

# Experiencias dinámicas generadas por funciones sensoriales obtenidas gracias a un diseño guiado por materiales inteligentes

Los materiales se pueden considerar la interface de un producto, ya que median entre el usuario, el entorno y el objeto (Karana, Pedgley y Rognoli 2014). Caracterizan el mundo físico y generan un flujo constante de interacciones sensoriales. En esta época de producción en masa, los ingenieros y los diseñadores gozan de una posición privilegiada que les permite utilizar las oportunidades que ofrece el desarrollo de materiales y aplicarlas de manera creativa para provocar experiencias significativas en los usuarios. El dinamismo está considerado una experiencia de materiales muy prometedora por cuanto crea interacciones significativas y, como consecuencia, apego del usuario al producto (Rognoli, Ferrara y Arquilla 2016). Los productos dinámicos son aquellos que ofrecen prestaciones sensoriales que cambian con el tiempo de manera proactiva y reversible, que activan una o más modalidades sensoriales en el usuario y que quieren mejorar la experiencia del usuario (Colombo 2016). Los materiales inteligentes podrían considerarse los mejores candidatos para ofrecer experiencias dinámicas. Reaccionan a estímulos externos, como la presión, la temperatura o los campos eléctricos, cambiando algunas de sus propiedades como la forma o el color. Son capaces de detectar y responder al entorno, así como de ejercer un control activo de su respuesta (Addington y Schodek 2004). A diferencia de lo que ocurre con los materiales tradicionales, comprender los materiales inteligentes comporta una complejidad técnica añadida. El objetivo del presente estudio es explicar cómo se ha aplicado el método de diseño guiado por el material (MDD, Material Driven Design) (Karana et al. 2015) y analizar un conjunto de diez proyectos, agrupados en cinco casos de estudio, que han desarrollado estudiantes de ELISAVA en los tres últimos años para mejorar la implementación de dicho método. A través de los casos de estudio hemos analizado los cambios que se producen en las funciones sensoriales utilizando un mapa propuesto por Sara Colombo (2016). El estudio compara los distintos proyectos y muestra cómo las distintas propiedades de los materiales inteligentes invocan los aspectos sensoriales. Los cinco casos de estudio han integrado los materiales inteligentes en prototipos funcionales de distintos campos de aplicación, como la sanidad, el almacenamiento de energía o la moda. Hemos advertido que la experiencia del usuario era el resultado de solo tres modalidades sensoriales (sonido, vista y tacto), con predominio de la vista como percepción sensorial. Este estudio quiere ser un trampolín para otros estudiosos que estén interesados en el diseño de productos dinámicos con materiales inteligentes.

MARTA GONZÁLEZ-COLOMINAS  
Elisava, Escuela Universitaria de Diseño e Ingeniería de Barcelona

PALABRAS CLAVE  
Experiencia dinámica; materiales inteligentes; mapa sensorial; apego al producto.

CÓMO CITAR  
González-Colominas, Marta. 2018. "Experiencias dinámicas generadas por funciones sensoriales obtenidas gracias a un diseño guiado por materiales inteligentes" [Dynamic experiences generated by sensory features through smart material driven design]. *Temas de disseny* 34: 46-57.

## 1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad la funcionalidad de un producto no es el único factor que determina el consumo. Su faceta intangible genera cada vez más interés (Karana, Hekkert y Kandachar 2009). Los investigadores han demostrado que una conexión emotiva entre el usuario y el producto aumenta el apego del primero al segundo (Ceschin y Gaziulusoy 2016). Varios autores han propuesto estrategias de diseño para estimular el apego al producto (Chapman 2005; Ceschin y Gaziulusoy 2016). Los materiales pueden hacer que la experiencia del usuario sea agradable o desagradable (Jordan 2002), ya que cuentan con características morfológicas como la función, la expresión y la estructura.

El término "experiencia de materiales" se utiliza para indicar que los materiales condicionan e influyen activamente nuestras experiencias con y mediante los materiales (Karana, Pedgley y Rognoli 2014). Conceptualizar una aplicación material significativa requiere un atento conocimiento de las cualidades experienciales (Karana et al. 2015). La explicación de la experiencia de materiales se basa en la idea de que la interacción mutua entre el producto y el usuario crea la experiencia particular de material (Giaccardi y Karana 2015).

El dinamismo está considerado una experiencia de material prometedor por cuanto crea adhesión entre el usuario y el producto y entre el diseñador y el producto (Rognoli 2015). Los productos dinámicos son los que presentan propiedades sensoriales (visuales, táctiles, auditivas y olfativas) que cambian (de manera reversible) con el tiempo y que pretenden mejorar la experiencia del usuario (Colombo 2016). Tradicionalmente, los productos han tenido una apariencia estática, pero el dinamismo rompe la monotonía de la relación que se suele establecer entre el usuario y el producto (Rognoli 2015). Nuestra primera interacción con los materiales se produce a nivel sensorial. En un primer momento las experiencias emocionales se desencadenan por estímulos sensoriales y este componente sensorial de la experiencia es inevitable (Giaccardi y Karana 2015). Tal como propugna Sara Colombo (2016), los productos dinámicos deben realizarse con atención. Una gran cantidad de productos dinámicos provocaría una sobrecarga sensorial desconcertante.

Muy pocos investigadores han estudiado los productos dinámicos de interfaces que cambian de forma. El trabajo de Sean Follmer y sus colaboradores (Follmer et al. 2013) abordó la posibilidad de utilizar cambios dinámicos de formas en pantallas accionadas. Hyunyoung Kim y sus colaboradores (Kim, Coutrix y Roudaut 2018) han analizado un conjunto de 82 objetos cotidianos reconfigurables para estudiar cómo podrían inspirar el diseño de interfaces reconfigurables. Para los autores los objetos reconfigurables son aquellos objetos que fusionan reconfiguraciones y prestaciones de formas cambiantes. Un objeto de forma cambiante es un objeto dinámico cuyas prestaciones visuales y/o táctiles cambian. Sin embargo, en el estudio que nos ocupa, el término objeto dinámico no se limita al cambio de forma; incluye todos los objetos que cambian sus prestaciones sensoriales, como por ejemplo los cambios de color, luz o temperatura.

