

LA REALIDAD INTERVENIDA.

Miguel Oscar Grassi

miguelgrassi.com.ar

RESUMEN

Las tecnologías electrónicas e informáticas penetran cada vez más en objetos de uso cotidiano que interactúan con su entorno. Por su parte, la realidad virtual, la realidad aumentada y otras formas de realidad mediada se establecen como las técnicas más efectivas para la presentación de imágenes e información y para el desarrollo de interfaces de usuario complejas. El presente trabajo propone un nuevo modelo taxonómico denominado Realidad Intervenida, que amplía la noción de realidad mediada con la incorporación de nuevas categorías, incluidos los sistemas embebidos, la capacidad robótica, los dispositivos inteligentes y otras tecnologías relacionadas, presentes en lo que se define como "objetos tecnológicos". El nuevo modelo ofrece un marco conceptual desde el cual abordar el diseño de objetos tecnológicos y considera, además de los aspectos morfológicos, estéticos, tecnológicos y productivos tradicionales, el diseño de la experiencia del usuario como uno de sus elementos fundamentales.

Nota: El presente trabajo es parte de la investigación que el autor lleva a cabo en el marco de su Tesis doctoral en la Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo de la universidad de Buenos Aires, dirigida por el Dr. Mario Mariño y co-dirigida por el Dr. Laurence Bender, bajo el título "Uso de la Realidad Intervenida en las disciplinas proyectuales", admitido por Resol. (CD) Nro. 109 del Consejo Directivo de esa Facultad, con fecha 25 de Marzo de 2013. (CUDAP: EXP-UBA Nro. 0027164/11).

1. Introducción

Las tecnologías disruptivas y el diseño de objetos tecnológicos

El diseño de utensilios, muebles y objetos ha evolucionado históricamente en forma gradual y fluida, con algunos saltos cuantitativos ocasionales producto de la aparición de una tecnología disruptiva (Bower y Christensen, 1995). Algunos ejemplos históricos importantes son la máquina de vapor, que aceleró la revolución industrial a finales del siglo XVIII, o la electricidad hacia fines del siglo XIX (Rondo y Neal, 2015).

En la segunda mitad del s. XX y primeras décadas del s. XXI, aparece un conjunto de tecnologías que provocan un cambio económico, social y cultural de tal dimensión que, en lugar de hablar de un salto cuantitativo, sería más adecuado hablar de un salto de carácter exponencial (Negroponte, 1995, p.8).

La informática constituye el elemento troncal de esta transformación, pero el efecto sinérgico de esta con algunas otras tecnologías y factores relacionados, de contemporánea aparición, ha potenciado ese cambio enormemente (Barceló, 1995, p.3). Los avances más significativos son de tipo tecnológico: la conectividad, portabilidad y ubicuidad de los dispositivos, la geolocalización, las computadoras vestibles (*wearable computers*), la robótica y la inteligencia artificial. Existen además otros factores, de tipo cultural, social y económico que también han contribuido significativamente a ese cambio. Especialmente la difusión de las redes sociales y la hipervalorización de la imagen como forma de comunicación. Asimismo, el abaratamiento progresivo de la capacidad de cómputo posibilita la proliferación de videocámaras y pantallas de alta resolución y pone, por primera vez, a la realidad aumentada y otras formas de realidad mixta al alcance de millones de usuarios.

Existe actualmente una marcada tendencia a incorporar estas tecnologías en todo tipo de objetos de consumo, en lo que se conoce como “sistemas embebidos”. Estos objetos, inclusive algunos muy simples y de bajo costo, se convierten así en “objetos tecnológicos”.

Si bien la denominación “objeto tecnológico” podría aplicarse a cualquier objeto producido por el hombre —en tanto es siempre necesario el uso de tecnología para su producción— es común que tal denominación se aplique particularmente a los objetos de consumo producidos por la industria electrónica. En este trabajo, la denominación “objeto tecnológico” se aplicará a aquellos objetos que hagan uso de alguna de las tecnologías antes mencionadas, cuya implementación requiere siempre de algún recurso electrónico.

El estudio de estos factores desde lo proyectual adquiere importancia por la incidencia cada vez mayor en todo tipo de productos y por la magnitud con que afectan a esos productos en múltiples aspectos inherentes al diseño, como lo morfológico, lo productivo y especialmente lo funcional y operativo. Sobre estos últimos dos aspectos se centra este trabajo.

No se trata aquí de estudiar *cualquier* objeto que haga uso de las men-

cionadas tecnologías sino de determinar cómo impactan en lo proyectual esas tecnologías solo **cuando están puestas al servicio de la relación entre los objetos y sus usuarios**, es decir, al servicio de las denominadas relaciones Humano-Máquina (Johannsen, 2008).

Con este propósito, se presenta aquí **un nuevo modelo taxonómico, denominado Realidad Intervenida, desde el cual abordar el diseño de los objetos tecnológicos con énfasis en la relación usuario-producto.**

Uno de los primeros antecedentes del tratamiento de estas relaciones en ese campo es presentado por Donald Norman, quien plantea un conjunto de reglas esenciales para la comunicación humano-máquina (Norman, 2007, p. 184).

Actualmente las relaciones humano-máquina constituyen el núcleo del denominado **“Diseño de Interacciones”** o Dxi, como se lo conoce por sus iniciales en inglés, que se enfoca particularmente en las interfaces humano-computadora. El creador del concepto, el diseñador industrial Bill Moggridge, lo explica en su libro titulado, precisamente, *Designing Interactions*:

Sentí que había una oportunidad para crear una nueva disciplina de diseño, dedicada a crear soluciones imaginativas y atractivas en un mundo virtual, donde se podían diseñar comportamientos, animaciones, sonidos, así como formas. Sería el equivalente al diseño industrial, pero en software en lugar de objetos tridimensionales. (Moggridge, 2007)

Aunque existen algunas definiciones más amplias del Dxi como “el arte de facilitar la interacción entre humanos a través de productos y servicios” (Saffer, 2006, p.9), que permitirían extender un poco más allá su objeto, el mismo autor restringe inmediatamente el dominio de su definición a “las interacciones entre los seres humanos y los productos que tienen algún tipo de ‘conciencia’, es decir, productos con un microprocesador que son capaces de detectar y responder a los humanos” (Saffer, 2006, p.9). Ambos autores hablan esencialmente de computadoras y software tradicionales, donde la interfaz es en general una pantalla y, a lo sumo, algún recurso adicional como el sonido. En todos esos casos el diseño se enfoca especialmente en el comportamiento de la interfaz y del software, y no tanto en lo que le pasa al usuario. El Diseño de Interacciones resulta insuficiente para abarcar por completo los factores tecnológicos antes mencionados, no solo porque incluyen la realidad aumentada, la robótica y otros elementos físicos que exceden el marco de la pantalla, sino porque esos factores han propiciado importantes e irreversibles cambios en el rol del usuario.

El nuevo rol del usuario

Factores como los dispositivos vestibles y la computación ubicua —entre otros— modifican especialmente el rol del usuario (Fogg y Danielson, 2009). Este usuario ya no solo pretende productos con determinadas prestaciones, sino que busca “experiencias” completas. Este es un concepto cuya génesis aparece en la *User Experience* a la que se refiere originalmente el concepto “Diseño centrado en el Usuario” de Norman

(1988), desarrollado a partir de la noción de *Affordance*. Esta última es una idea planteada antes por Gibson (1979, 1966) pero popularizada y desarrollada por el propio Norman (1988), que se refiere a qué es lo que el producto transmite al usuario y el modo en que lo hace.

En ese sentido, en los últimos años ha aparecido el concepto del “**Diseño de Experiencias de Usuario**”, usualmente conocido como *UX Design* o simplemente *UxD*; este concepto se usa en el diseño de páginas web y otras aplicaciones de software (Interaction Design Foundation, 2017), incluidas las experiencias multimediales y las de inmersión total o de realidad aumentada.

Si bien una parte muy importante del *UX Design* es el Diseño de Interacciones antes mencionado, se tienen en cuenta, además, otros múltiples aspectos como la arquitectura de la información, el diseño de imagen y sonido, el diseño de formas y la orquestación de todos estos factores entre sí (Cooper, Reimann y Cronin, 2007).

Más allá de su denominación, los distintos enfoques sobre el rol del usuario coinciden en la importancia de que **el diseñador tenga un entendimiento cabal de los usuarios y sus expectativas**. Mike Kuniavsky (2003), diseñador del *Palo Alto Research Center* (PARC), dice al respecto: “Conocer las expectativas de los usuarios es crítico para diseñar la interacción. Puede, inclusive, ser más importante cumplir con las expectativas, que hacerlo perfecto”.

El conocimiento de esas expectativas permitirá entender cómo es el modelo mental que el usuario tiene de la experiencia. Además, es clave que el modelo conceptual que se diseñe coincida con ese modelo mental (Weinschenk, 2011). Si bien distintos universos de usuarios tendrán diferentes modelos mentales, en general es posible identificar ciertos elementos comunes presentes en la mayoría de los usuarios actuales de productos tecnológicos. Uno de los más importantes de esos aspectos generales, que Norman (2011) aborda muy bien, es el de la relación de los usuarios con las prestaciones de un producto:

¿Por qué la gente compra una tostadora complicada y cara cuando puede comprar una más simple y barata que hace el trabajo igual de bien? ¿Por qué los volantes y espejos retrovisores están llenos de botones y controles?

Porque esas son prestaciones que la gente cree que quiere. Estas hacen la diferencia en el momento de la venta, que es cuando más importan. ¿Por qué deliberadamente construimos cosas que confunden a la gente que las usa? Respuesta: porque la gente quiere esas prestaciones. Porque la supuesta demanda de simplicidad es un mito cuyo momento ha pasado, si alguna vez existió.

Hágalo simple y la gente no lo comprará. Deles a elegir y escogerán el dispositivo que “hace más” aún entendiendo que eso significa más complejidad... ¿La tostadora es compleja y cara? Se venderá más...

El marketing manda, como debe ser, ya que una compañía que ignora el marketing será pronto una compañía quebrada. Los exper-

tos en marketing saben que la lista de prestaciones influencia la decisión de compra, incluso si los compradores son conscientes de que probablemente nunca usarán la mayoría de esas funciones. (p 55-56)

Este razonamiento, aunque puede sonar hoy anacrónico o contrario a la sustentabilidad, sigue siendo plenamente aplicable para describir al usuario actual promedio de productos tecnológicos. Este usuario no solo busca ya muchas prestaciones, sino que ahora, cuando incorpora un producto nuevo, pretende además que se integre sin esfuerzo al conjunto de dispositivos personales y hogareños del que ya dispone, y que potencie sinérgicamente las prestaciones de ese conjunto. Kuniavsky (2003) llama a esta integración “un sistema de objetos” y advierte que “Diseñar para sistemas de objetos será muy diferente a diseñar para la mera interoperabilidad de objetos”.

El usuario de estos “sistemas de objetos” supera incluso las demandas del descrito por Norman puesto que a diferencia de aquel, este desea explorar y aprovechar hasta la última prestación de su arsenal tecnológico, aunque alguna de esas prestaciones solo vaya a usarla por única vez el día que adquirió el producto, y apenas en modo “demo”. Es un usuario no muy dispuesto a leer manuales. Quiere que la instalación del producto, su uso e integración con los otros dispositivos sea lo más rápida y transparente posible; que el producto sea visible en su red WiFi, que se pueda manejar desde su celular, que publique automáticamente en su perfil de redes sociales, pero sin comprometer su privacidad, que sea ecológico, y esta lista de exigencias continúa incrementándose.

Algunos autores especialistas en la Internet de las Cosas, como April Hamilton, miembro del equipo que desarrolló Alexa para Amazon, ubican las expectativas del usuario en un nivel casi inalcanzable, que metaforizan como “la computadora de *Viaje a las estrellas*” (Hamilton, 2017), en referencia a la supercomputadora que aparece en esa popular serie de TV futurista y que resuelve con soltura los problemas cotidianos de los protagonistas.

El aporte del modelo taxonómico de Realidad Intervenida propuesto

El problema que enfrenta hoy el diseñador de objetos tecnológicos se diversifica. Además de las cuestiones tradicionalmente propias del Diseño Industrial, debe atender a las nuevas y fuertes exigencias del usuario, mantener la gran cantidad de prestaciones que exige el marketing y compatibilizar todo esto con una adecuada “Experiencia del Usuario”. Esta debería fundamentarse en una interfaz capaz de brindar todas las posibilidades requeridas sin atosigar al usuario, respetando principios establecidos del buen diseño, como los de Dieter Rams (Vitsoe, 2016), que generalmente postulan interfaces lo más simples posible, alrededor de la idea de que “menos es más”.

