónica

Las pilas multicapa amplían color y densidad sin penalizar eficiencia: OLEDs con múltiples capas emisoras permiten dispositivos color-tunable con conmutación por voltaje, y mLEDs en tándem RGB apilan chips con filtros intermedios alcanzando resoluciones equivalentes con celdas más grandes y amplia gama cromática. También se integran sensores y visualización en “pieles fotónicas” multicapa que traducen deformación en color y combinan canales piezorresistivos para lectura dual (color y resistencia) con captura por cámara.

### 3.2. Robótica

Inspiradas en la estratigrafía cutánea, las e-skins multicapa distribuyen modalidades (temperatura, presión, vibración, campos magnéticos, UV, humedad, deformación) en capas funcionales con redes extensibles, habilitando reconocimiento de objetos y expansión de área sin perder resolución. Sistemas FPCB multicapa, con chips encapsulados y VIAs soldadas, se conforman sobre piel humana para adquirir EMG, aceleraciones y deformaciones y controlar prótesis o manipuladores de forma inalámbrica, manteniendo detección simultánea de señales fisiológicas.

### 3.3. Biomedicina

- **Herramientas quirúrgicas instrumentadas:** catéteres balón con arrays multicapa de electrodos, sensores térmicos y de presión (<1 mm total) permiten mapeo espaciotemporal, estimulación y ablación RF en un único dispositivo durante cirugía cardíaca.
- **Liberación de fármacos:** parches biodegradables por inducción RF con capas separadas (antena, calentador, reservorio) posibilitan liberación controlada y menor daño tisular, extensibles a tumores profundos; “vendajes inteligentes” integran sensores, módulo inalámbrico y microcanales de dosificación bajo demanda.
- **Monitorización continua:** “tatuajes electrónicos” modulares y reconfigurables apilan capas reutilizables para personalizar señales y simplificar cableado, integrables con alimentación y radio.

### 3.4. Energía y sistemas autónomos

Los nanogeneradores triboeléctricos (TENG) en pila suman potencia sin crecer en planta, manteniendo flexibilidad para uso in-/on-body; apilar TENG con PENG en híbridos eleva la capacidad de carga (p. ej., cargar 1  $\mu\text{F}$  a 4.7 V en 80 s [1]). La integración multicapa de cosecha, almacenamiento (micro-supercap electrocrómico) y gestión crea “all-in-one” autoalimentados, incluso con diseño plegado y redes serpentina que curvan baterías y células solares de micrométricas centésimas sobre dedos sin perder funcionalidad. La potencia eléctrica instantánea de un generador triboeléctrico se puede escribir como:

$$P(t) = V(t) I(t) \tag{1}$$

Donde  $P(t)$  es la potencia instantánea,  $V(t)$  la tensión generada e  $I(t)$  la corriente producida por el generador triboeléctrico en función del tiempo.

## 4. Líneas futuras

El campo prioriza métodos de alineación y adhesión robustos para apilados delgados y estables; materiales funcionales con respuestas selectivas y mecánica compatible con multicapas; y arquitecturas que combinen sensores, actuadores y suministros energéticos para sistemas verdaderamente autónomos y de alta densidad, reduciendo la dependencia de alimentación externa. Estas mejoras expandirán el rendimiento y el alcance en optoelectrónica, robótica, biomedicina y energía.

## Referencias

- [1] Wang, Y., Xu, C., Yu, X., Zhang, H., & Han, M., *Multilayer flexible electronics: Manufacturing approaches and applications*, Materials Today Physics, 23, 100647, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.mtphys.2022.100647>