En los productos dinámicos, los materiales inteligentes desempeñan un papel importante gracias a su capacidad de transformar la energía, de adaptarse al entorno y/o de cambiar

sus propiedades como respuesta a estímulos externos. Además de su función pasiva, provocan una reacción activa, como el cambio de forma o de color (Ritter 2007; del Corral et al. 2016).

Los avances tecnológicos, en combinación con los materiales inteligentes, están cambiando el modo de concebir y de diseñar la interacción entre productos y usuarios. El deseo de más sistemas y productos automáticos y el aumento en la demanda de fuentes de energía (Ritter 2007) han hecho necesario el desarrollo y la aplicación de materiales inteligentes. Sus nuevas e imprevistas propiedades tienen un gran potencial para sorprender y generar interés y atracción, si se utilizan en el contexto adecuado (Rodríguez 2014). Una reacción de sorpresa puede ser beneficiosa para el diseñador porque puede llamar la atención de la gente y puede resultar una buena estrategia de diferenciación de producto que permita destacar a un producto por encima de los demás (Derbaix y Vanhamme 2003). Los beneficios para el usuario son que puede aprender algo nuevo sobre el producto y la sorpresa hace que sea más interesante interactuar con este.

La complejidad técnica añadida de los materiales inteligentes implica que la imagen del material y su hoja técnica no son suficientes para que los diseñadores los utilicen. Los diseñadores deberían ser conscientes del impacto que las prestaciones sensoriales tienen en la experiencia del usuario. Sin embargo, en la educación de diseño de producto, parece haber una falta de atención por los aspectos sensoriales de la interacción usuario-producto. Dicha falta de atención se produce cuando la educación está más orientada hacia los aspectos técnicos del diseño (Colombo y Rampino 2013). Muchos estudios del diseño destacan la importancia del aprendizaje empírico como ayuda para comprender los materiales inteligentes (Barati, Karana y Foole 2017; Barati, Giaccardi y Karana 2018).

La aparición de nuevos materiales hace que los ingenieros de diseño estén continuamente poniendo a prueba su capacidad de seleccionar materiales. Es muy difícil estandarizar las propiedades de los materiales inteligentes, así que los ingenieros de diseño deben experimentar con ellos para comprender mejor su comportamiento y de ese modo integrarlos en prototipos funcionales.

El objetivo del presente estudio es compartir cómo se ha aplicado un método existente y analizar los resultados mediante cinco casos de estudio para mejorar su implementación. Para ello, hemos creado una tabla visual de materiales inteligentes que se pueden encontrar en el mercado y que los estudiantes han utilizado como herramienta de diseño. Hemos tomado un conjunto de productos dinámicos desarrollados en ELISAVA como casos de estudio para comprender mejor cómo las distintas propiedades de los materiales inteligentes invocan los aspectos sensoriales.

## 2 METODOLOGÍA

La recopilación de productos dinámicos, que este artículo presenta como cinco casos de estudio, se llevó a cabo a partir de diez proyectos que utilizan materiales inteligentes diseñados por estudiantes de ELISAVA en los últimos tres años. De los diez proyectos presentados, siete fueron desarrollados durante el se-

## CASO DE ESTUDIO

## 50

	Segundo curso del grado	Cuarto curso del grado
<b>Planteamiento del proyecto</b>	Material inteligente como punto de partida. Método MDD	Problema por resolver como punto de partida.
<b>Tema</b>	Selección de materiales	Proyecto final
<b>Duración del proyecto</b>	10 semanas	10 semanas
<b>Número de estudiantes</b>	21 estudiantes	3 estudiantes
<b>Proceso</b>	Visita a Materfad, Centro de materiales de Barcelona Interacción con materiales inteligentes (2 horas, semana 1) / Taller. Sesiones prácticas con materiales inteligentes (2 horas por semana durante las semanas 2-4) / Reuniones semanales con los estudiantes. Prototipos con materiales inteligentes (2 horas por semana durante las semanas 6-10)	
<b>Resultados</b>	7 proyectos	3 proyectos

Tabla 1. Metodologías

gundo año del grado en Ingeniería de Diseño Industrial, mientras que los tres restantes fueron desarrollados durante el cuarto año.

Hemos seguido el método de diseño guiado por el material (MDD, Material Driven Design) (Karana et al. 2015), que incluye tres perspectivas distintas: en primer lugar, toma un determinado material como punto de partida y explora las propiedades técnicas/de ingeniería que tiene para plasmar un producto; en segundo lugar, plantea un diseño para experiencias de materiales; y en tercer lugar, resalta los experimentos prácticos y los prototipos con materiales.

En relación a la primera perspectiva del método MDD hemos utilizado materiales inteligentes como punto de partida en siete de los diez proyectos, los que se realizaron durante el segundo año. Por el contrario, en tres de los diez proyectos, el problema que había que resolver era el punto de partida y la selección de material inteligente se ha hecho gracias a los conocimientos adquiridos durante los años anteriores.

En cuanto a la segunda perspectiva del método MDD, hemos propuesto un diseño para experiencias dinámicas de materiales. Según su funcionalidad, las experiencias dinámicas se han clasificado en cuatro categorías: funciones comunicativas, expresivas, operativas y de conciencia.

En relación a la tercera perspectiva del método MDD, se han organizado algunas sesiones de talleres para poner en práctica experiencias y hacer prototipos con los materiales (figura 1). Hemos colaborado con Materfad, el Centro de materiales de Barcelona, que cuenta con una base de datos física de más de 5000 materiales innovadores (Peña 2008). Materfad da respuesta a la necesidad de tocar, oler, oír y sentir los materiales.