La solución que se propone para esto es que las interfaces tengan la capacidad de reconfigurarse a sí mismas, de forma dinámica y en tiempo real, para brindar la mejor Experiencia de Usuario posible. En cada ocasión deberán

ofrecer opciones simples, bien contextualizadas, que supriman lo innecesario para el momento y que se amplíen automáticamente cuando resulte necesario. Se propicia una interacción natural, con controles bien adaptados visual y morfológicamente a la variable que representan, ubicados siempre en el lugar que resulte más adecuado y accesible para el usuario.

Un mecanismo ideal para ese propósito resulta ser la Realidad Mediada, por sus posibilidades de actuar sobre la percepción que el usuario tiene de lo real, en conjunción con la flexibilidad que le brinda lo virtual. Como se verá más adelante, estas posibilidades se potencian enormemente cuando se incorporan elementos como la robótica, los sistemas embebidos, las comunicaciones inalámbricas y la sensibilidad al contexto, entre otros.

La Realidad Mediada, tomada como un conjunto de mecanismos de tratamiento visual de la información o como una herramienta para generación de interfaces, pertenece claramente al campo disciplinar proyectual, ya sea como parte del diseño audiovisual en el primer caso, o como parte del diseño de interacciones, en el segundo. En cambio, los elementos adicionales mencionados, como la electrónica o las comunicaciones, pueden resultar a primera vista más lejanos, más propios de la ingeniería que del diseño.

La intención al presentar el modelo taxonómico de la Realidad Intervenida es salvar esa distancia, para lo cual estas nuevas tecnologías se analizan desde el mismo enfoque conceptual que el universalmente aceptado modelo de la Realidad Mediada, el cual se extiende hasta abarcar esas nuevas tecnologías. No se trata de una extensión voluntarista o forzada. Surge a partir de un conjunto de características que la justifican y que son justamente aquellas que resultan de interés para las disciplinas del diseño, como el tratamiento que cada categoría hace de la percepción del usuario o la incidencia que cada categoría pueda tener en el terreno de las interfaces.

El modelo de la Realidad Intervenida se presenta así como **un marco desde donde pensar integralmente las interfaces hombre-máquina**. De este modo, los nuevos elementos de hardware o software introducidos son puestos en un mismo plano conceptual que los recursos multimediales ya conocidos, lo cual posibilita al diseñador recurrir a cualquiera de ellos de manera análoga e indistinta, sin preocuparse por las diferencias de cara a una futura implementación.

No se trata de eliminar los requerimientos de ingeniería implícitos en un proyecto tecnológico, sino de adoptar un enfoque metodológico y operativo que pueda encapsular las complejidades técnicas en un nivel de detalle distinto al necesario para diseñar la interfaz con el usuario. A la hora de la implementación, podrá buscarse el recurso tecnológico más adecuado para satisfacer el requerimiento funcional, de acuerdo con el estado del arte, los costos y otras variables de producción; se tiende así un puente entre el Diseño y la Ingeniería de Producto.

2. El modelo taxonómico de la Realidad Mediada

La primera figura que surge al hablar de Realidad Mediada es Steve Mann, investigador e inventor canadiense, PhD del *Massachusetts Institute of*

Technology y profesor titular en el Departamento de Ingeniería en Computación y otras dos carreras en la Universidad de Toronto, entre muchos otros cargos destacados que ha ocupado (Steve Mann, s.f).

Mann es un pionero de las computadoras vestibles, la realidad aumentada y de las interfaces extremas, a punto tal de haber sido considerado una especie de “*Cyborg*” en numerosas oportunidades, por circular en la calle con computadoras, gafas o cascos en una época en la que estos dispositivos, por sus dimensiones, no eran fácilmente ocultables y resultaban de extrema rareza.

Desde sus comienzos en la década de 1970, Mann creó innumerables objetos y conceptos sobre los que se desarrollaría la Realidad Aumentada, incluido el modelo taxonómico presentado en la figura 1 (Mann, 2002.). Este modelo describe las distintas modalidades en que, mediante el uso de computadoras y otros dispositivos electrónicos y mecánicos, se puede alterar la percepción de la realidad que tienen las personas.

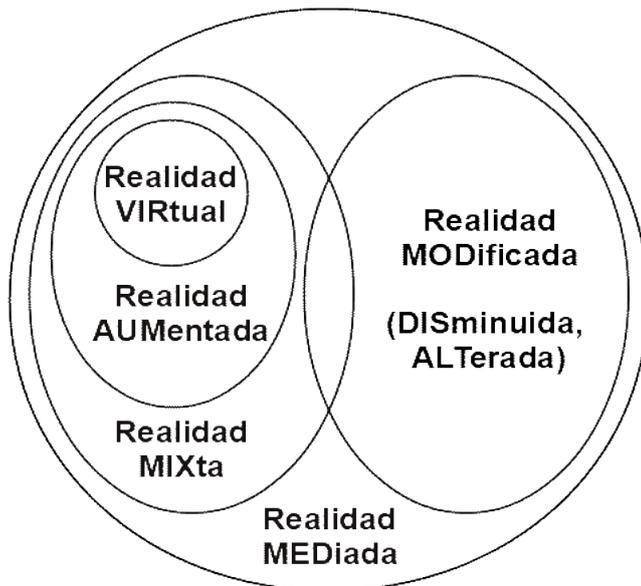


Figura 1

Modelo de la Realidad Mediada de Mann. Fuente: Mann, S. (2002). Versión en español del autor.

A partir de este modelo, se describe a continuación cada una de las categorías que lo conforman, para lo cual se sigue un orden que va desde adentro hacia afuera del diagrama de Venn, es decir, desde lo más puntual y particular hasta lo más abarcativo o general.

Este recorrido hace las veces de descripción del estado del arte y los antecedentes de la cuestión, a la vez que sirve para poner en claro la nomenclatura y las designaciones que se usan en este trabajo, no siempre idénticas en las diferentes fuentes.

2.1. Realidad Virtual

El término “Realidad Virtual” (RV) es el más consensuado de todos, debido a que tiene ya varios años de existencia (circa 1970, atribuido a Myron Krueger, según Wardrip-Fruin y Montfort. 2003, y otros autores). Se refiere a la creación de un mundo completamente digital o de imágenes,

y a las diferentes técnicas aplicadas para “convencer” a los sentidos del usuario de que ese mundo responde de manera similar al mundo real. Designa los sistemas donde los estímulos sensoriales reales pretenden **reemplazarse completamente** por los que genera el sistema. El principal estímulo considerado es el visual y las herramientas suelen ser gafas, cascos u otros elementos de inmersión total, ya que se requiere aislar completamente al usuario del mundo real.

2.2. Realidad Aumentada o Expandida

Se trata de aquellos sistemas en los que la percepción directa o indirecta de objetos del mundo real es enriquecida mediante el agregado de información digital, que no reemplaza completamente esta percepción, sino que la complementa con información no evidente de otro modo (He, J. *et al.*, 2017).

Según la interfaz con la que el usuario acceda a la Realidad Aumentada, es posible clasificarla en diversas subclases que se exponen a continuación.

2.2.1. Realidad Aumentada Móvil

La percepción de la realidad es indirecta, mediante un dispositivo móvil (tableta, *smartphone* o similar) dotado de una cámara y pantalla. La información virtual se agrega a la imagen de los objetos reales en la pantalla del dispositivo, que se convierte en la interfaz de usuario.

La principal fortaleza de este enfoque radica en la portabilidad y, por lo tanto, en la disponibilidad permanente que tiene el usuario del dispositivo necesario para acceder al contenido, su elevada disposición a utilizar el teléfono móvil y la facilidad para la descarga de aplicaciones, ya que se cuenta con una tienda *online* con la que el usuario está familiarizado de antemano.

La desventaja más importante es la capacidad de proceso limitada — aunque esto mejora día a día— y el consumo de batería, que todavía es una importante variable restrictiva.

2.2.2. Realidad Aumentada “vestible”

Su principal manifestación está basada en dispositivos que el usuario lleva montados en su cabeza (HMD, por *Head Mounted Displays*), especialmente los denominados “dispositivos cercanos al ojo” que se ven y se usan como anteojos. Algunos ejemplos son: Google Glasses, Microsoft Holo Lens, entre otros. Esta tecnología difiere de la anterior en que la percepción del mundo real es directa y la información digital adicional se proyecta sobre la superficie del anteojo, de modo que el usuario ve esa información superpuesta sobre los objetos que percibe directamente a través del cristal transparente.

Muchos analistas predecían que los anteojos de Realidad Aumentada resultarían en poco tiempo un objeto de uso permanente, que los usuarios adoptarían sin dudar. Sin embargo, la voluntad del público resultó nuevamente algo difícil de prever. La mayoría de los usuarios no aceptó el uso permanente de un dispositivo montado en la cabeza y prefirió inclinarse

por un dispositivo de uso manual, que utilizaría solo esporádicamente y para determinadas tareas específicas. La Realidad Expandida Móvil resultó así más adecuada a ese esquema de uso y por ahora se perfila como la opción más válida, junto a la Realidad Virtual ya descripta.

2.2.3. Realidad Aumentada Espacial

En esta técnica, la percepción visual del objeto es inmediata y la información se agrega de manera directa sobre los objetos reales, ya sea mediante alguna técnica de proyección o con la incorporación de pantallas directamente incrustadas en el objeto. Su principal ventaja radica, por tanto, en que los usuarios no requieren de dispositivos individuales de ningún tipo (Bryson *et al.*, 1997), lo cual la vuelve particularmente aplicable para exhibiciones grupales e instalaciones artísticas similares.

Otra de las formas de la Realidad Aumentada Espacial se popularizó en los últimos años con el nombre de *mapping* y se la utiliza con asiduidad en espectáculos públicos. En rigor, se trata de una versión limitada de Realidad Aumentada Espacial, puesto que se aplica sobre objetos estáticos y se trata más bien de una proyección muy finamente ajustada que de un verdadero recurso de Realidad Aumentada. Sin embargo, con animaciones ingeniosas y proyectores potentes, se pueden lograr efectos muy atractivos.

La Realidad Aumentada Espacial se puede complementar con la utilización de interfaces tangibles que permiten actuar sobre características virtuales con herramientas reales; por ejemplo, el uso de un pincel o aerógrafo que pinta digitalmente sobre un objeto real. Suele usarse en Diseño Industrial para aportar realismo a *mockups* de formas simples (esferas, cubos, paralelepípedos, etc.) incorporando características visuales proyectadas que permiten una muy buena aproximación al producto final. Asimismo, pueden modificarse muy fácilmente hasta encontrar la forma más adecuada (Von Itzstein *et al.*, 2011).

2.3. Realidad Mixta

En 1994, Paul Milgram y Fumio Kishino definen la realidad mixta como “cualquier lugar entre los extremos de un *continuum* que se extiende entre los extremos del mundo real y la virtualidad completa” (Milgram y Kishino, 1994).

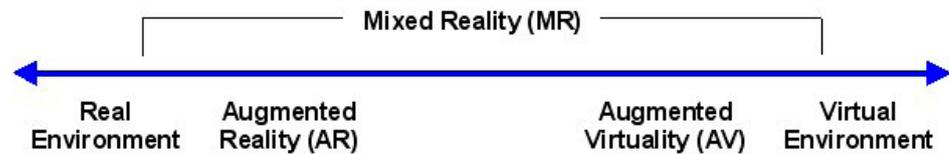
El uso de esta denominación permite referirse al campo completo, sin necesidad de precisar una determinada ubicación dentro de ese *continuum* al que los autores denominan “de la virtualidad” (p.3). En la Fig. 2 se reproduce el gráfico original propuesto por sus autores.

Este trabajo constituye la clasificación taxonómica más aceptada de los dispositivos visuales que presentan algún grado de mezcla entre la percepción visual directa de los objetos del mundo real y la apreciación de imágenes virtuales, ya sean bidimensionales, tridimensionales, en una pantalla o en un entorno inmersivo.

La Realidad Mixta reconoce sus orígenes en cuatro taxonomías anteriores. La de Zeltzer (1992), que propone una taxonomía tridimensional de

Figura 2

Continuum de la Realidad Mixta. Fuente: Milgram y Kishino (1994).

