



Oportunidades Industria 4.0 en Galicia

Convenio de colaboración entre el Instituto Gallego de Promoción Económica, la Alianza Tecnológica Intersectorial de Galicia y los centros integrantes de esta alianza para la detección y análisis de oportunidades sectoriales para las empresas industriales gallegas en el ámbito de la industria 4.0



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	4
1.1 DEFINICIÓN/DESCRIPCIÓN	5
1.1.1 ¿Qué se entiende por wearable?	5
1.1.2 Principales características	8
1.1.3 Principales funciones	9
1.2 BREVE HISTORIA	9
1.3 VENTAJAS Y LIMITACIONES	10
1.4 TENDENCIAS	11
1.5 APLICACIONES ACTUALES	13
1.5.1 Tipos de wearables según su propósito	15
1.5.2 Tipos de wearables en función de la parte del cuerpo	19
1.5.3 Wearables en la industria	22
2. PRINCIPALES TECNOLOGÍAS EN LA INDUSTRIA	24
2.1 REALIDAD AUMENTADA	24
2.1.1 Definiciones	24
2.1.2 Principales componentes	26
2.1.3 Soluciones hardware existente en el mercado	36
2.2 REALIDAD VIRTUAL	41
2.2.1 Definiciones	41
2.2.2 Principales componentes	43
2.2.3 Cave automatic virtual environment	48
2.2.4 Soluciones hardware existentes en el mercado	49
2.3 EXOESQUELETOS	51
2.3.1 Introducción	51
2.3.2 Definición	52
2.3.3 Tipologías y clasificaciones de exoesqueletos	54
2.3.4 Principales aplicaciones	56
2.3.5 Tipologías de exoesqueletos según aplicación industrial	58
2.3.6 Soluciones de exoesqueletos para el sector industrial en el mercado	59
3. APLICACIONES POR SECTOR	65
3.1 REALIDAD AUMENTADA Y VIRTUAL	65
3.1.1 Aplicaciones por procesos	65

3.1.2	Realidad aumentada	66
3.1.3	Realidad virtual.....	71
3.2	EXOESQUELETOS	73
4.	CONCLUSIONES/IMPACTO EN LA INDUSTRIA	77
4.1	RETOS QUE PRESENTA LA TECNOLOGÍA EN LA ACTUALIDAD	77
4.1.1	Wearables	77
4.1.2	Realidad aumentada	79
4.1.3	Realidad virtual.....	81
4.1.4	Exoesqueletos.....	81
4.2	PERSPECTIVAS A MEDIO Y LARGO PLAZO	82
4.2.1	Wearables	82
4.2.2	Realidad aumentada y virtual.....	84
4.2.3	Exoesqueletos.....	89
5.	BIBLIOGRAFÍA.....	93

INTRODUCCIÓN

La **interacción entre humano y máquina** (HMI “Human Machine Interface” en sus siglas en inglés) cobra vital importancia en la Industria 4.0, siendo necesarias **nuevas interfaces para los entornos de trabajo** que integren tecnologías de reconocimiento y la conectividad con toda la planta, facilitando al operario el desarrollo de sus actividades al mismo tiempo que se acelera la toma de decisiones, mejorando la productividad y eficiencia de los recursos.

La Industria 4.0 supondrá importantes cambios en la forma en la que los trabajadores desarrollan sus trabajos y se crearán nuevas familias de empleos, mientras que otras se quedarán completamente obsoletas. El número de trabajos repetitivos o que exigen un elevado esfuerzo físico disminuirán, mientras que aumentará el número de puestos de trabajo que requieren respuestas flexibles y la resolución de problemas en tiempo real.

Hasta el momento, la operación y supervisión de los sistemas de control se ha realizado con paneles, botoneras de operación o pantallas táctiles. Actualmente, la industria empieza a incorporar otras tecnologías más avanzadas como **los wearables o la realidad aumentada y virtual**, que giran en torno al concepto de **“Operario 4.0”**. En la industria del futuro es necesario que la interacción humano-máquina sea más rápida, fácil y eficiente.

El alta demanda de nuevas tecnologías para la interacción humano-máquina, está siendo impulsada por la **necesidad** de una **mayor eficiencia en las plantas** de fabricación, garantizar la **seguridad de la información**, la **movilidad de los operarios** y los servicios remotos, todo ello debe ir acompañado de la fiabilidad del hardware.