Hemos clasificado los materiales inteligentes comerciales de Materfad en una tabla visual (figura 2) para facilitar a estudiantes y profesionales la tarea de seleccionar materiales inteligentes. Este estudio se ha centrado exclusivamente en los materiales inteligentes activos, que se caracterizan por el hecho de que pueden traducir sus estímulos energéticos en otras formas de energía. Los materiales activos se han dividido en cinco tipologías: cromosactivos, almacenadores de energía, luminiscentes, con memoria de forma y de cambio de fase (Ritter 2007). Los materiales cromosactivos se han dividido en fotocromos, termocromos y electrocromos; los materiales que almacenan energía, en piezoeléctricos y termoeléctricos; los materiales luminiscentes, en fotoluminiscentes y electroluminiscentes; y los materiales con memoria de forma, en metales,

## M. GONZÁLEZ-COLOMINAS

polímeros y espumas. Los materiales de cambio de fase (PCM) no tienen subcategorías.

Por último, se han analizado los casos de estudio mediante un mapa de experiencias dinámicas, clasificadas según los estímulos y las modalidades sensoriales que activan (Colombo 2016). Un estímulo es la variación de una característica del producto (la forma, la luz, el color, el sonido, el olor, la temperatura, etc.) que perciben los sentidos (Colombo, Gorno y Bergamaschi 2013).

Dos expertos en materiales y diseño han llevado a cabo el análisis de la modalidad sensorial y de la funcionalidad de la experiencia dinámica. Si el análisis de aquellos dos difería, un tercer experto ayudaba a tomar la decisión para alcanzar un consenso. Para obtener más información sobre las modalidades sensoriales más utilizadas, todos los proyectos se representaban en el mismo mapa sensorial con un formato semitransparente de modo que la superposición de varios productos producía una zona más oscura en el mapa.

## 3 RESULTADOS Y DEBATE

A continuación se muestran los resultados de los productos propuestos por los estudiantes, que se han numerado del uno al diez. Tres de los productos (los números dos, cuatro y diez) se desarrollaron durante el cuarto año. El resto de proyectos fueron desarrollados por estudiantes de segundo año. Se han organizado los resultados según la tipología del material inteligente utilizado en el proyecto: materiales cromosactivos, almacenadores de energía, luminiscentes, con memoria de forma y de cambio de fase.

### 3.1. Caso de estudio 1 - Materiales cromosactivos

Raincoat & Lolita (1) es un abrigo que pasa de transparente a negro opaco cuando desciende la temperatura por la lluvia o la nieve (figura 3). Se ha aplicado un tipo de material cromosactivo, llamado leucotinte, para generar una experiencia visual aleatoria de formas y cambios de color, con el objetivo de ser poética y sensorial.

A través de una estrategia pictórica, los autores quieren narrar la acción recíproca de nuestro cuerpo con un

## 51

## TEMES DE DISSENY #34



Figura 1. Experimentación con materiales electroluminiscentes durante un taller práctico.

fenómeno meteorológico. La prenda de ropa funciona como un lienzo que desea revelar una experiencia de exaltación de la lluvia y la nieve. Puede integrar a quien la lleva en ciudades en las que suele hacer mal tiempo, transfigurando esta perspectiva en una interacción positiva.

COCOON (2) es un equipo de protección individual contra el virus del Ébola que se puede poner fácilmente y se puede quitar de manera cómoda y sencilla sin contaminar (figura 4). El vestido tiene un recubrimiento hidrocromático que cambia de color cuando se moja. Dicho revestimiento tiene un propósito comunicativo y estimula la vista al cambiar su color cuando entra en contacto con fluidos.

El uso de materiales inteligentes ayuda al usuario y a los demás trabajadores a sentirse seguros porque las partes contaminadas son visibles y, por tanto, pueden tenerlo en cuenta cuando se quitan el traje. De ese modo, el personal médico podría actuar si un miembro del equipo se infectara.

Este es uno de los dos proyectos que plantean problemas en los que el problema que hay que resolver estaba en el punto de partida. Gracias a las competencias adquiridas previamente, los estudiantes pudieron aprovechar el potencial de los materiales inteligentes utilizados y explorarlo en el proyecto.

### 3.2. Caso de estudio 2 - Materiales que almacenan energía

Drums to go, D2GO (3), es una batería electrónica que el usuario puede configurar y montar. Está conectada a un ordenador que tiene instalado un programa informático para baterías (figura 5). Incluye materiales piezoeléctricos que funcionan como sensores de presión gracias al efecto piezoeléctrico que convierte los cambios de presión en carga eléctrica. Al tocarlo, el material no hace ningún ruido. El sonido es digital y proviene del ordenador.

Para lograr una función operativa, se genera una experiencia acústica que empieza con un input táctil. Cuando el usuario golpea la batería, se genera un impulso eléctrico que

se convierte en un sonido de batería.

STEP-LUX (4) es una baldosa que utiliza materiales piezoeléctricos para transformar la energía mecánica que producen los peatones en electricidad (figura 6). Esta energía se puede consumir de manera instantánea, como en este proyecto, o se puede almacenar en una batería. Este sistema se puede aplicar a todo tipo de suelos, pavimentos o asfaltos.

Utiliza materiales piezoeléctricos y genera 22 mW por impacto. Los peatones generan una experiencia visual dinámica en un dispositivo de iluminación por LED que funciona gracias a los materiales piezoeléctricos.

En este caso concreto, el objetivo de crear una experiencia visual integradora pasa por concienciar a la gente para que cambie su comportamiento y por fomentar el uso y la exploración de fuentes de energías renovables. El material, por otra parte, también tiene una función operativa: la generación de electricidad.

### 3.3. Caso de estudio 3 - Materiales luminiscentes

HEKA (5) es un producto que pueden llevar los voluntarios en campos de refugiados (figura 7). La prenda incluye una cualidad dinámica que el usuario puede controlar. La chaqueta contiene luces electroluminiscentes integradas en las partes delantera y trasera. Se trata de luces delgadas, flexibles, llevables, ligeras y fabricadas con electrónica impresa.