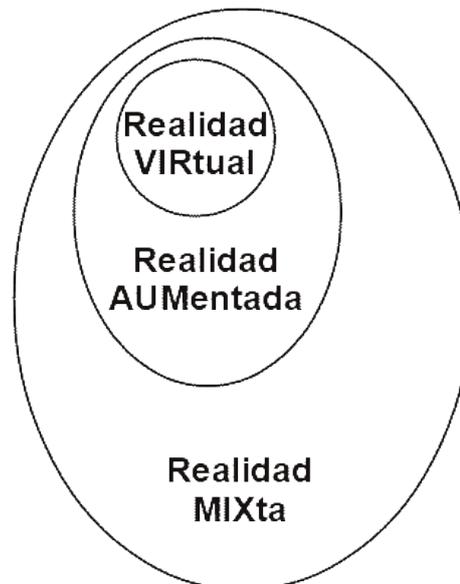


los sistemas de simulación gráfica, la de Sheridan (1992) basada también en tres determinantes, la de Robinett (1992) que propone una compleja categorización nueve-dimensional de los dispositivos de montaje en la cabeza y especialmente la taxonomía de Naimark (1991 a,b) que clasifica diferentes aproximaciones para registrar y reproducir experiencia visuales (Milgram y Kishino, p.5).

A pesar de su simpleza -o probablemente a causa de ello- el modelo de Milgram y Kishino ha alcanzado amplia difusión y la denominación Realidad Mixta se ha convertido en el estándar *de facto* para referirse, globalmente y

Figura 3

Subconjunto de la Realidad Mixta en el modelo de Mann. Fuente: Mann, S. (2002). Versión en español del autor.



sin diferenciación, al conjunto de Realidad Virtual más Realidad Aumentada. Consecuentemente, en el Modelo bidimensional de Mann se representa como un subconjunto que incluye a ambas, como se indica en la Fig. 3.

2.3.1. Virtualidad Aumentada

Esta variante no aparece explícitamente en el modelo de Mann (2001). Milgram y Kishino (1994) la ubican dentro de la Realidad Mixta, de modo que, aún sin explicitarla, es probable que Mann la considere también dentro de ese conjunto. Consiste en la integración de elementos existentes en el mundo real dentro de un entorno virtual. Los elementos reales usualmente son el propio usuario y/u otras personas, lo que se conoce como avatar, o ciertos dispositivos tales como herramientas, instrumentos quirúrgicos, robots, etc.

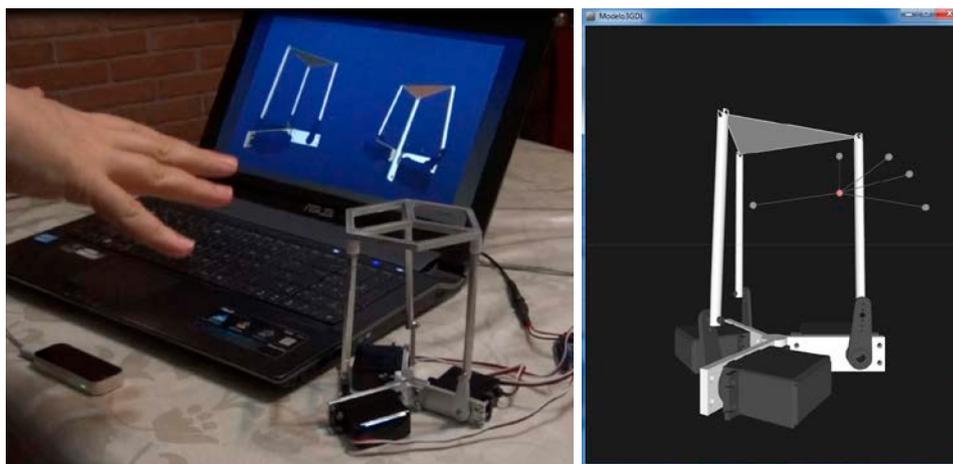


Figura 4

Virtualización de un mecanismo que copia movimientos de la mano del usuario en un entorno virtual y simultáneamente en un dispositivo robótico. Desarrollo del Autor.

Muy frecuentemente, en entornos virtuales de inmersión total, se incluyen representaciones de partes del cuerpo del usuario, especialmente las manos.

Es importante destacar que la representación virtual debe “copiar”, en tiempo real, movimientos, posiciones y otras características de los elementos reales que representa. Con tal fin los sistemas de Virtualidad Aumentada requieren de algún dispositivo electrónico de captura que pueda registrar el comportamiento de dichos elementos. Los dispositivos más usuales para esa captura suelen ser conjuntos de cámaras de video con o sin estereoscopia, generalmente de tipo infrarrojo, tales como *Wii Remote Plus* de Nintendo o *Kinect-Xbox360* de Microsoft.

La Fig. 4 muestra un ejemplo de virtualización de un mecanismo desarrollado por el autor. El dispositivo copia los movimientos de la mano del usuario en un entorno virtual y simultáneamente en un dispositivo robótico. En la imagen virtual, el círculo pequeño de color rojo representa la palma y las líneas terminadas en círculos de color gris representan los dedos de la mano que detecta una cámara estereoscópica infrarroja *Leap Motion*. La virtualidad aumentada, es decir, la representación de objetos del mundo real en lo virtual, es doble en este caso: opera sobre la mano y el dispositivo mecánico.

Videos de funcionamiento en <https://youtu.be/FYBTt9XRFBg> y <https://youtu.be/5yG-eGKREWo>

2.4. Realidad Disminuida, Modificada o Alterada

En estos sistemas, la percepción del mundo real es indirecta. Lo real es captado por una cámara y recreado digitalmente, alterado significativamente por la eliminación o distorsión voluntaria de alguna característica particular presente en la imagen original.

En general, esta técnica se utiliza para eliminar de la imagen algún elemento del mundo real que resulta indeseable en la recreación de la imagen, como una marca comercial o un determinado objeto. Aunque puede operarse en tiempo real, mediante herramientas de software, no necesariamente debe ser así: las herramientas de posproducción habituales de

cine y video, que cuentan con facilidades para esta eliminación, también son un ejemplo de realidad disminuida (Bardi, 2016).

Un caso típico está representado en las tomas cinematográficas donde se muestra algún lugar público habitualmente saturado de gente y automóviles como si fuera un lugar desolado, con viviendas y calles completamente vacías.

Otro caso es la distorsión voluntaria —conocida en la jerga televisiva como *blur*— de rostros o leyendas que no se desea dar a conocer al público por razones legales o de privacidad de los involucrados.

En el primer caso se habla de Realidad Disminuida, puesto que lo representado muestra menos elementos que los que realmente tiene el mundo real. En el segundo caso se habla de Realidad Modificada o Alterada, ya que el elemento se continúa percibiendo (por ejemplo, el testigo de identidad reservada), pero aparece completamente distorsionado por el sistema.

Una diferencia notable entre ambos conceptos es que, en el caso de la Realidad Disminuida, resulta sumamente importante que el espectador no perciba la eliminación, mientras que en el segundo caso la distorsión usualmente no requiere ser disimulada. Esto establece una gran diferencia de complejidad técnica, que resulta mucho mayor para el caso de la Realidad Disminuida, especialmente si se ejecuta en tiempo real y no en postproducción.

Las técnicas empleadas para la eliminación imperceptible de objetos pueden clasificarse en dos grandes tipos. Por un lado, las de tipo “observacional”, que se basan en la obtención de imágenes previas del fondo de la escena, que luego se superponen al objeto que se quiere eliminar. Si bien esta técnica es la más simple, requiere la toma de las imágenes del fondo “limpio”, una planificación y ejecución previa que no siempre resulta posible.

Por otro lado, se encuentran las técnicas de tipo “*in-painting*”, como las descritas en Kaway *et al.* (2007-2016). Estas utilizan alguna clase de algoritmo para extraer de la propia imagen un patrón que permite estimar cómo debería ser el fondo de la escena detrás del objeto en cuestión. Luego superponen esa estimación al cuadro, para hacer invisible el objeto. Esto puede resultar complejo y demandante en términos de procesamiento, sobre todo si el fondo no es plano (Kaway *et al.*, 2013), pero es la única solución si no se tiene oportunidad de registrar el fondo con anterioridad.

La Realidad Disminuida puede considerarse el opuesto de la Realidad Aumentada (una técnica quita y la otra agrega), pero es más apropiado considerarlas complementarias. De hecho, una importante aplicación de la Realidad Disminuida bien puede ser la limpieza de una imagen, donde por ejemplo se elimina un edificio existente, para luego insertar en esa imagen un elemento de Realidad Aumentada, como un nuevo edificio por construirse en el lugar.

2.5. Realidad Mediada por computadora

Desde el punto de vista taxonómico, tal como lo menciona el Dr. Ing. Ken Moser (Bardi, 2016), es evidente que la Realidad Disminuida, “dado que no mezcla explícitamente dos tipos de realidad” técnicamente se encuentra fuera del mencionado “*continuum* de la virtualidad” de Milgram y Kishino (1992, p.3). Por lo tanto, también queda excluida del conjunto de la Realidad Mixta. A lo sumo, puede decirse que se intersecta ligeramente con esta, puesto que en ambas habría un Real y un Virtual no

coincidentes, que pueden —o no— coexistir en simultáneo.

Esta situación se ve muy bien expresada en el ya mencionado modelo propuesto por Steve Mann (Fig. 2) que da lugar a la Realidad Mediada, concepto que él mismo definiera anteriormente como “cualquier medio computacional que altere la percepción”. (Mann, 2002).

Este modelo bidimensional, universalmente difundido y aceptado, incluye la Realidad Modificada (que el continuum de Milgram y Kishino no incluye) a la vez que evidencia cierta intersección entre esta y la Realidad Mixta.

Se trata, entonces, de una supercategoría que incluye a todas las anteriores y que permite definir aquí lo siguiente: la Realidad Mediada por computadora es un concepto que se aplica a todos aquellos sistemas que, mediante la intervención de computadoras, **umentan, disminuyen o de algún otro modo modifican, la percepción que se tiene del mundo real, el cual permanece inalterado.**

3. El modelo de la Realidad Intervenida

3.1. Limitaciones de los modelos existentes y necesidad de su ampliación

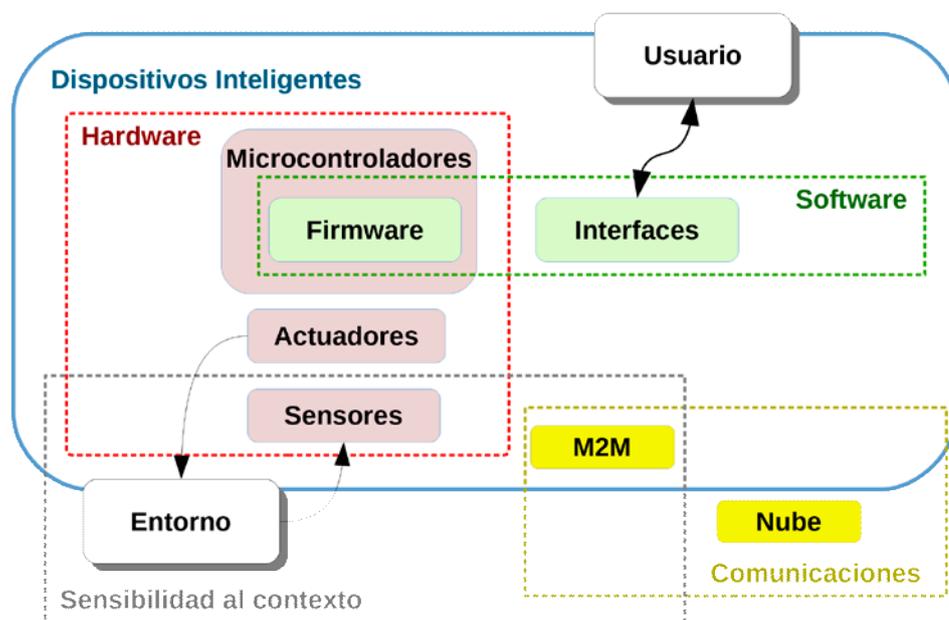
El capítulo anterior concluye con una definición de Realidad Mediada que incluye todos los dispositivos o sistemas expuestos hasta aquí y en la que se destaca su característica particular: lo único modificado por el sistema es la percepción que se tiene del mundo real; este permanece inalterado.