La tecnología HMI¹ utiliza **sensores, robótica, software, sistemas wireless, aprendizaje M2M** (machine to machine), u otras tecnologías para recopilar y analizar la información. Con el incremento de la automatización y al dotar a los procesos de inteligencia, la interacción humano-máquina tiende a disminuir en cantidad, ya que no es necesario monitorizar regularmente el proceso, sin embargo, cuando una máquina prediga o detecte una anomalía en el proceso que no sea capaz de solucionar, la intervención humana será imprescindible. Es por ello, que los sistemas HMI deben ser **robustos, fiables y duraderos**, especialmente cuando los trabajadores van a interactuar con estas tecnologías en entornos ruidosos, sucios, con humedad u oscuros.

En la Industria 4.0, la interacción humana estará reservada en gran medida para la **toma de decisiones críticas**, por lo que la **presentación de los datos** es una parte crítica del diseño y no debe limitarse a displays y pantallas táctiles, sino que debe ayudarse de tecnologías emergentes como la realidad aumentada, la interacción del habla conversacional o la presentación intuitiva de los datos visuales.

Entre las principales tecnologías que están revolucionando el HMI en los entornos de producción se encuentran **los wearables**, objeto de estudio en este informe. Los wearables son, como se verá más adelante, una **nueva generación de dispositivos electrónicos e inteligentes**, que se incorporan en alguna parte del cuerpo humano en forma de prenda o complemento, que interactúan con el usuario y que son de aplicación a un amplio número de sectores, concretamente, en la industria estos dispositivos ayudan al operario a realizar sus tareas de forma más eficiente. En este documento, se realiza una revisión de los

¹ <http://www.information-age.com/industry-4-0-changing-human-technology-interaction-123463164/>

distintos tipos de wearables y sus aplicaciones, para posteriormente centrarse en los dispositivos de mayor interés en la actualidad para la Industria: gafas de realidad aumentada y virtual, y exoesqueletos.

Una de las principales **aplicaciones** de dispositivos wearables se da en las operaciones de **mantenimiento y reparación**, dónde concretamente, las gafas de realidad aumentada desempeñarán un papel crítico en mostrar los datos recolectados de los sensores y cómo se traduce para que el técnico pueda resolver rápidamente el problema. Otras aplicaciones serían por ejemplo para la formación de trabajadores en su puesto de trabajo, previsualización de diseños 3D antes de su prototipado, picking en logística, etc.

En cuanto al avance de la tecnología, hay que tener en cuenta que junto con las pantallas táctiles, un área de crecimiento es la de interacciones del habla con las máquinas. La penetración de la **inteligencia artificial** junto con las mejoras ópticas, de voz y de procesamiento y la mejora de los algoritmos, mejorarán significativamente el análisis de datos, la velocidad y la precisión de estos dispositivos.

Además, debido al **Internet de las Cosas (IoT)**, se ha producido un incremento enorme de la cantidad de datos de los que se dispone y que se pueden utilizar para la toma de decisiones. Las nuevas tecnologías para la interacción humano-máquina desempeñarán un papel clave junto con la inteligencia artificial en el proceso de la industria 4.0 donde la decisión humana es necesaria, especialmente en los casos que son sensibles por su criticidad o por tiempo.

Por lo tanto, **nuevos dispositivos HMI**, que entreguen los **datos más críticos del proceso de la forma más fácil y rápida**, mejorarán significativamente la toma de decisiones.

DEFINICIÓN/DESCRIPCIÓN

La tecnología ha avanzado notablemente en las últimas décadas y los cambios que se han producido, tales como la invención de los microchips electrónicos, los ordenadores, los sistemas GPS, el Wifi, la aparición de Internet, los sensores y los avances en nanotecnología, han transformado significativamente el mundo. Las tecnologías wearables son uno de los campos que más han evolucionado como consecuencia de estos avances tecnológicos, tal y como se puede concluir del apartado anterior.

En este apartado se realiza una revisión de qué se entiende por wearables en la bibliografía, las principales funciones y características de estos dispositivos y los distintos tipos de wearables existentes en el mercado.

¿Qué se entiende por wearable?

Aunque no existe una definición consensuada en la bibliografía, de una forma sencilla se podría definir las tecnologías wearables como **“dispositivos tecnológicos que se llevan puestos en alguna parte del cuerpo”**². Otra definición un poco más detallada, es la proporcionada por Kurwa et al.³ que define la tecnología wearable como “un dispositivo informático habilitado para aplicaciones que acepta y procesa inputs. Este dispositivo es generalmente un complemento de moda que, o bien se lleva puesto, o está unido al cuerpo. El dispositivo puede funcionar de manera independientemente o estar linkado a un

² Nugroho, J., “A conceptual framework for designing wearable technology”, University of Technology Sydney, 2013.