El uso de luces de colores permite explorar la posibilidad de comunicar mensajes a otras personas utilizando los cambios en las prestaciones del producto, como alternativa a las interfaces habituales. Esta prenda representa un canal alternativo de comunicación entre trabajadores que reduce los conflictos y mejora la eficiencia de las distintas tareas.

HEKA presenta ciertas ventajas, ya que la comunicación por prestaciones dinámicas es más integradora. Sin embargo presenta un inconveniente: en función de la distancia de comunicación el mensaje pierde precisión.

Cromoactivos	Generadores de energía	Luminiscentes	Memoria de forma	Transformación de fase
 <p>1 Electrocromáticos</p>	 <p>6</p>	 <p>11</p>	 <p>16 Espumas</p>	 <p>21</p>
 <p>2 Fotocromáticos</p>	 <p>7</p>	 <p>12 Electroluminiscentes</p>	 <p>17</p>	 <p>22</p>
 <p>3 Fotocromáticos</p>	 <p>8 Piezoeléctricos</p>	 <p>13</p>	 <p>18 Metales</p>	 <p>23</p>
 <p>4 Termocromáticos</p>	 <p>9</p>	 <p>14</p>	 <p>19</p>	 <p>24</p>
 <p>5 Termocromáticos</p>	 <p>10 Termoeléctricos</p>	 <p>15 Fotoluminiscentes</p>	 <p>20 Polímeros</p>	 <p>25</p>
<p>1 - DreamGlass. Vidrio electrocromático con cristal líquido. 2 - Reversacol. Tinta fotocromática activada por UV. 3 - SolarActive. Pigmentos fotocromáticos. 4 - SolarZone. Tintas y resinas fotocromáticas. 5 - Tinta Fotocromática. 6 - ChromaZone. Tintas y pigmentos termocromáticos. 7 - Cristal Líquido Microencapsulado. 8 - Eclipse. Pintura termocromática. 9 - PLA Termocromático. Filamento para impresión 3D. 10 - Thermocolor. Films que cambian de color con la temperatura de temperatura. 11 - APC Piezoeléctrico 840. Piezoeléctricos Navy Type I.</p>		<p>12 - APC Piezoeléctrico 850. Piezoeléctricos Navy Type II. 13 - Componentes piezocerámicos hechos a medida. 14 - DuraAct. Transductor piezoeléctrico flexible. 15 - Piezoeléctrico flexible polimérico de PVDF. 16 - Célula termoelectrica cuadrada. 17 - Célula termoelectrica micro. 18 - Célula termoelectrica mini. 19 - Célula termoelectrica rectangular. 20 - Célula termoelectrica generadora de tensión por gradiente</p>		<p>22 - Cinta de luz. Cinta Electroluminiscente. 23 - OLED. Paneles luminosos de capas orgánicas. 24 - Fibra Slimlight. Cintas electroluminiscentes. 25 - Resplandor. Pigmento fosforescente para acabados gráficos.</p>

Figura 2. Tabla visual de materiales inteligentes de Materfad, Centro de materiales de Barcelona, clasificados en cinco categorías (Materfad 2018).

ARMOUSS (6) es un traje protector para motoristas que incluye materiales y tecnología de seguridad integrados (figura 8). El traje protector tiene sensores de presión integrados y luces electroluminiscentes que se encienden en caso de impacto.

El material inteligente de las luces electroluminiscentes tiene un propósito comunicativo visual.

ARMOUSS da visibilidad a los motoristas. Podría poner remedio a la necesidad actual de mejorar la visibilidad de los motociclistas cuando llega la oscuridad, especialmente si se produce un accidente por la noche y el motorista se encuentra lejos de la moto.

#### 3.4. Caso de estudio 4 - Materiales con memoria de forma

SAO (7) es un infusor de té con control de tiempo. Utiliza un resorte con memoria de forma que se cierra cuando entra en contacto con agua hirviendo (figura 9). El material con memoria de forma integra la función de control del tiempo. El movimiento de traslación del resorte tiene la función de indicar el tiempo de preparación del té. Al final, SAO también prensa las hojas de té cerrando el resorte.

La experiencia dinámica tiene dos funciones: una comunicativa (control del tiempo) y otra operativa (prensado).

CÁLID (8) es un contenedor termoactivo. Se utiliza en frío y cambia su apariencia mediante un movimiento de apertura cuando se vierten preparados calientes en él (figura 10). El contenedor está formado por un cuerpo de silicona con memoria de forma y una estructura en su interior. El contenedor se mueve dentro de una forma predeterminada sin necesidad de utilizar mecanismos eléctricos.

Intenta centrarse en una experiencia de sentimientos y emociones con una función expresiva, cambiando dinámicamente por motivos estéticos y garantizando un efecto sorpresa cuando se abre el producto.

Hexafragma (9) es una persiana solar automática que se abre y se cierra con el sol. Contiene un resorte con memoria de forma que cambia su forma cuando se calienta y cierra los módulos de Hexafragma del entramado que recubre la parte exterior de la ventana (figura 11). De ese modo las persianas se ajustan automáticamente sin necesidad de mecanismos eléctricos, y, al regular la luz solar que llega al interior del edificio, se contribuye a reducir el consumo energético. Otra ventaja que presenta el uso de aleaciones con memoria de forma es que permiten utilizar diseños más sencillos. El número de componentes mecánicos de los actuadores que utilizan estos materiales es claramente menor que el número de componentes mecánicos involucrados en los actuadores electromecánicos (Burman, Møster y Abrahamsson 2000).

La experiencia dinámica visual, consistente en este movimiento de apertura, tiene dos funciones: una operativa (hacer que el producto funcione) y otra de concienciación (mejorar la experiencia sensorial del usuario e invitarnos a reflexionar sobre el ahorro energético).