De un tiempo a esta parte, comienzan a aparecer dispositivos que parecen escaparse de los límites de esa definición. A modo de ejemplo, se describe un sistema de exhibición inteligente desarrollado recientemente por el autor. Se trata de un sistema controlado por computadora para la iluminación y el control del movimiento de un conjunto de vitrinas de un museo, que trabajan en forma interactiva con una presentación multimedial. A medida que una pantalla gigante (*video-wall*) muestra información relativa a un determinado objeto, la vitrina que contiene a ese objeto se mueve hacia el centro de la escena. Se destaca su iluminación interna y externa, y al mismo tiempo se ve atenuada la iluminación de las otras vitrinas del espacio. La banda de audio y la distribución espacial del sonido se controlan en simultáneo. Si la presentación se programa para un público amplio, la lógica de movimientos de las vitrinas sigue a la de la presentación. Si se programa para público individual, el sistema detecta la cercanía del espectador a determinada vitrina, así como el recorrido que el espectador va haciendo de la muestra, y adapta la presentación multimedial y la conducta de las vitrinas a ese recorrido.

Cabe preguntarse entonces: ¿a qué categoría de la Realidad Mediada pertenecería este sistema? No se trata de Realidad Virtual, puesto que se trabaja no solo con imágenes, sino también con vitrinas y objetos físicos exhibidos. No se trata de Realidad Aumentada, Disminuida o Alterada, puesto que la percepción de los objetos es directa y sin alteraciones. Y, sobre todo, no se ajusta al conjunto de la Realidad Mediada, dado que no cumple la definición antes expresada; es decir, no altera la percepción del mundo real únicamente, sino que este se ve alterado físicamente por objetos que se mueven, se iluminan o se oscurecen, perciben al usuario y sus conductas, y se comunican entre sí. Todos estos elementos no es-

Figura 5

Dispositivos Inteligentes.
Principales elementos y sus relaciones.



tán contemplados en la noción Realidad Mediada expuesta hasta ahora. Asimismo, existen centenares de nuevos productos comerciales que interactúan entre sí, con el ambiente físico y con los usuarios, que tampoco pueden considerarse productos de Realidad Mediada. Entre ellos, se encuentran televisores que controlan la luz del ambiente —una tecnología desarrollada por Philips, con el nombre de *Ambilight*— adaptándola en tiempo real a los colores en pantalla. Otros televisores se apagan solos cuando nadie los está mirando o se vuelven “invisibles” al reproducir en la pantalla una copia exacta de la pared que tienen detrás (la función “*Ambient Mode*” de Samsung Qled).

A medida que se consideran nuevos dispositivos o tecnologías, más insuficiente resulta el modelo la Realidad Mediada para describir esas tecnologías. ¿En qué categoría se incluiría un sistema de reproducción de música por *streaming* como Spotify, con más de 70 millones de suscriptores a la fecha, que interrumpe automáticamente la reproducción de audio por el sistema de parlantes de la casa cuando el usuario sale de ella y la reanuda exactamente en el mismo punto desde los parlantes del auto cuando el usuario se sube a él? ¿Cómo clasificar un dispositivo como Alexa, que selecciona mediante inteligencia artificial las noticias de interés del usuario y se las lee en voz alta?

Al seguir explorando, se encontrarán centenares de ejemplos, pero una enumeración, por exhaustiva que sea, no resulta útil si no se identifican las características esenciales que presentan estos productos que el mercado ha denominado “inteligentes”. En la Fig. 5, se ilustran los principales factores que intervienen en estos dispositivos y que, en su mayoría, el modelo de Realidad Mediada antes visto no contempla.

Es evidente, por lo tanto, la necesidad de contar con un nuevo modelo que incorpore estos elementos y las relaciones que los vinculan a fin de adjudicarles su justo valor en tanto tecnologías determinantes para un nuevo tipo de dispositivos.

3.2. Fundamentación teórica del nuevo modelo

“Las tecnologías más profundas son aquellas que ‘desaparecen’. Se entretajan en la trama de la vida diaria, hasta hacerse indistinguibles”. Mark Weiser (1991)

El origen de gran parte de la tecnología de computación personal y de consumo más utilizada hoy en día puede rastrearse hasta dos institutos de investigación relativamente recientes. Uno es el *Augmentation Research Center* (ARC) creado por Douglas Engelbart en la década de 1960. El otro, creado en los años 1970 y que puede considerarse continuador del primero, es el laboratorio de investigación tecnológica de la compañía Xerox, ubicado en Silicon Valley, California, en la ciudad de Palo Alto. Es bien conocido por la sigla de su nombre en inglés, PARC por *Palo Alto Research Center* (Lázaro y Meixeiro, 2008).

Estos laboratorios se convirtieron en una increíble usina de generación de proyectos innovadores. Cuentan entre sus antecedentes (Bardini, 2000) la creación del *mouse*, de las interfaces gráficas de tipo *WIMP* (Ventana, Icono, Menú, Puntero) que utilizan hoy Windows, Apple y Ubuntu, la tecnología de redes Ethernet, la red ARPANET convertida luego en la espina dorsal de Internet hasta los años 1990, la computadora portátil, los dispositivos de mano, la programación orientada a objetos y los documentos *WYSIWYG* que permiten la existencia de los procesadores de texto tal como se los conoce hoy, entre otros grandes avances de las computadoras personales (Lázaro y Meixeiro, 2008).

En este laboratorio, Mark Weiser trabajaba como jefe de tecnología cuando adquiere reconocimiento mundial gracias a un artículo publicado en *Scientific American* titulado “La computadora del siglo veintiuno” (Weiser, 1991). Aún hoy, bien iniciado ya el siglo al que el título se refería, este artículo es considerado casi un manifiesto, precursor y premonitorio del modo de vida de la sociedad moderna. Este y otros artículos fundacionales de Weiser fueron citados en un cuarto de los *papers* publicados en cada edición de la reconocida *Ubicomp Conference* en los años subsiguientes (Kinsley, 2009).

El concepto fundamental que introduce Weiser es el de la “computación ubicua”, es decir, pequeños computadores distribuidos en el interior de casi todas las cosas, que trabajan para el usuario sin que este se percate siquiera de su existencia. Este concepto se apoya sobre cuatro pilares.

El primero de esos pilares es la invisibilidad de esta tecnología, mencionada en la primera frase del artículo que se cita textual al comienzo de este capítulo. Weiser entiende que la operación de las computadoras no puede ser una carga ni una tarea más de la que el usuario deba ocuparse. El computador deberá estar al servicio del usuario sin que este se percate de él, tal como sucede con los miles de cables dentro de las paredes de un edificio o los cientos de motores y solenoides en un automóvil.

El segundo pilar es la *embodied virtuality* que se traduce como “virtualidad embebida”, y se refiere a las pequeñas computadoras incrustadas en todo tipo de objetos, aun los más pequeños y baratos, tal como sucede hoy en día. Weiser acuña este término con la idea de poner en evidencia “la fuerte oposición entre la noción de realidad virtual y la computación invisible y ubicua”. Este punto resulta importante para esta investigación,

ya que ubica claramente a la virtualidad embebida en un conjunto externo a la Realidad Mediada, por lo que queda sustentada, así, la necesidad de un modelo más amplio que la contenga.

El tercer pilar es la escala. Weiser pronostica que la variedad de tamaños de computadoras se dividirá en tres. Por una parte, la escala de pulgadas, que se asocia a pequeños dispositivos de mano personales del usuario (el actual *smartphone*) a los que llama Tabs y que se asemejan en tamaño a las notas Post-It. Le sigue la escala de pies (un pie equivale a 30 cm, aproximadamente) para las computadoras de oficina, que asocia con el tamaño de una hoja o una revista, como las actuales *notebooks* y tabletas. Por último, la escala de yardas o metros para presentaciones grupales, que se asemeja al pizarrón, en lo que hoy sería el video proyector que tanto se utiliza en reuniones y aulas. La Fig.6 muestra los tres prototipos funcionales desarrollados en el PARC, uno de cada escala.

Figura 6

Las tres escalas de Weiser. Prototipos funcionales del ParcTab, ParcPad y Live-Board, desarrollados por el PARC en la década del 1980. Fuente: XEROX PARC (1998-1995)



El cuarto pilar es la ubicación. Para Weiser es clave que cada computadora sepa en qué habitación o ambiente se encuentra y que pueda adaptar su comportamiento de acuerdo con ello. Actualmente, el concepto se conoce como "sensibilidad al contexto" o *context awareness* y se desarrolló enormemente en diferentes escalas, desde lo posicional (unos pocos centímetros) a lo ambiental (escala de metros) y lo geográfico (escala de kilómetros).

Por último, y sin duda el más importante, **el concepto que encadena fuertemente los cuatro pilares descriptos: la conectividad.** Todos esos dispositivos de pantalla, personales y grupales, así como las decenas de computadoras incrustadas en los objetos, se entretrejen en una red invisible de comunicaciones, alámbrica e inalámbrica, que optimiza su funcionamiento y hace fluir la información en forma transparente y siempre apropiada.

En el artículo se menciona que el usuario arrastra un documento desde la computadora de escritorio a su dispositivo personal y luego en la re-

unión lo abre en la pizarra electrónica: no está sino anticipando la nube y la Internet de las Cosas (*IoT*, por *Internet of Things*) tan difundida actualmente. Al hacer referencia a las puertas que se abren solas frente al usuario autorizado y se cierran para quien no tiene autorización, o al mencionar la cafetera que prepara el desayuno cuando se lo piden, se están introduciendo los dispositivos robóticos, íntimamente ligados a los sistemas embebidos.

A partir de esos sólidos fundamentos, el paradigma de la computación ubicua se desarrolló sin interrupción. Cualquiera sea el nombre que se le asigne, ya sea computación pervasiva, inteligencia ambiental, dispositivos inteligentes o el más reciente y amplio Internet de las Cosas, es evidente que esta tecnología gana terreno día a día y sigue en esa dirección.

Como se puede ver en la Tabla 1, Gartner, la compañía mundial más importante de investigación en temas de Tecnología de la Información, estima que para el año 2020 la cantidad de dispositivos instalados **duplicará** con creces **la cantidad de habitantes** en el planeta.

Categoría	2016	2017	2018	2020
Consumidor	3963.0	5244.3	7036.3	12863.0
Negocios: Mercado Intersectorial	1102.1	1501.0	2132.6	4381.4
Negocios: Mercados específicos	1316.6	1635.4	2027.7	3171.0
Total	6381.8	8380.6	11196.6	20415.4

Tabla 1

Dispositivos de IoT en funcionamiento por año (en millones de unidades)

Fuente: Gartner (Enero 2017)

Para que estos dispositivos resulten útiles y funcionales, siempre se requerirá que el usuario pueda comunicarse e interactuar con ellos mediante alguna interfaz. Las interfaces naturales son todavía las pantallas y especialmente, por su carácter ubicuo, los dispositivos móviles inteligentes. En la medida en que estos evolucionen hacia la Realidad Mediada, como ya se demostró, los dispositivos robóticos, los sistemas embebidos y la Internet de las Cosas también deberán adoptar como interfaz a las tecnologías propias de la Realidad Mediada.

Resulta coherente, entonces, ampliar el modelo clasificatorio de esta Realidad Mediada de modo que incorpore las nuevas tecnologías referidas. Sin embargo, queda claro en su definición que la Realidad Mediada no contempla modificaciones del mundo físico, como claramente lo son la incrustación de un microcontrolador, los sensores físicos o los dispositivos robóticos. Hace falta generar **un nuevo modelo**, un nivel superior, **un superconjunto que incluya a la Realidad Mediada en unión con estas categorías físicas**.

3.3. Esquema conceptual y nuevas categorías propuestas

A partir del paradigma clasificatorio de “las Realidades” que ha demostrado ser apropiado, se introduce a continuación el nuevo modelo propuesto, en un esquema bidimensional o Diagrama de Venn como el utilizado por Steve Mann para su modelo de Realidad Mediada. Las nuevas categorías propuestas se indican con línea continua y color azul y se desarrollan más adelante. El nombre propuesto para el nuevo tipo de

modelo que se configura es el de “Realidad Intervenida”, y se discute en los siguientes párrafos.