³ Kurwa et al., “Wearable Technology, fashioning the future”, 2014.

Smartphone (teléfono inteligente) permitiendo algún tipo de interacción con el usuario. El wearable puede estar **sobre el cuerpo** (como un parche inteligente), **alrededor del cuerpo** (como un reloj de pulsera) **o en el cuerpo** (como un sensor de identificación incrustado debajo de la piel o un sensor conectado al corazón que controla anomalías cardíacas)".

En algunos casos, se les denomina **“Smart Wearable”**⁴, por wearable se entiende un **“artículo vestible”**, y para ser denominado smart, es decir, **“inteligente”**, el dispositivo debe contener electrónica activa, que puede tratarse de un sensor, alguna forma de feedback háptico, auditivo o visual, y también una forma de comunicar datos, por ejemplo vía wireless. La tecnología inalámbrica se emplea, porque la mayoría de estos dispositivos necesitan autoalimentación, ya que se busca facilidad de uso sin depender de un cable de alimentación. En el nivel más básico, se excluyen los auriculares con cable, dispositivos de fitness que necesitan cables USB para conectarse, y camisetas y zapatos LED. Un dispositivo inteligente necesita disponer de **conectividad de manera autónoma**, en otras palabras, se necesita conexión en tiempo real para enviar o recibir datos.

La funcionalidad inteligente no tiene por qué ser proporcionada por el propio dispositivo, es decir, el Smart Wearable no tiene que ser inteligente de forma autónoma. A menudo se logrará esta función a través del dispositivo con el que se conecta, por ejemplo, a través de un dispositivo local o una aplicación en la nube, que se alimenta de sus datos y proporciona feedback al usuario, o que puede enviar datos para controlar su función.

Debido a que se trata de una tecnología que se ha popularizado recientemente, todavía hay mucho que explorar en lo relativo a los **diseños y funcionalidades** de los wearables, y por ello se está dedicando un gran esfuerzo para mejorar esta tecnología y diseñar **dispositivos más confortables, fiables, útiles, integrados, ligeros, pequeños, estéticos** y en línea con las tendencias en moda. Un aspecto positivo que ha impulsado el desarrollo de los wearables es la introducción de los Smartphones, ya que cuanto más acostumbrados están los consumidores a los dispositivos móviles, más fácil resulta la introducción de los wearables.

El grupo de expertos de ISO/IEC, MPEG (Moving Pictures Expert Group), está explorando la estandarización necesaria en torno a estos dispositivos y para ello ha desarrollado un **mapa conceptual**, que se muestra en la siguiente figura⁵:

⁴ Nick Hunn, “The Market for Smart Wearable Technology”, 2015.

⁵ <http://mpeg.chiariglione.org/standards/exploration/mpeg-wearable>



ILUSTRACIÓN 1: MAPA CONCEPTUAL EN TORNO A LA TECNOLOGÍA WEARABLE. FUENTE: MPEG

Tal y como ejemplariza la figura anterior, un dispositivo wearable contendrá uno o más sensores, integrados en un sistema como un módulo. Los sensores perciben fenómenos del usuario o del entorno que los rodea, y en función de esta información, el dispositivo actúa, mostrando información en un display, reproduciendo audio, enviando una alerta, etc.

Por lo tanto, **los wearables son una nueva generación de dispositivos electrónicos e inteligentes**, que **se incorporan** en alguna parte del cuerpo humano **en forma de prenda o complemento**, que **interactúan con el usuario** y que son de **aplicación en un amplio número de sectores**, algunos ejemplos concretos son: relojes inteligentes o smartwatch, zapatillas de deportes con GPS, gafas inteligentes, pulseras fitness, etc. (Cabe destacar productos como Fitbit, Google Glass, GoPro, Apple Watch). El tipo de información recogida puede ir desde algo tan simple como el número de pasos que una persona da a lo largo del día, hasta algo más complejo como las ondas cerebrales, y la información puede mostrarse de una gran variedad de formas, desde el parpadeo de un LED, hasta un complejo display con información.

Aunque los wearables se están popularizando entre los consumidores, también resultan un recurso importante para **mejorar la eficiencia en la Industria 4.0**, sobre todo en lo referente a conectividad y a explotar todo el potencial del **Internet de las Cosas**, convirtiendo elementos físicos en información digital para su posterior tratamiento.

Según Theo Ahadome, un analista senior del IMS Research (2014), los wearables proporcionan un gran número de ventajas para los usuarios, desde proporcionar todo tipo de información, ocio y entretenimiento, monitorización del estado de salud, mejora del estado físico, así como aplicaciones para mejorar la eficiencia en el sector industrial e incluso militar.