#### 3.5. Caso de estudio 5 - Materiales de cambio de fase

Los cultivos sin tierra que utilizan materiales de cambio de fase (PCM, Phase Change Materials) (10) son una solución de diseño para calefacciones de zonas radicales en invernaderos mediterráneos (Llorach-Massana et al. 2017), tal como se puede apreciar en la figura 12. Se basan en el almacenamiento de energía térmica mediante materiales con cambio

de fase. Utilizar sistemas de calefacción en la zona de las raíces permite obtener cosechas de mayor calidad y productividad, aunque se basan en el uso de combustibles no renovables. Los materiales de cambio de fase son altamente interesantes por su capacidad de aumentar la eficiencia energética de los sistemas y reducir su dependencia de las energías no renovables. El material inteligente utilizado se propone reducir los cambios de temperatura bruscos utilizando sistemas de calefacción pasivos y prescindiendo de dispositivos eléctricos.

La experiencia dinámica generada por los materiales de cambio de fase es el almacenamiento y uso de energía térmica durante el proceso de fusión y congelación, cuando cambian de una fase a otra. La apariencia dinámica tiene dos funciones: una operativa y otra de concienciación, que nos invita a reflexionar sobre el ahorro energético.

Este es el segundo ejemplo de proyecto que plantea problemas en el punto de partida.

#### 3.6. Comparación entre los casos de estudio

Los casos de estudio se han compendiado en la tabla 2 y se han clasificado según el tipo de material inteligente que utilizan, la modalidad sensorial y la función de su experiencia dinámica (funciones de concienciación, operativa, expresiva y de comunicación). Función de concienciación: se basa en alentar el cambio de comportamiento entre la gente, como por ejemplo el ahorro de energía y el fomento de fuentes de energías renovables. Función operativa: la experiencia dinámica es necesaria para que el producto funcione. Función expresiva: muestra dinamismo por motivos estéticos más centrados en experiencias de sentimientos y emociones. Función comunicativa: está orientada a comunicar mensajes a usuarios mediante prestaciones sensoriales.

Todos los proyectos se han representado en el mismo mapa sensorial (figura 13) y las modalidades sensoriales resultantes se han resumido en la primera columna de la tabla 1.

Los resultados han puesto de manifiesto que la vista es el sentido más utilizado cuando se diseñan experiencias dinámicas. La vista es el sistema sensorial dominante, pues capta casi el 80% de las impresiones sensoriales humanas (Sayadi, Mobarakabadi y Hamidi 2015). En cuatro de los proyectos el usuario llevaba puesto el producto (1, 2, 5 y 6) y en todos, el dinamismo se basó en estímulos visuales (luz y color). Solo algunos proyectos utilizaron modalidades sensoriales táctiles y auditivas, mientras que el olfato no se utilizó en absoluto.

La funcionalidad de las experiencias dinámicas está resumida en la última columna de la tabla 2 y el tipo de material inteligente se ha marcado en la tercera columna de la tabla. La experiencia dinámica tuvo un componente de concienciación en tres proyectos (4, 9 y 10) y cada uno correspondía a un tipo diferente de material inteligente.

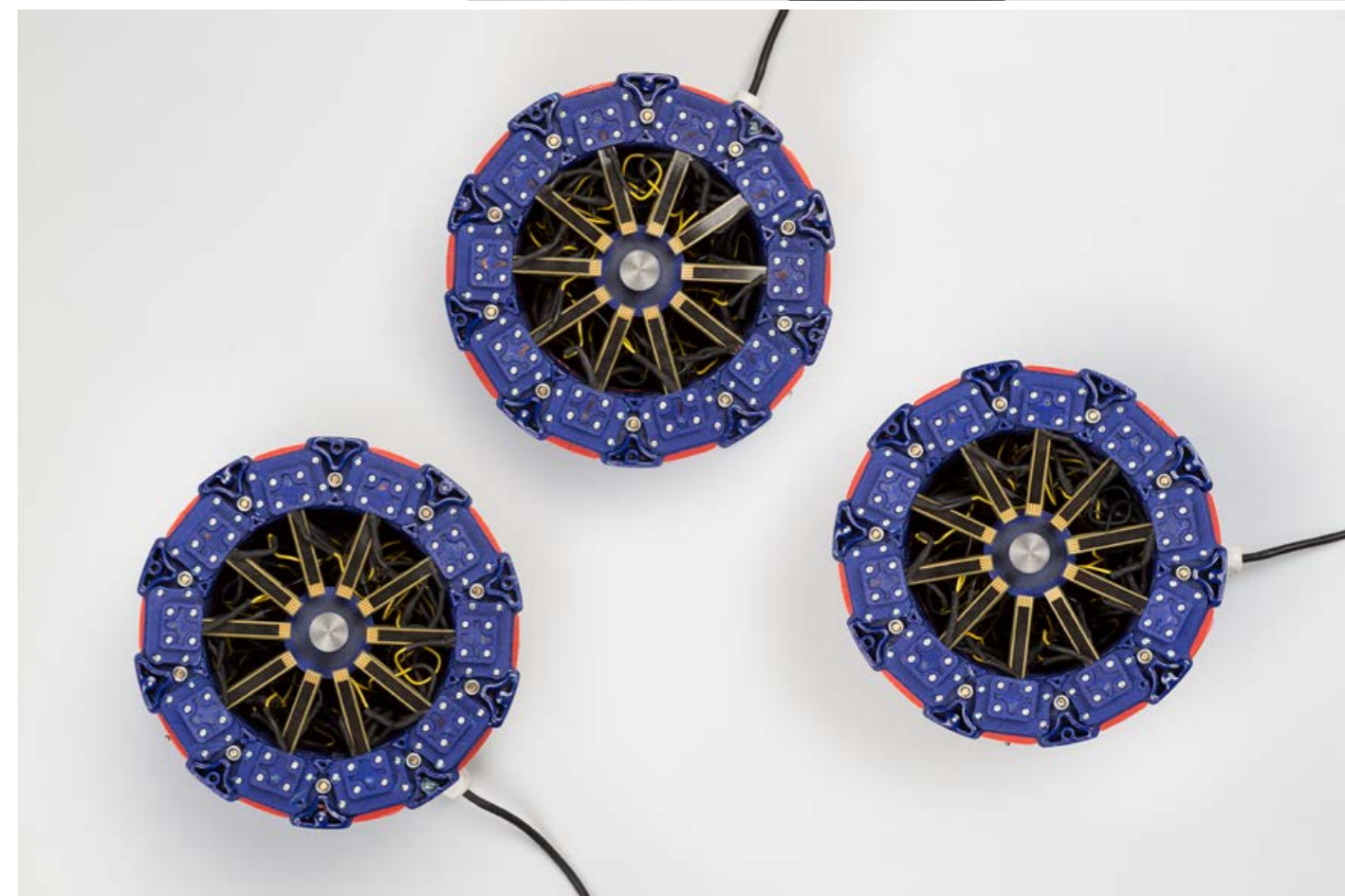
La experiencia dinámica tuvo una función operativa en la mitad de los proyectos (3, 4, 7, 9 y 10). Estuvieron representados todos los tipos de materiales inteligentes, a excepción de los luminiscentes.