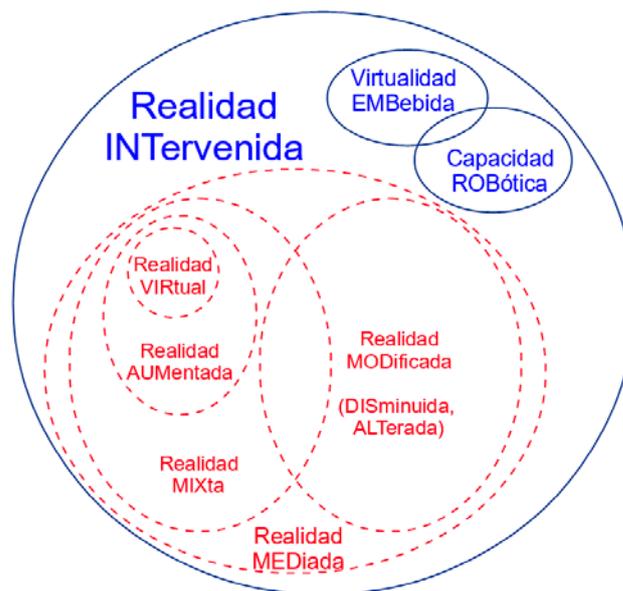
Sobre el término “intervenir”, el Diccionario Enciclopédico Vox 1 de Larousse (2009) define en sus tres primeras acepciones: “Tomar parte en un asunto”; “Interponer uno su autoridad”; “En general, mediar (interponer)”.

La “Realidad Intervenida” hace referencia a un objeto o instalación donde algo nuevo, originalmente externo, se ha introducido, se ha vuelto interno y ha tomado el control. Esta es justamente la idea de la Internet de las Cosas y de los sistemas embebidos. Las cafeteras y puertas ya existían cuando Weiser predice que en el futuro prepararán por su cuenta el desayuno o controlarán automáticamente quién puede entrar y quién no, gracias a su robotización o a la inclusión de un sistema embebido. Estas tecnologías se introducen en objetos que ya estaban presentes en el mundo, precisamente para mediar entre esos objetos y el usuario; es decir, lo intervienen.

El mismo concepto subyace en la propia denominación Internet de las Cosas. Así como la *World Wide Web* conecta a personas que ya existían antes de ella, la IoT conecta cosas, objetos, que también existían previamente en la realidad. Se puede decir que esos objetos y realidad han sido “intervenidos” por la tecnología.

Figura 7

El Modelo de la Realidad Intervenida. El uso no convencional de las mayúsculas respeta el esquema introducido por Mann, S. (2002) en su modelo de la Realidad Mediada



La segunda acepción citada hace mención a la autoridad. Es frecuente el uso de la palabra “intervención” para referirse a la ocasión en que una autoridad superior (un juez, el gobierno nacional) toma el control de una institución de menor nivel (una repartición pública, una provincia). Eso es precisamente lo que hacen —como su nombre lo indica— los microcontroladores. Son pequeñas computadoras creadas para controlar los dispositivos a los que se conectan. Estos computadores y el software que corre en ellos son lo que conforman, tomando el nombre que le da Weiser, la “Virtualidad Embebida” que forma parte de la Realidad Intervenida.

Un razonamiento análogo puede aplicarse a la otra categoría que se introduce en la Realidad Intervenida, la “Capacidad Robótica”, que no se

refiere a los grandes robots que sueldan carrocerías automotrices en una fábrica. Se trata aquí de los objetos que han sido intervenidos por las técnicas de la robótica. Son objetos pequeños y cotidianos que, al incorporárseles motores y otros actuadores mecánicos, sensores y programas de software, han adquirido (mediante microcontroladores) la capacidad de moverse, desplazarse, cambiar de forma o ejecutar tareas en el mundo físico. Cabe aclarar que la intervención mencionada es de orden conceptual. Los objetos salen de su fábrica con capacidades robóticas incorporadas ya desde su diseño, pero son considerados intervenidos en tanto que tenían un orden de existencia previo a su robotización.

En cuanto al gráfico, podría considerarse que en general la capacidad robótica demandará microcontroladores y software embebidos, por lo que corresponde considerar a la Virtualidad Embebida como un subconjunto completamente incluido en la Capacidad Robótica. Se prefirió, sin embargo, indicar esta relación con la simple intersección de ambos subconjuntos, para indicar que puede haber sistemas embebidos que no ejerzan una función robótica, así como dispositivos robóticos en los que la computadora de control sea externa y no embebida.

En resumen y para describir el gráfico completo, puede afirmarse lo siguiente:

En las tecnologías abarcadas por de la Realidad Mediada (indicadas en el diagrama con líneas punteadas de color rojo), lo único que se altera es la percepción que el usuario tiene de la realidad, ya sea aumentándola con imágenes adicionales, complementándola con datos proyectados o alterándola digitalmente; el mundo físico que se contempla mediado permanece esencialmente inalterado para un observador externo.

En cambio, en la Realidad Intervenida (indicada con líneas continuas y letras de color azul), los objetos se modifican físicamente, de manera transitoria o permanente, como resultado de la relación con el usuario y el entorno, o como producto de la inserción de un dispositivo electrónico embebido. Esta modificación es real y apreciable tanto para el usuario como para cualquier eventual observador, y su potencialidad de ocurrencia fue definida en el objeto en el momento del diseño, por lo que forma parte de sus características intrínsecas.

En los siguientes puntos de este capítulo se desarrollan cada una de las categorías introducidas y su relación con las experiencias de usuario.

3.4. Virtualidad embebida

Consiste en la incorporación de capacidad de procesamiento electrónico de la información (computadoras) en objetos cotidianos, utensilios o herramientas con el propósito de multiplicar sus prestaciones. El término fue introducido por Mark Weiser en el ya mencionado y famoso artículo de la revista *Scientific American* de 1991, en relación con el concepto de la computación ubicua.

Se busca incorporar estos sistemas de la forma más transparente posible, de modo de facilitar su interacción con el usuario y su entorno. La capacidad de comunicación con objetos similares y particularmente con las grandes redes de las que extraen información en tiempo real —la “Internet de las Cosas”— ha potenciado enormemente a la Virtualidad Embebida.

Su implementación se materializa mediante *hardware* dedicado que, junto con el *software* apropiado, configuran lo que se designa como “sistema embebido”.

3.4.1. Componentes físicos del sistema embebido: Hardware

Existen diversas definiciones para caracterizar un sistema embebido, pero en resumidas cuentas, se trata de “un sistema basado en microcontrolador, insertado en un dispositivo con el propósito de manejar un conjunto de funciones determinadas del mismo” (Heath, 2004).

Un sistema embebido (SE, también denominado Sistema Incrustado en alguna literatura en español) requiere entonces, en primer lugar, estar insertado (*embedded*), es decir contenido, en el interior mismo del propio dispositivo que controla. La forma física en que se produce esta incrustación es la de un microcontrolador, esto es, una pequeña computadora especializada en funciones de control, con formato de microchip, que incluye todos los recursos informáticos para su funcionamiento: memoria de programa y de uso, periféricos de entrada y salida, conversores analógicos-digitales y digitales-analógicos (*ADC* y *DAC*), oscilador de reloj, entre otros.

La segunda característica de un sistema embebido es la de estar dedicado, es decir diseñado y programado para un determinado uso específico de control. A diferencia de una computadora de uso general, en la cual el usuario puede determinar utilizarla en un momento para correr una planilla de cálculo y en otro momento para correr una aplicación totalmente diferente que le permite ver una película o jugar un juego de video, un SE realizará un único conjunto de funciones, definido por su diseñador, durante todo el ciclo de vida del producto. A lo sumo se considerará la actualización esporádica de estas funciones, lo que implica un proceso adicional (*upgrade*), optativo para el usuario, que la mayoría de las veces no realizará casi nunca. Esas actualizaciones son siempre de carácter menor y no alteran esencialmente la funcionalidad original del producto.

Por último, la característica más importante de un sistema embebido es su capacidad de ejecución en lo que se denomina “tiempo real”. Esto significa que el dispositivo debe ser capaz de atender todos los requerimientos externos a la misma velocidad en que se presentan y con una asignación de prioridades claramente definida de antemano, de modo de garantizar una respuesta efectiva y a tiempo para todas las funciones que impliquen una interacción con el mundo físico.

Por ejemplo, una computadora de escritorio —que no es un sistema de tiempo real— puede tranquilamente demorarse todo lo necesario en la salida de un documento por la impresora mientras ejecuta otra tarea, como escanear posibles virus en un archivo recientemente descargado. La asignación de prioridad en la ejecución de las tareas está a cargo del sistema operativo (Windows u otro similar) con un criterio oscuro y en general desconocido para el programador de cada aplicación. Un sistema embebido que controle el frenado ABS de un automóvil, en cambio, debe dar una respuesta instantánea al momento de presionarse el pedal de freno, independientemente de que se le hayan asignado otras tareas secundarias relacionadas, como el control del nivel de líquido en la cubeta. Esto se logra con los denominados RTOS (*Real Time Operating System*) o Sistemas Operativos de Tiempo Real, que asignan los recur-

sos en forma predecible y conocida de antemano. De este modo, es el diseñador del sistema quien determinará estrictamente qué funciones son prioritarias y cuáles no, así como los niveles de respuesta mínimos aceptables en cada caso.

Las implicaciones de las características mencionadas son muchas. El hecho de que el sistema deba estar incrustado requiere obviamente un tamaño pequeño, en lo posible estandarizado (tipificado en la jerga en un “factor de forma”) y un consumo eléctrico y disipación térmica limitados, de modo que pueda soportar un régimen de servicio continuo y una acción discreta y silenciosa. En términos de Weiser, se trata de una verdadera tecnología que desaparece.

Asimismo, si se pretende lograr la ubicuidad que se plantea, el costo de cada sistema por embeber debe ser extremadamente bajo, de manera que no impacte de manera significativa en el costo de aquellos objetos simples y baratos en los que podría incluirse.

A su vez, la necesidad del RTOS y de la inclusión de todos los periféricos pertinentes parece ir en contra de las anteriores exigencias. Entonces cabría preguntarse: ¿qué tan loggable es la compatibilización simultánea de estos requerimientos? O mejor aún: ¿se pueden desarrollar dispositivos tan sofisticados a bajo costo, con un tamaño y consumo suficientemente pequeños?

La respuesta es rotundamente afirmativa. El nivel de miniaturización, reducción de costos y consumos es hoy tan grande que, por ejemplo, cada simple punto (pixel) de una pantalla LED modular, como las que se usan en la calle para exhibir publicidad, tiene embebido un microcontrolador que opera los tres componentes de color de ese punto (un LED RGB) y se comunica con los puntos de alrededor para conformar entre todos una imagen integral.

Ese micro tiene la capacidad de recibir un paquete de comunicaciones del procesador central o del pixel que tiene a su lado. También puede encontrar en ese paquete la información que se le destina, de modo que en base a ella pueda generar tres señales de control de tipo PWM para lograr uno de entre los más de 16 millones de colores que soporta el LED que controla, y retransmitir luego al pixel siguiente todo el resto de información que no ha utilizado. Todo eso puede lograrlo a tal velocidad (800 kHz usualmente) que el último componente de esa cadena de millones de eslabones puede recibir a tiempo la información que permitirá actualizar la imagen completa de la pantalla más de 30 veces por segundo, lo necesario para un video de alta calidad.

Si se considera que una pantalla de resolución *full HD* tiene más de 2 millones de esos puntos y una de 4K supera los 8 millones de pixeles, no solo se confirma la capacidad de procesamiento y comunicación que tiene cada micro, sino que se evidencia su bajísimo costo. De no ser así, sería inviable producir comercialmente una pantalla con tantos millones de microcontroladores embebidos.

En el curso de esta investigación, se ha experimentado con uno de los representantes más difundidos de esta tecnología, identificado como Ws2811, y pudieron comprobarse las ventajas de su utilización. Antes de que aparecieran los componentes embebidos en cada pixel individual, era necesario cablear cada punto con 4 líneas (cables) desde el procesador central. Esto hacía inviable la producción de pantallas de resolución

muy alta, ya que el montaje de los cables era muy complejo y se requería un procesador central de gran capacidad y costo que pudiera encargarse de procesar la información de todos los píxeles con la velocidad suficiente. La distribución del problema a miles de pequeños procesadores embebidos es lo que ha posibilitado el gran abaratamiento, la simplificación del montaje y, por ende, la proliferación de estas pantallas, tal como se observa en el mercado.

3.4.2. Programas del sistema embebido. Software y firmware

Un sistema embebido es una computadora y, como tal, necesitará un *software* o programa de computadora, apropiado para su funcionamiento. Es precisamente este programa el que proporciona la Virtualidad Embebida a la que se refiere el título de este apartado (4.4).