Principales características

Los dispositivos wearables presentan ciertas **características diferenciadoras** respecto a otros dispositivos tecnológicos. A continuación, se describen algunos aspectos que deben ser tenidos en cuenta para entender mejor las aplicaciones y futuros desarrollos de estos dispositivos.

La principal característica de los wearables es que se trata de tecnologías que **dejan libres las manos** del usuario, por lo que, desde este punto de vista, los teléfonos móviles no pueden ser considerados como dispositivos wearables. Esta característica es muy importante, ya que permita al usuario tener ambas manos libres y acceder a información mientras realiza sus actividades diarias o su rutina de trabajo.

Por lo tanto, deben disponer de una buena capacidad de **conectividad inalámbrica**, ya sea Bluetooth, Wifi, NFC u otros estándares, e incluso protocolos propietarios. A las redes creadas por estos dispositivos se les denomina WBAN (Wireless Body Área Network, red inalámbrica en el área corporal) o WSN (Wireless Sensor Network, red inalámbrica de sensores).

Según su propósito y capacidad, deben disponer de una adecuada **capacidad de almacenamiento**, y de métodos adecuados para la lectura, actualización y extracción de la información.

Otras características propias de los wearables son las siguientes: deben ser **dispositivos integrados, intuitivos, cómodos, portátiles, multifuncionales, útiles, fiables y prácticos**. También pueden integrar realidad aumentada.

La **duración de la batería** y la **seguridad de la información**, son otras dos características fundamentales a tener en cuenta para la aceptación por parte de los usuarios.

En el diseño de estas tecnologías, existen ciertos **atributos** que juegan un papel importante, como el **tamaño y dimensión de los dispositivos, la posición del dispositivo, la fuente de energía, el peso, la durabilidad, que sea fácilmente lavable, la funcionalidad y la usabilidad o la sensación que provoca el llevarlo**. Por ello, las empresas que invierten en las tecnologías wearables deben tener muy en cuenta estos atributos al diseñar los dispositivos.

En cuanto al **software integrado** en los dispositivos wearables, se compone de dos partes: sistema operativo/firmware y aplicaciones. Los primeros pueden ser propietarios o específicos del producto o fabricante, o bien ser alguna versión o variante de los diversos sistemas operativos móviles existentes diseñados para estos dispositivos, como Android Wear, iOS o Windows CE. A su vez, las aplicaciones dependerán del sistema operativo instalado, y podrán estar preinstaladas o bien ser descargadas a demanda por el usuario. Es importante disponer del soporte adecuado del proveedor y de las actualizaciones correspondientes que vayan corrigiendo errores y mejorando las funcionalidades de la aplicación.

Principales funciones

Los wearables consisten básicamente en **5 funciones principales: interface, comunicación, gestión de la información, gestión de la energía y la integración de los circuitos**. La interface es el medio a través del cual se muestra la información entre el usuario y el dispositivo. La información puede ser recogida a través de sensores, antenas, sistemas de posicionamiento o cámaras. El sistema de comunicación transfiere la información vía radio frecuencia, sistema wireless, infrarrojos, Bluetooth o la red de datos personal. La gestión de la información hace referencia al almacenamiento y procesado de los datos. Y la gestión de la energía hace referencia a la duración de la batería, y es uno de los aspectos en los que más se está trabajando en la actualidad, ya que la duración todavía no es la deseada.

BREVE HISTORIA

Aunque la tecnología wearable se ha popularizado recientemente, no se trata de una nueva tecnología. Históricamente, el primer dispositivo wearable fue creado en 1961 por **Edward Thorp**, un profesor de matemáticas del MIT, y se trataba de un ordenador portable diseñado para predecir las apuestas en el juego de la ruleta (no ilegal en el momento de la invención). El dispositivo tenía un porcentaje de acierto del 44% y se escondía en un zapato. En 1972, **Keith Taft** desarrollaba otro dispositivo wearable también para la predicción del juego blackjack.

Unos años más tarde, en 1975, se presentó la primera calculadora de muñeca, y en 1980 Steve Mann desarrolló un sistema denominado **WearComp** que consistía en una mochila portátil y un caso con un display que servía de asistente de ayuda a la fotografía. En los años posteriores a la introducción del reloj calculadora no se realizaron avances significativos en torno a la tecnología wearable, tendencia que cambió en la década de los 90. En 1994 Steve Mann creó la primera Webcam wireless y la tecnología bluetooth se presentó en el año 2000.