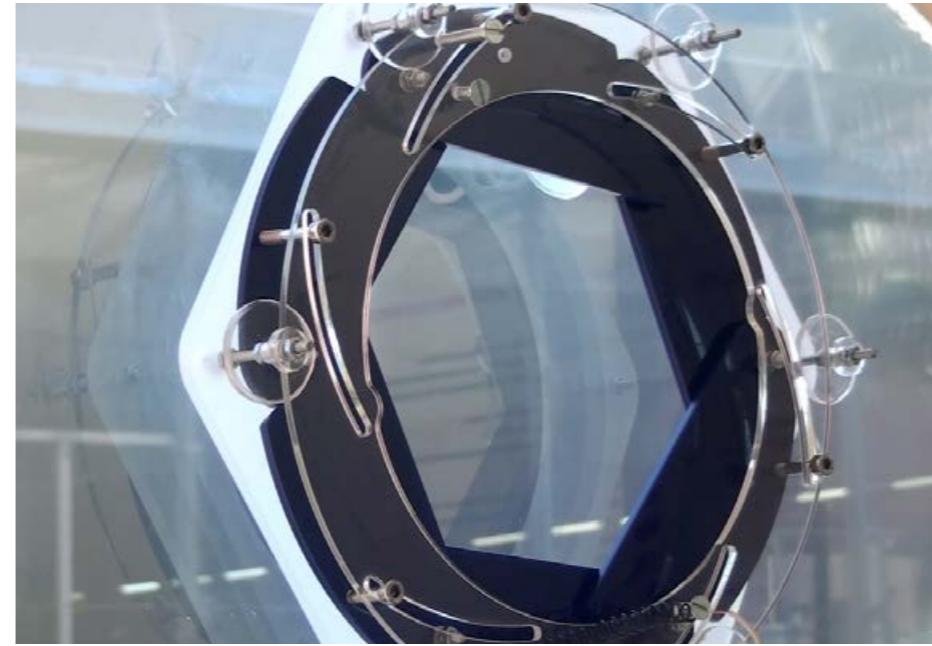
La función expresiva estuvo presente solo en dos (1 y 8), y en ambos casos se trataba de materiales inteligentes distintos. En ambos proyectos el único sentido involucrado fue el de la vista.

La función de comunicación apareció en cuatro de ellos (2, 5, 6 y 7), con tres tipos de materiales inteligentes distin-



→ Figura 3. Raincoat & Lolita (1)  
 ↑↑ Figura 4. COCOON (2)  
 ↑ Figura 5. D2GO (3)  
 ↓ Figura 6. STEP-LUX (4)





Izquierda  
 ↑ Figura 7. HEKA (5)  
 ↙ Figura 8. ARMOUSS (6)  
 ↘ Figura 9. SAO (7)

Derecha  
 ↑ Figura 10. CÁLID (8)  
 ↓ Figura 11. Hexafragma (9)

Gracias a Mariona der Tuinder y Arnau Anglada (RAINCOAT&LOLITA, Proyecto de selección de materiales), Ona Bombí (COCOON, Proyecto de grado), Ricard Serarols, Gerard López y Marc Morató (D2GO, Proyecto de selección de materiales), Pau Romagosa (STEP LUX, Proyecto de grado), Pau Benazet, Laura Homs, Marcello Brunero y Martina Llorens (HEKA, Proyecto de materiales), Marian Brea (ARMOUSS, Proyecto de materiales), PES Students (SAO, Proyecto de selección de materiales), Nicole Vindel (CÁLID, Proyecto de grado), Alejandro Plasencia (HEXAFRAGMA, Proyecto de selección de materiales), Pere Llorach-Massana (CULTIVOS SIN TIERRA QUE UTILIZAN PCM), por permitir el uso de imágenes de sus proyectos.

REFERENCIAS

Addington, Michelle y Daniel Schodek. 2004. *Smart Materials and Technologies in Architecture*. Oxford: Architectural Press.

Barati, Bahareh, Elvin Karana, y Milou Foole. 2017. "Experience Prototyping' Smart Material Composites". En *Proceedings of The International Conference on Experiential Knowledge and Emerging Materials: EKSIG 2017*, 50-65. Delft: TU Delft.

Barati, Bahareh, Elisa Giaccardi, y Elvin Karana. 2018. "The Making of Performativity in Designing [with] Smart Material Composites". En *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1-5. New York: ACM.

Burman, Åke, Erik Møster y Per Abrahamsson. 2000. "On the Influence of Functional Materials on Engineering Design". *Research in Engineering Design*, 12: 39-47. doi: 10.1007/s001630050022.