Este software, a menudo denominado *firmware*, lo desarrolla y provee el fabricante del dispositivo, donde está contenido desde su origen de forma indisoluble. Al ser un elemento tan fuertemente integrado, debe diseñarse especialmente para el producto y al mismo tiempo que este, ya que controlará el comportamiento del dispositivo por completo.

Una diferencia importante con el software común de una computadora de escritorio es que este reside en una memoria volátil que se borra cuando la computadora se apaga; por eso debe cargarse nuevamente desde un soporte magnético —un disco rígido— cada vez que se reinicia el sistema. El firmware, en cambio, suele residir en una memoria de tipo ROM (*Read Only Memory*), un tipo especial de memoria no volátil que conserva los datos permanentemente, aun cuando se la desconecta. De este modo, apenas se enciende el dispositivo, el programa se ejecuta directamente desde esa memoria y no necesita “cargarse” desde ningún disco externo.

Como consecuencia de esa diferencia, el *firmware* no es tan fácil ni tan frecuentemente reemplazable como otros programas. Ese proceso o *upgrade* suele hacerse solo en ocasiones, cada meses o años, para mejorar alguna función del dispositivo. Muchos dispositivos ni siquiera cuentan con un mecanismo para que lo haga el usuario.

Una de las funciones principales del *firmware* —aunque no la única— es la de proveer la interfaz de usuario (IU, o UI por *User Interface*). Se entiende por ella la administración de los controles tanto tradicionales (botones, perillas, teclados, etc.) como los de aparición más reciente (dispositivos gestuales, comando de voz, etc.) y los elementos de *feedback* (pantallas, luces, mensajes de audio) que el usuario utilizará en su relación con el producto o la instalación.

Es así que el *firmware* se convierte en un elemento central para el diseño de la “experiencia del usuario” (UX) y, como tal, no debe ser descuidado por el diseñador. Abundan ejemplos de excelentes productos con muy malos resultados comerciales debido a una UI pobremente diseñada, así como el caso de otros productos de gran éxito, cuya principal característica diferenciadora es una UI sobresaliente. Uno de los ejemplos más citados es el iPod, de Apple, que si bien solo era un reproductor más de audio, alcanzó las 390 millones de unidades vendidas en todo el mundo (Costello, 2015) gracias a su UI, superadora de todo lo conocido hasta ese momento.

3.5. Capacidad robótica

Describe la capacidad de un objeto o dispositivo para interactuar, en forma más o menos autónoma, con el medio ambiente físico en que se encuentra. Para que esto suceda, el dispositivo debe contar con ciertas funcionalidades, como la de poder reconocer (senzar) una o más variables físicas, reconocer el lugar donde se encuentra, poder comunicarse con el usuario, con el entorno o con otros dispositivos en forma inteligente, y poder desplazarse o ejercer algún tipo de acción mecánica sobre sí mismo, el ambiente o los objetos que lo rodean. Estas funcionalidades, se describen en detalle a continuación.

3.5.1. Sensibilidad al contexto y comunicación máquina a máquina

El concepto de “sensibilidad al contexto” describe la capacidad que tiene un dispositivo de senzar variables físicas del ambiente en que se encuentra y especialmente de **autoubicarse espacialmente**, uno de los pilares fundamentales establecidos por Weiser para la computación ubicua.

En los dispositivos robóticos, esta capacidad de autoubicación resulta esencial si deben moverse en forma autónoma. Técnicamente, se resuelve con una comunicación entre el dispositivo y algún otro dispositivo externo que le brinda referencias. Para esa comunicación se manejan cuatro escalas de distancia, cada una aplicable en diferentes contextos.

Por un lado, se puede considerar la **escala lejana**, basada en tecnología satelital, con unidades en el orden de los kilómetros y precisión en el orden de los metros. Sirve, en general, para la referencia en un mapa y brinda una ubicación de tipo geográfica a partir de los valores de latitud y longitud. Resulta útil para los dispositivos robóticos vehiculares, ya sean terrestres, acuáticos o aéreos.

La segunda escala es la de **alcance mediano**. Se usa para ubicar dispositivos en locales interiores, donde la señal satelital no penetra y donde es necesario un nivel de precisión mayor, del orden de unos pocos metros. Pequeños *beacons* o “balizas” vía Bluetooth transmiten constantemente señales para una localización precisa. Dos de los proyectos prácticos de esta investigación, presentados en el capítulo 7, consisten en el desarrollo de estos *beacons* y los recursos para su utilización.

La tercera de las escalas es de **corta distancia** y puede basarse en la lectura mediante cámara de códigos bidimensionales impresos o en etiquetas de radiofrecuencia tanto activas como pasivas. Esta última tecnología es también la que se emplea en los sistemas de pago electrónico y controles similares que actúan a **muy corta distancia** (NFC, del inglés *Near Field Communication*) por razones de seguridad.

En la Tabla 2, se describen las distintas escalas y se brindan más detalles sobre cada caso.

Como puede verse, la sensibilidad al contexto, no es sino una comunicación de máquina a máquina (M2M por *Machine to Machine*). El dispositivo sensible al contexto establece una comunicación con algún otro dispositivo que hace las veces de faro o baliza informando sistemáticamente su posición, y esta

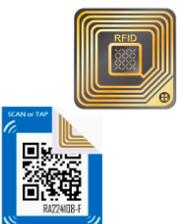
información le sirve al primer dispositivo para calcular su propia ubicación.

El caso del posicionamiento satelital es el más complejo, dado que, para hacer un cálculo correcto, es necesario recibir la posición y hora exacta (establecida mediante un reloj atómico) de al menos tres o cuatro satélites en órbita terrestre.

En los otros dispositivos, la idea es más simple. Si se recibe la transmisión de un *beacon* es porque se está lo suficientemente cercano a él. Conocidos de antemano el alcance y la posición del *beacon*, se sabe que se está dentro de un determinado radio alrededor de él. Las tecnologías de radiofrecuencia activas y las de *Bluetooth Low Energy* permiten, además, estimar la distancia al *beacon* de acuerdo con la intensidad de la señal recibida, lo que redundará en una notable mejora de la precisión.

Tabla 2

Escalas de distancia típicas en la comunicación entre objetos. Fuente: Elaboración propia en base a iconografía de los respectivos fabricantes.

Escala →	Lejana	Media	Cercana	Muy cercana
Tecnología	Satelital GPS (USA) Glonass (Rusia) Galileo (Europa) BeiDou (China)	Beacons BLE (Bluetooth Low Energy) i-beacon Eddystone Estimote Otros	Códigos ópticos Escaneo por cámara Tag de Radio Frecuencia Activas Pasivas	Etiquetas y Chips NFC (Near Field Communication)
Rango	Global / Geográfico	Local Interior	Local Interior Personal	Personal
Uso	Exterior solamente	Interior	Indistinto	Indistinto
Magnitud	Kilómetros	Metros	Centímetros	Milímetros
Precisión	2 a 5 Metros	0,5 a 2 Metros	10 a 90 Centímetros	< 100 Milímetros
Aspecto				

La sensibilidad al contexto, o *context awareness*, como es más conocida, no solo es importante para los robots que se desplazan por el espacio físico. También resulta de suma importancia para el diseño de la experiencia del usuario, de la que este trabajo se ocupa. Las interfaces adquieren la capacidad de mutar y adaptarse de acuerdo con el contexto que ahora conocen. Ese es el tema que se analiza a continuación, en línea con los objetivos de investigación propuestos.

3.5.2. Interacción humano máquina o humano computadora

En la Interacción Humano Computadora (HCI) tradicionalmente buscamos entender al usuario y el contexto para anticipar un único diseño que responda a los principales casos y situaciones de uso... En cambio en Context-Aware Computing, cuando el usuario interactúa con la aplicación, el sistema puede decidir cuál es el contexto de uso actual y proporcionar una interfaz de usuario específicamente optimizada para este contexto. (Schmidt, s.f.)

El primer antecedente que puede considerarse Realidad Aumentada Espacial, apareció en forma de pantallas incrustadas en los dispositivos para que el usuario pueda interactuar con la virtualidad embebida en el-

los. Muchos dispositivos de la década del 1990 y primera década de los años 2000, algunos aún no demasiado costosos, disponían de su propia pantalla, de resolución razonable, algunas de ellas con capacidades gráficas e incluso con accionamiento de tipo táctil (Fig. 8). La mejora en las interfaces de usuario fue notoria. Aparatos de fax, impresoras, equipos de música y electrodomésticos se enriquecieron con múltiples menús anidados que permitían configurar decenas de características por primera vez disponibles.

Esta importante mejora de las interfaces de usuario no consiguió mejorar la experiencia del usuario en la misma medida. Los usuarios tenían la sensación de que los menús anidados eran demasiado extensos, con opciones agrupadas caprichosamente, y que la experiencia les resultaba tediosa y a veces frustrante. La mayoría de los usuarios de grabadoras de videocassettes de la década de 1980 consideraban que programarlas para grabar un programa de TV era una tarea para expertos o que requería de enorme paciencia.

Esto sucedía porque sus interfaces de usuario se volvieron complejas, para aprovechar todas las posibilidades que la flamante virtualidad embbebida ofrecía, pero carecían del *affordance* adecuado.

También carecían de unicidad. Cada fabricante seguía su propio criterio, usualmente más orientado a la necesidad ingenieril que al diseño centrado en el usuario, lo cual producía una heterogeneidad y falta de consistencia entre distintos dispositivos que imposibilitaba la intuitividad y la generalización de la experiencia. El usuario debía memorizar un proceso distinto para cada aparato, previa lectura detenida del correspondiente manual



Figura 8

Pantalla táctil en un aparato de fax. Uno de los primeros ejemplos de virtualidad embbebida. Fuente: Panasonic

La comunicación M2M viene a cambiar esto, al menos en dos aspectos importantes. El primero, no tan explotado aún, es al que se refiere el texto de Schmidt citado unos párrafos atrás. El dispositivo que “conoce” dónde se encuentra puede ofrecer un menú simplificado, solo con las funciones pertinentes al caso.

El otro cambio importante deviene de que el principal interlocutor en las comunicaciones M2M suele ser el *smartphone* del usuario. La tenden-

cia apunta a que un dispositivo funcional cualquiera se comunique en forma inalámbrica con esta interfaz de usuario universal que resulta ser el *smartphone* y, aprovechando la alta capacidad gráfica de su pantalla, la posibilidad de audio de calidad, las funciones de reconocimiento táctil gestual, la identificación fehaciente y demás ventajas ya existentes, toda la operación del dispositivo se haga por medio de él. Una función similar cumplen los *smartTvs*, sobre todo para los dispositivos de entretenimiento hogareño que naturalmente operan en el mismo entorno del televisor.

El impacto de esto se ve reflejado en el tamaño y costo de los dispositivos, que ahora pueden prescindir casi por completo de una interfaz física propia, especialmente de pantalla, que es el elemento más costoso y voluminoso que debían integrar los productos. Uno de los primeros dispositivos de distribución comercial en aprovechar esta posibilidad fue el exitoso *Chromecast*, presentado por Google en el 2013. Se trata de un reproductor de video en *streaming* de alta resolución que mide 35 x 65 mm (el tamaño de un *pendrive*) y cuesta apenas 35 dólares. Su única interfaz de usuario física consiste en un LED indicador de alimentación y un botón de reinicio. Absolutamente todas las funciones se comandan desde un *smartphone* o una computadora externa. Como indicador de su amplia aceptación por parte de los usuarios, se puede mencionar que en octubre de 2017 llevaba vendidas 55 millones de unidades (Jonnalagadda, 2017).

La mejora de la experiencia del usuario no obedece solo a las ya mencionadas ventajas técnicas de la interfaz inteligente, que brinda buen *affordance*, un *feedback* adecuado y operación contextual. La mejora de la experiencia se debe en gran parte a que **la interfaz ya está naturalizada para el usuario**, por lo cual se hace casi innecesario un aprendizaje previo al primer uso. El usuario usa su propio teléfono para operar desde el primer momento su nuevo dispositivo con íconos, menús y convenciones que le son absolutamente familiares. Un usuario promedio mira su *smartphone* 80 veces al día y alrededor de 150 veces por día si es un *millennial*, según Priceonomics, de modo que integrar un producto con esa interfaz le resultará casi transparente. Asimismo, el *smartphone* propicia el uso de la Realidad Aumentada Móvil al mostrar una interfaz mímica del objeto a comandar (*Smart Avatar*) o de los tradicionales controles físicos como perillas y botones. Esto permite capitalizar *affordances* y convenciones previamente conocidas por el usuario, incluso aquellas propias del mundo físico.