Ceschin, Fabrizio, y Idil Gazilulsoy. 2016. "Evolution of Design for Sustainability: from Product Design to Design for System Innovations and Transitions". *Design Studies*, 47, C: 118-163. doi.org/10.1016/j.destud.2016.09.002.

Chapman, Jonathan. 2005. *Emotionally Durable Design: Objects, Experiences, and Empathy*. London: Earthscan.

Colombo, Sara, Roberto Gorno, y Sara Bergamaschi. 2013. "Enhancing Product Sensory Experience: Cultural Tools For Design Education". En *DS 76, Proceedings of E&PDE, the 15th International Conference on Engineering and Product Design Education*, 698-703. London: Design Society.

Colombo, Sara, y Lucia Rampino. 2013. "Information Embodiment: How to Communicate Through Dynamic Sensory Features". En *Proceedings of DPPI 2013, 6th Conference on Designing Pleasurable Products and Interfaces*, 3-6: 211-220. New York: ACM.

Colombo, Sara. 2016. *Dynamic Products Shaping Information to Engage and Persuade*. Switzerland: Springer.

del Corral, Anna Mª, Jessica Fernández, Marta González, y Xavier Riudor. 2016. "A Look at ELISAVA's Industrial Design Engineering: Engineering That Interprets, Projects, Represents and Builds". *Elisava TdD*, 32: 80-97.

Derbaix, Christian, y Joelle Vanhamme. 2003. "Inducing Word-of-Mouth by Eliciting Surprise: a Pilot Investigation". *Journal of Economic Psychology*, 24(1): 99-116. doi.org/10.1016/S0167-4870(02)00157-5.

Follmer, Sean, Daniel Leithinger, Alex Olwal, Akimitsu Hogge, y Hiroshi Ishii. 2013. "inFORM: Dynamic Physical Affordances and Constraints Through Shape and Object Actuation". En *Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium On User Interface Software and Technology*, 417-426. New York: ACM.

Giaccardi, Elisa y Elvin Karana. 2015. "Foundations of Materials Experience: An Approach for HCI". En *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '15)*, 2447-2456. New York: ACM.

Jordan, Patrick W. 2002. *Designing Pleasurable Products: An Introduction to the New Human Factors*. London: Taylor and Francis.

Karana, Elvin, Paul Hekkert, y Prabhu Kandachar. 2009. "Meanings of Materials Through Sensorial Properties and Manufacturing Processes". *Materials and Design*, 30(7):2778-2784. doi:10.1016/j.matdes.2008.09.028.

Karana, Elvin, Owain Pedgley y Valentina Rognoli. 2014. *Materials Experience: Fundamentals of Materials and Design*. 1a ed. Oxford: Butterworth-Heinemann.

Karana, Elvin, Bahar Barati, Valentina Rognoli, y Anouk Zeeuw Van Der Laan. 2015. "Material Driven Design (MDD): A Method To Design For Material Experiences". *International Journal of Design*, 19(2): 35-54.

Kim, Hyunyoung, Céline Coutrix, y Anne Roudaut. 2017. "Morphees+: Studying Everyday Reconfigurable Objects for the Design and Taxonomy of Reconfigurable UIs". En *Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2018)*. Association for Computing Machinery (ACM). New York: ACM.

Llorach-Massana, Pere, Javier Peña, Joan Rieradevall, y J. Ignacio Montero. 2017. "Analysis of the Technical, Environmental and Economic Potential of Phase Change Materials (PCM) for Root Zone Heating in Mediterranean Greenhouses". *Renewable Energy Journal*, 103: 570-581. doi: 10.1016/j.renene.2016.11.040.

Materfad, Material Center of Barcelona. 2018. Consulta 1 de febrero, 2018. <http://es.materfad.com>.

Peña, Javier. 2008. *Mater: Thesis*. Barcelona: FAD, Foment de les Arts i el Disseny.

Ritter, Axel. 2007. *Smart Materials in Architecture, Interior Architecture and Design*. Basel: Springer.

Rodríguez, Edgar R. 2014. "Industrial Design Strategies for Eliciting Surprise". *Design Studies*, 35(3): 273-297. doi:10.1016/j.destud.2013.12.001.

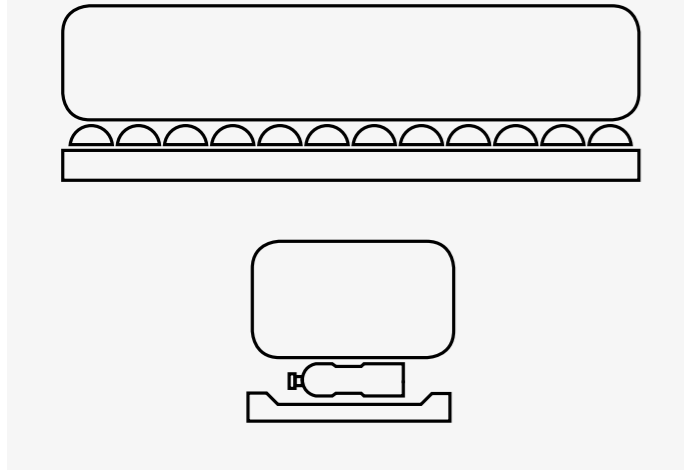
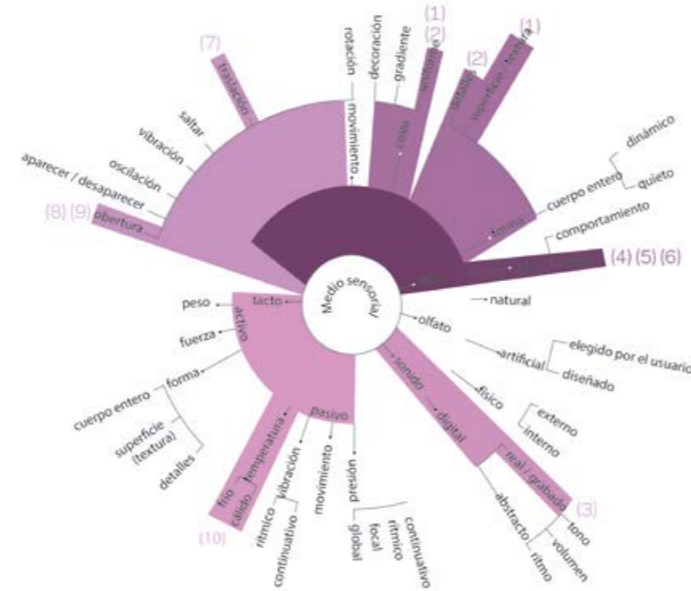
Rognoli, Valentina. 2015. "Dynamism and Imperfection as Emerging Materials Experiences: a Case Study". En *Proceedings of DesForm 2015 - Aesthetics of Interaction: Dynamic, Multisensory, Wise*. 9th International Conference on Design and Semantics of Form and Movement. Milano: Politecnico di Milano.