Esto no significa que las interfaces se hayan simplificado. Al contrario, cada vez son más complejas porque las posibilidades que los dispositivos brindan aumentan cada día. La mejora de la experiencia del usuario se debe a que se aprovecha lo que el usuario tiene y sabe de antemano. Este concepto influye fuertemente en la tarea de diseño.

Para diseñar una experiencia de usuario satisfactoria, el diseñador ya no solo debe lograr crear un determinado modelo mental del producto en el usuario, sino que debe estar muy atento y prefigurarse adecuadamente qué tipo de convenciones simbólicas le resultan familiares para recrearlas con la mayor fidelidad posible. Las tecnologías propias del modelo de la Realidad Intervenida permiten lograr esto con ventajas, gracias a sus múltiples recursos visuales, sus posibilidades de adaptación física y especialmente a la posibilidad de recurrir a dispositivos que al usuario ya le son familiares, como su propio *smartphone*. Como ejemplo, en la figura 9 se muestra un proyecto de iluminación inteligente para uso escénico desarrollado por el autor.

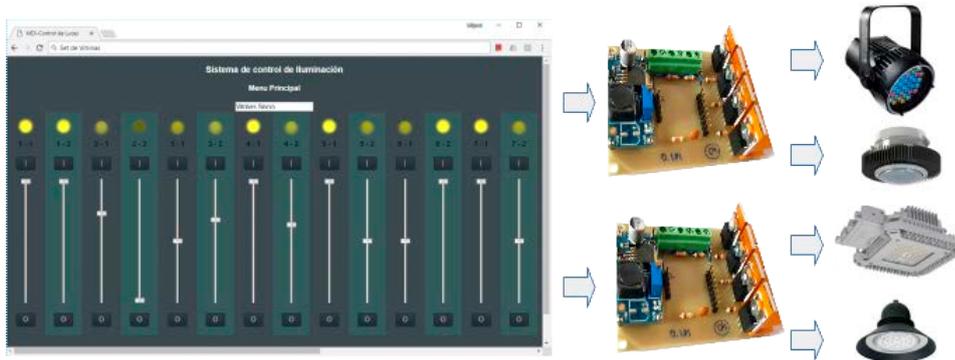


Figura 9

Sistema de iluminación inteligente, programable y operable por WiFi con interfaz Web que mimetiza una consola de iluminación física.

Siguiendo este modelo, el sistema plantea el control de las luminarias mediante una consola virtual que reproduce visualmente una consola de doble efecto, de las que se usan típicamente en sistemas de iluminación profesional. Cualquier operador de iluminación que haya operado con anterioridad una consola física tradicional podrá operar este sistema de forma inmediata y sin necesidad de capacitación alguna, con la misma eficiencia que operaría el otro. Como ventajas adicionales, esta consola puede operarse simultáneamente en una computadora, en una tablet o en el *smartphone* del operador, vía WiFi. El usuario puede desplazarse, así, por todo el espacio, teatro o estadio, mientras sigue operando la puesta escénica, entre otras muchas ventajas que este tipo de soluciones ofrece.

Este sistema de iluminación puede interactuar con otros sistemas, como el sistema de sonido ambiental, las vitrinas robotizadas y la instalación de video interactiva que se mencionaron al comienzo de este capítulo. El diseño de esa integración, que involucra diez tecnologías diferentes, se facilitó enormemente a partir de pensar el proyecto desde el marco unificador de la Realidad Intervenida. A la hora de diseñar la puesta general, trabajaron en simultáneo el director general, el director de la instalación de video, el director musical, el arquitecto y la dirección del museo donde se montó la muestra, la empresa que alquiló la pantalla de *video-wall*, los ingenieros, los iluminadores, los electricistas y una decena de montajistas. El sistema completo fue diseñado considerando cada recurso como un elemento del conjunto de la Realidad Intervenida y la integración tecnológica de todos esos recursos se hizo sin conflicto, gracias a haber previsto que cada instalación incluya al menos un modo de comunicación con un dispositivo servidor central que administraba y sincronizaba todos los recursos. La exhibición fluyó sin problemas, función tras función.

3.5.3. La Internet de las Cosas

La comunicación M2M que se estuvo analizando se ha centrado en las comunicaciones en tiempo real, entre dispositivos físicamente cercanos, en diálogo directo. La posibilidad de mediar esta comunicación a través de Internet incorporando reservorios de información —lo que se conoce como “la nube”— extiende esta posibilidad a distancias globales, a la vez que permite la comunicación asincrónica, es decir, desfasada en el tiempo. Por su parte, la posibilidad de acumulación de datos que brinda la nube permite la aplicación de algunas técnicas de inteligencia artificial tendientes a mejorar la experiencia del usuario.

Este conjunto de tecnologías (la inteligencia embebida, la sensibilidad

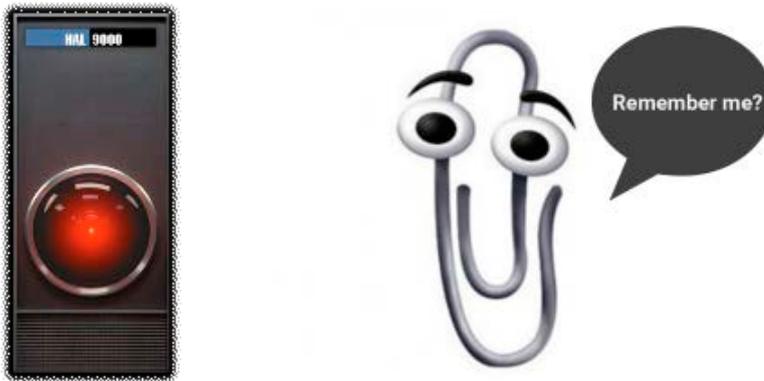


Figura 11

Representación esquemática de la Internet de las Cosas. Imagen de dominio público (CCO).

LED que indica que está alimentado. La interacción se realiza mediante la palabra, en lo que sería el primer tipo de electrodoméstico de consumo masivo con lenguaje natural; es decir, el usuario le habla al dispositivo y este le responde en forma verbal, con un habla no estructurada y sin comandos preestablecidos. Al igual que HAL 9000, la computadora de la recordada película de Stanley Kubrick *2001 Odisea del Espacio* o el no tan bien recordado Clippy de Microsoft Office 97, los nuevos dispositivos invocan a la Inteligencia Artificial como su soporte.

La conectividad a Internet, el acceso a la nube y al *Big Data* se unen así a las técnicas de la Inteligencia Artificial y la Internet de las Cosas en un intento por lograr una experiencia del usuario sin precedentes.

Producto →	Apple HomePod	Google Home	Amazon Echo
Servicio Asociado	Siri	Google Assistant	Alexa
Comando de Inicio	"Hey Siri"	"Ok Google"	"Alexa"
Tamaño (cm)	17 X 14	17 x 10	24 x 9
Precio (en U\$D)	\$ 350	\$ 130	\$ 180
Cantidad de Micrófonos	6	2	7
Cantidad de Parlantes	8	3	2
Aspecto (en escala aproximada)			

Tabla 3

Tabla 3: Modelos comerciales de asistentes inteligentes. Elaboración propia en base a imágenes y datos de los respectivos fabricantes.

Cada una de las grandes marcas en competencia en este mercado ha lanzado uno o dos modelos con nombre propio y luchan fuertemente por imponer un estándar, ya que quien lo haga se asegura de proveerle al usuario casi con exclusividad todos los futuros dispositivos IoT que compre, que serán aquellos compatibles con su asistente. Varias marcas tienen ya una línea completa de productos que se manejan desde el asistente, especialmente en la línea de domótica, alarmas y reproductores multimedia. Muchos fabricantes independientes adhieren con sus pro-

ductos a uno u otro estándar, en busca de una porción del mercado.

Detrás de cada producto hay un servicio de soporte al que el dispositivo se conecta y que brinda la verdadera funcionalidad. El dispositivo en sí mismo no es mucho más que algunos parlantes para reproducir música, algunos micrófonos para captar las órdenes del usuario y la virtualidad embebida necesaria para conectarse al servicio madre. Todo se incluye en un aparato de morfología bastante neutra, de aspecto sencillo pero elegante. En la tabla 3 se presentan los más difundidos..

Algunas marcas importantes cuentan con su servicio, pero no lo apoyan con un dispositivo específico, sino que permiten al usuario acceder desde diversos orígenes. Tal es el caso de Cortana de Windows y Bixby de Samsung, a los que puede accederse desde cualquier computadora o teléfono móvil de la marca o desde el sistema operativo respectivo.

A Siri de Apple, Assistant de Google y Alexa de Amazon también puede accederse desde otros dispositivos que no son los propios y exclusivos, aunque desde las marcas se propicia el uso de los dispositivos propios.

Los resultados son todavía modestos, ya que su practicidad se reduce aún a ciertas tareas rutinarias y bien definidas como buscar música, dar el reporte del tiempo o seleccionar una película de un servicio de *streaming*. Sin embargo, la Inteligencia Artificial y la conexión permanente a Internet están mejorando su desempeño día a día y sin pausa.

Un punto en contra para esta tecnología es, todavía, la falta de lo que Norman (1988) llama restricciones (*constraints*), necesarias en una interfaz para limitar la cantidad de opciones que se le ofrecen simultáneamente al usuario. La interfaz conversacional y la conexión permanente a Internet brindan la sensación de un abanico infinito de opciones, a pesar de que los asistentes no pueden todavía gestionar de manera transparente una respuesta apropiada para todo. Esto muchas veces termina generando frustración en el usuario, que asume que para el asistente “todo es posible”, y que es él quien falla, por no saber cómo pedir ciertas cosas.

Incluso con esta limitación, que se irá solucionando con más y mejor inteligencia artificial, es indudable que desde el diseño se debe reparar en la enorme ventana que abren estos sistemas. La fuerte decisión de los fabricantes de imponerlas como interfaces universales, mediante las cuales un usuario pueda interactuar con todos los dispositivos de su entorno, las hacen rivalizar y complementar con los dispositivos personales ya mencionados.

3.5.4. Comportamiento motor y morfología adaptable

Dado la velocidad con que avanza la Internet de las Cosas, la virtualidad está penetrando en casi todos los objetos, y las computadoras se han vuelto ya definitivamente ubicuas. Hasta aquí la visión de Weiser se ha cumplido puntillosamente y se vislumbra el próximo paso: la conquista definitiva del mundo físico por medio de la robotización de muchos de los objetos, ahora ya embebidos por una virtualidad que se potencia día a día con la Inteligencia Artificial.

No se trata, claro, de ese robot universal de la ciencia ficción, humanoide y multifacético que asiste en todas las tareas del hogar. Se trata de cada pequeño objeto, utensilio o herramienta mejorado, expandido, **interveni-**

do con ciertas capacidades físicas —motoras, particularmente— que lo hacen más útil y apropiado. Se trata también de los objetos comunicándose entre sí, tomando las decisiones pertinentes y desplazándose, mediante la sensibilidad al contexto, de uno a otro lado por su cuenta, todo lo cual facilita la vida del usuario. La experiencia del usuario se mejora a tal punto que el usuario ni se entera de todo lo que está ocurriendo. Se trata, pues, de una nueva tecnología que desaparece, que se invisibiliza.

Si a un horno eléctrico donde se puede cocinar pan se le agrega un pequeño motor con un brazo interior que amasa, un sensor que determina la temperatura y un microcontrolador que puede encender y apagar el motor de amasado y la resistencia de cocción siguiendo los pasos de una receta, el resultado es un robot panadero. Ya hay miles de ellos y basta con colocarles harina, levadura y unos huevos o leche por la noche para que entreguen un pan recién horneado para el desayuno. Está claro que la amasadora y el horno eléctrico ya existían. La intervención robótica consistió en juntarlos y ponerlos bajo las órdenes de un microcontrolador, con la receta —en este caso, el programa o firmware— adecuada.

¿Qué pasaría si la heladera pudiera entregarle por su cuenta esos huevos y leche al horno robotizado? ¿Y si esa misma heladera pudiera ordenar al supermercado la reposición de los ingredientes, de acuerdo con el patrón de consumo del usuario? ¿Y si el horno pudiera descargar de Internet nuevas recetas y sorprender al usuario en su cumpleaños con una nueva clase de torta? Como muestra del interés del mercado en esta dirección, se puede mencionar un reciente artículo de la revista Forbes, donde se pronostica que la evolución natural de los *Smart Assistants* es convertirse en robots (Sag, 2018).