Rognoli, Valentina, Maria Rita Ferrara, y Venanzio Arquilla. 2016. "ICS, Materials: materiali interattivi, connessi e smart". *Material Design Journal*, 2:44-57.

Sayadi, Mehrnaz, Houshang Mobarakabadi, y Kambiz Hamidi. 2015. "Sensory Marketing and Consumer Buying Behavior". *Advanced Social Humanities and Management* 2(4):100-104.

← **Figura 12.** Cultivos sin tierra que utilizan PCM (10) [Adaptado de (Llorach-Massana et al. 2017)].

↓ **Figura 13.** Mapeado de los 10 proyectos, según el grado de transparencia utilizado. La superposición de más productos produce una zona más oscura en el mapa (morado) [Adaptado de (Colombo 2016)].



tos. Los dos proyectos que utilizaron materiales luminiscentes corresponden a este tipo de función. En los cuatro proyectos el único sentido involucrado en la experiencia dinámica fue el de la vista.

Se puso de manifiesto que la vista es el único sentido involucrado en la experiencia dinámica mediante materiales cromosensibles. En este tipo de materiales inteligentes, los resultados obtenidos están en línea con los que había esperado, puesto que el color cambió durante su funcionamiento. Además, también había detalles de forma en la superficie como características visuales dinámicas.

En el tipo de almacenamiento de energía, se utilizan dos modalidades sensoriales: la vista y el sonido. El estímulo visual se presenta en forma de luz, mientras que el estímulo sonoro es percibido como un sonido digital de batería grabada.

Como había esperado la vista es el único sentido involucrado en la experiencia dinámica mediante materiales luminiscentes.

Aunque las aleaciones con memoria de forma también se pueden utilizar para crear experiencias táctiles con presión o temperatura, la vista es el único sentido que entró en acción en los casos de estudio analizados. Los tres ejemplos se centran en movimientos de apertura-cierre y de traslación.

El material de cambio de fase emite energía térmica cuando pasa a estado sólido y genera una experiencia táctil.

4 CONCLUSIONES

La comparación de casos de estudio permite hacer algunas consideraciones sobre cómo se ha aplicado el método MDD existente.

La experimentación directa, junto con la introducción de la selección de materiales al inicio del proyecto, ha permitido que los estudiantes adquirieran las habilidades de diseñar y seleccionar materiales, teniendo en cuenta las propiedades sensoriales y técnicas, y tratando ambas propiedades de manera sinérgica.

El análisis ha puesto de manifiesto una tendencia que consiste en utilizar la vista para crear experiencias dinámicas (color, luz, forma o movimiento). Se trataba de un resultado previsto en el caso de los tipos luminiscentes y cromosensibles. Además, ha presentado una oportunidad de diferenciación. Por su fuerte impacto emotivo y su marcada influencia en nuestro comportamiento, futuros estudios podrían investigar el uso del olfato, que no ha aparecido en ningún proyecto.

Los estudiantes han tenido ciertos problemas por recurrir a otros sentidos que no sean la vista. La poca diversidad en los medios sensoriales estimulados en los casos de estudio ha puesto de manifiesto que el mapa sensorial, aparte de ser utilizado como herramienta de análisis, podría utilizarse como herramienta de diseño que ayudaría a los diseñadores a explorar productos dinámicos y a diseñar para los otros sentidos.

La aplicación de la metodología podría mejorar con la combinación del mapa sensorial como herramienta de diseño y la tabla visual de materiales inteligentes comerciales. Esta combinación podría servir para explorar medios sensoriales no habituales y para diseñar interacciones sensoriales dinámicas integradoras con materiales inteligentes.

	Título del proyecto	Número de proyecto	Modalidad sensorial	Funcionalidad de experiencia dinámica
<b>Caso de estudio 1 - Materiales cromosensibles</b>	Raincoat & Lolita	1	Vista → color y forma	Función expresiva
	COCOON	2	Vista → color y forma	Función comunicativa
<b>Caso de estudio 2 - Materiales que almacenan energía</b>	D2GO	3	Sonido → digital	Función operativa
	STEP-LUX	4	Vista → luz	Función operativa / Concienciación
<b>Caso de estudio 3 - Materiales luminiscentes</b>	HEKA	5	Vista → luces de colores	Función comunicativa
	ARMOUSS	6	Vista → luz	Función comunicativa
<b>Caso de estudio 4 - Materiales con memoria de forma</b>	SAO	7	Vista → movimiento de traslación	Función operativa / Función comunicativa
	CÁLID	8	Vista → movimiento apertura	Función expresiva
	Hexafragma	9	Vista → movimiento de apertura y cierre	Función operativa / Concienciación
<b>Caso de estudio 5 - Materiales de cambio de fase</b>	PCM Soil-less crops	10	Tacto → temperatura cálida	Función operativa / Concienciación

Tabla 2. Clasificación de los casos de estudio según la modalidad sensorial, la funcionalidad de la experiencia dinámica y el tipo de material inteligente.