En cuanto a la interacción con el usuario, la capacidad robótica tiene su lugar en el campo de las interfaces tangibles y en las llamadas interfaces con cambio de forma o *shape-changing interfaces*. Un buen ejemplo es el sistema presentado en 2.3.1 desarrollado por el autor y mostrado en la Fig. 4 y los videos que allí se indican.

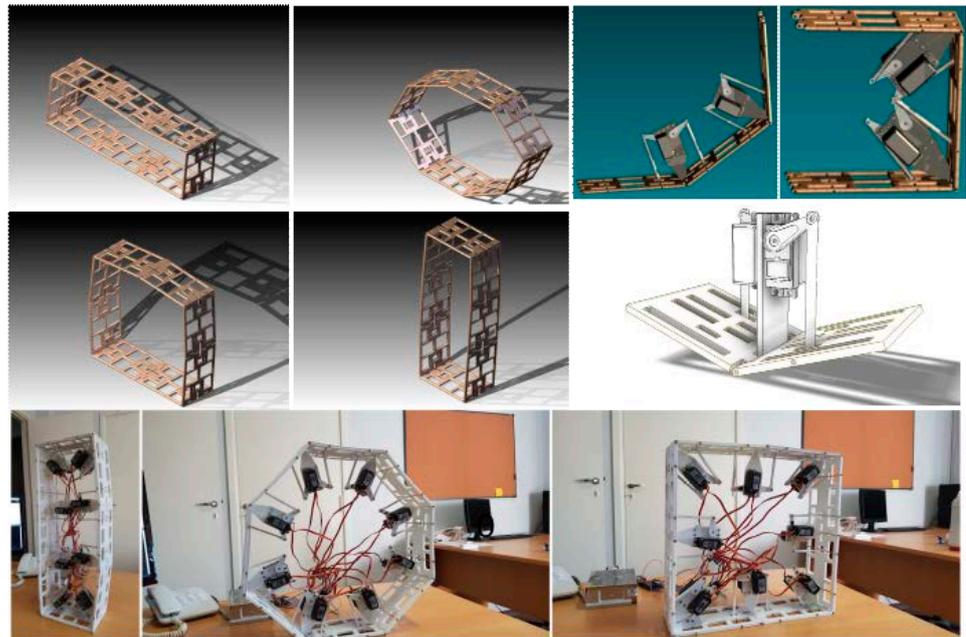
Sin duda el pionero de este campo es el Profesor Hiroshi Ishii, líder del *Tangible Media Group*, uno de los grupos del *MIT Media Lab* más importantes en la *School of Architecture + Planning* del Instituto Tecnológico de Massachusetts. Ishii trabaja en este campo desde hace más de 20 años y escribió en 1997 un artículo considerado fundacional (Ishii y Ullmer, 1997).

La incorporación de la cuestión robótica y motora al campo de la Realidad Mediada y de las interfaces ha sido también abordada por otros autores, a veces referidas como Realidad Aumentada Espacial e Interfaces Ambientales respectivamente (Billinghurst, Grasset, Seichter y Dünser, 2009).

Se trata de dispositivos que cambian morfológicamente para representar de modo tridimensional y corpóreo el estado de un sistema o conjunto de datos. Estos dispositivos constituyen un objeto ideal para la Realidad Aumentada Espacial, en especial cuando se resuelven mediante proyecciones directas sobre el objeto. La figura 12 muestra el esqueleto sin piel de un prototipo de robot desarrollado con este concepto. Además del cambio de forma, la adopción ordenada de sucesivos cambios puede provocar la rodadura del dispositivo en forma controlada, convirtiéndose en un modo de locomoción.

Figura 12

"Mestizo". Robot de morfología adaptable desarrollado por el autor como parte de un proyecto de investigación de la Maestría en Artes Electrónicas de UNTREF



Es posible también desarrollar sistema físicos donde el cambio de forma puede ser accionado por el usuario modelando, tocando o cambiando de algún modo manual dicha forma. Esos dispositivos sirven así también como método de entrada de datos al sistema.

En términos generales, se busca que la implementación física guarde una analogía fuerte con el fenómeno representado y que la interacción resulte, así, intuitiva para el usuario, a la vez que integrada a su entorno en forma natural, a partir de los principios de las "tecnologías que desaparecen" de Weiser. Esto mejora los factores de *mapping*, *affordance* e intuitividad en los citados términos de Norman.

4. El modelo de la Realidad Intervenida en el diseño.

En "La hipótesis de los tres orígenes del diseño" (Campi, Calvera *et. al.*, 2010), la diseñadora catalana Anna Calvera resume las diferentes hipótesis existentes sobre los orígenes del diseño. Identifica sus antecedentes en las fábricas de porcelana de Wedgwood, en la Inglaterra de mediados del siglo XVII, y sus orígenes concretos, también ingleses, hacia 1849, con la labor de Henry Cole y la inspiración intelectual de John Ruskin y William Morris, que generó el llamado "Movimiento de las *Arts & Crafts*". Fue el mismo Cole el impulsor de las leyes de *copyright* para el diseño y las escuelas para formar diseñadores como una profesión específica, y quien instauró el término "*design*" para referirse a la tarea de dar forma y proyectar los bienes producidos industrialmente (Campi, Calvera *et. al.*, 2010).

La principal función del diseño en ese entonces era el aporte de un criterio estético al producto cotidiano; es decir, recuperar la belleza en las formas de lo producido industrialmente, como el propio William Morris afirmaba. Esta concepción inglesa es retomada en Alemania, primero con la *Deutscher Werkbund*, una asociación mixta de arquitectos, artistas e industriales fundada en Múnich en 1907, luego con la Bauhaus de Wal-

ter Gropius (1919-1933) y finalmente con la primera etapa (1953 a 1956, aproximadamente) de la *Hochschule für Gestaltung* (HfG), la escuela superior de diseño de Ulm, cuando aún estaba bajo la dirección de uno de sus fundadores, Max Bill.

Si bien la Bauhaus y la escuela de diseño de Ulm propiciarán un estilo racionalista, con un alto grado de funcionalidad, adecuado tanto a las formas de producción como a las necesidades de los usuarios, la impronta del factor estético seguirá siendo predominante.

Con el ingreso del argentino Tomás Maldonado al rectorado colegiado de la HfG, se plantea por primera vez con firmeza que las consideraciones estéticas no deberían ser la base conceptual única ni más importante del diseño industrial.

El factor estético constituye meramente un factor entre muchos con los que el diseñador puede operar, pero no es el primero ni el predominante. Junto a él también está el factor productivo, el constructivo, el económico y quizás también el factor simbólico. El diseño industrial no es un arte y el diseñador no es necesariamente un artista. (Maldonado, 1958).

Una situación similar se da en los Estados Unidos. La necesidad de activar las ventas luego de la depresión económica de 1929 deriva en una forma de hacer más atractivos los productos para los consumidores, conocida como *styling*, uno de cuyos creadores más renombrados es el diseñador Raymond Loewy. El *styling* apela a formas y elementos aerodinámicos, que evocan la sensación de velocidad propia del futurismo, aun en elementos estáticos, sin ninguna necesidad técnica o funcional que lo justifique. Esta postura ha sido criticada por muchos otros diseñadores, como Maldonado, el italiano Gui Bonsiepe o norteamericanos como Henry Dreyfuss, quienes se inclinaban por definir las formas a partir de otros factores, menos superficiales o más racionalistas.

Dreyfuss publica en 1955 su libro *Designing for people* y en 1960, *The measure of man*. Se convierte en uno de los primeros diseñadores en darle relevancia al factor del usuario en la determinación de lo formal y material, aunque su enfoque es más del orden de lo antropométrico y ergonómico que de lo funcional o de la satisfacción del usuario.

Como ya se desarrolló ampliamente en la Introducción, hacia fines de la década de 1960, primero Gibson (1968 y 1979) y luego Norman (1988) introducen lo relativo a aquello que el producto le transmite al usuario y del modo en que lo hace. Presentan la noción de *affordance* y otros conceptos relacionados que derivarán luego en el diseño centrado en el usuario, el diseño de interacciones (Moggridge, 2007) y el diseño de experiencias de usuario (Interaction Design Foundation, 2017).

La discusión de lo formal resurge permanentemente en el ámbito de la arquitectura y el diseño industrial, y las diferentes posiciones se simplifican frecuentemente en frases como “la forma sigue a la función” (Sullivan, 1896) o el principio “MAYA” (*Most Advanced Yet Acceptable*) sostenido por Loewy (The Official Website of Raymond Loewy, 2018).

El valor de esta discusión, sin embargo, se relativiza en el campo del diseño de productos tecnológicos. La miniaturización de los componentes electrónicos y la posibilidad de su inserción de modo invisible para el

usuario implican que, en muchos casos, lo único que el usuario percibirá del producto será una interfaz virtual.

En este tipo de productos tecnológicos se produce, así, un desplazamiento del elemento central del diseño. Se reduce la importancia de la forma del objeto y aumenta la importancia del usuario y de la relación que este tiene con el objeto. Por lo tanto, el diseño de estos objetos se centrará en la interfaz entre ambos.

El desarrollo actual de las distintas formas de realidad mediada indica que estas interfaces serán cada vez más de tipo virtual o de realidad aumentada. La proliferación de microcontroladores en todo tipo de objetos, la robotización de los dispositivos, la Internet de las Cosas y demás elementos descritos por el modelo de la Realidad Intervenida ya están determinando en forma casi exclusiva el modo de interactuar con los dispositivos tecnológicos.

Diseñar objetos tecnológicos requiere ahora del diseño de interfaces considerando todos esos factores y el modelo de la Realidad Intervenida se constituye en un marco conceptual ideal para pensar esas interfaces, puesto que integra en un mismo modelo todos los recursos necesarios para implementarlas.

El mismo marco conceptual sirve para definir cómo introducir un menú tridimensional de realidad aumentada de modo que flote en el interior del automóvil del usuario, para establecer cómo detectar el gesto corporal con que se seleccionó una opción de ese mismo menú y para generar a partir de ello la acción remota de un dispositivo domótico en el hogar del usuario. Es necesario pensar desde el diseño que son todos fenómenos de la misma naturaleza, porque para el usuario así lo son. Solo de esta forma se puede diseñar una verdadera “experiencia del usuario” integrada y satisfactoria.

Las herramientas propias del diseño ya han evolucionando en dirección a esta integración. Todas las *suites* de programas de modelado y diseño asistido por computadora, tales como SolidWorks, Autodesk, Blender, entre otras, incluyen recursos para exportar los modelos creados a formatos compatibles con los programas de edición y motores de realidad virtual y realidad aumentada como Unity o Unreal. Estos, a su vez, permiten generar múltiples clases de salidas, para gafas de inmersión total, para tabletas de realidad aumentada o para proyecciones tridimensionales.

La mayoría de esas herramientas incluyen también *plugins* para conectarlas de forma directa con elementos de hardware como microcontroladores y servomecanismos. Por su parte, el mercado ofrece gran cantidad de dispositivos sumamente populares y económicos, que permiten el prototipado de acciones electrónicas y robóticas directamente sobre el escritorio del diseñador. Tal es el caso de placas como Arduino y Raspberry Pi, que hoy se enseñan no solo en las carreras de diseño, sino también en los niveles de educación general secundaria e inclusive primaria.

El prototipo —y por lo tanto el producto final— está así mucho más cerca de la etapa de diseño. Las herramientas tradicionales de proyecto se han vuelto casi herramientas de producción, por lo menos en lo que respecta a la realidad mediada. En el mismo sentido han evolucionado las herramientas de prototipado rápido. El modelo creado en computadora, que hasta hace poco era solo una herramienta de anticipación visual, hoy permite generar un prototipo mediante impresión 3D, corte láser, ruteo o CNC, y

volverlo luego completamente funcional conectándolo con Arduino, con dispositivos de captura de gestualidad corporal o con mecanismos robóticos, como se demuestra en algunos de los proyectos presentados.

En ese contexto, se considera que un modelo como el presentado, que integra en un todo las tecnologías mencionadas resultará una herramienta válida para enmarcar conceptualmente el trabajo de diseño en el campo de los objetos tecnológicos inicialmente definidos.