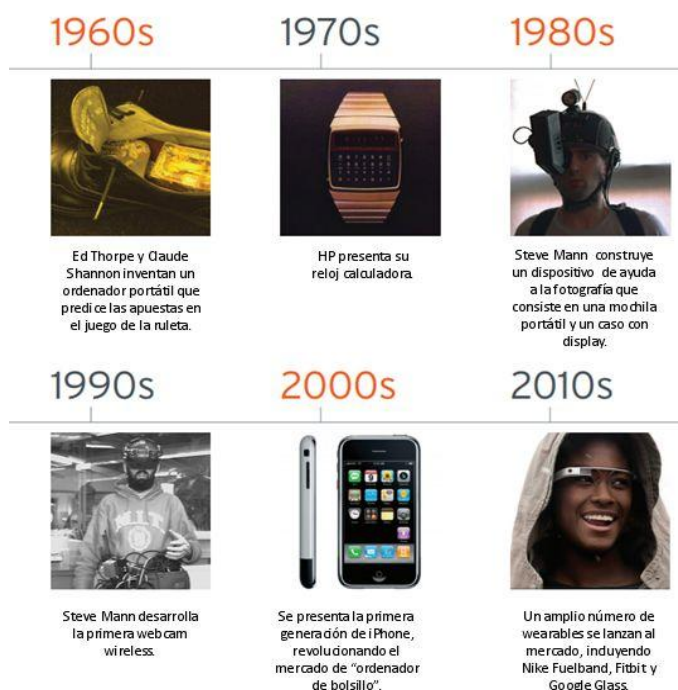


ILUSTRACIÓN 2: RESUMEN HISTÓRICO DE LA APARICIÓN DE LOS WEARABLES. FUENTE: MARS MARKET INSIGHTS

En enero de 2002, la empresa **Xybernaut**, con sede en Virginia, presentó un ordenador wearable en el Consumer Electronics Show. Xybernaut nombró a este dispositivo **Poma**, abreviatura de dispositivo multimedia personal y se caracterizaba por disponer de una pantalla y que permitía leer correos electrónicos, escuchar archivos MP3 y navegar por Internet. Otro wearable que tuvo un gran impacto, en este caso en el sector salud, fue el **Vitatron C-Series**, introducido en 2003, y que fue el primer marcapasos completamente digital.

Los wearables aparecieron en la industria del Fitness, donde más se han popularizado recientemente, con **Nike** y su kit iPod que se lanzó al mercado en 2006. El sistema combinaba un reproductor de música portátil con un podómetro –dos dispositivos que los corredores han utilizado durante años –, sin embargo se trataba de un kit avanzado que utilizaba circuitos, ondas de radio y software para rastrear e informar sobre el entrenamiento de una persona.

En 2007 apareció la compañía **FitBit**, aunque el primer producto no fue lanzado hasta 2009. FitBit es un monitor de actividad física diseñado para ayudar a las personas a ser más activas, comer de una forma más saludable y dormir mejor.

Dos inventos recientes que también cabe destacar son **Pebble y Google Glass**. Pebble es un reloj inteligente, se introdujo en 2012, y la Pebble App Store cuenta con más de 1.000 aplicaciones. Google Glass, aunque todavía en versión beta, fue lanzado en 2013, y se trata de unas gafas que se controlan a través del reconocimiento de voz y un touchpad en uno de los laterales. Aunque la versión beta de las gafas de Google ha sido retirada del mercado, y la compañía trabaja en una nueva versión, su lanzamiento fue muy popular, y como se verá a lo largo del documento, muchas empresas del ámbito industrial han experimentado con ellas en sus procesos de ensamblaje, mantenimiento o en las operaciones de picking en logística.

Como se mencionaba anteriormente, estos productos se están volviendo cada vez más populares y la tecnología es cada vez más práctica y fácil de usar, lanzándose al mercado nuevas soluciones. Y aunque su uso se está centrando en el consumidor, la industria ya empieza a ver su potencial.

VENTAJAS Y LIMITACIONES

Aunque existe una amplia variedad de dispositivos wearables en función del sector, propósito y parte del cuerpo en la que se lleve, en este apartado se resumen de manera general las principales ventajas y limitaciones que se deberían tener en cuenta en un primer análisis de cara a la **implantación** de este tipo de dispositivos **en un entorno industrial**.

Entre las **principales ventajas** asociadas al uso de dispositivos wearables en un entorno industrial se encuentran las siguientes:

- **Constancia:** siempre hay una interacción constante entre el dispositivo y el usuario y por lo tanto no hay necesidad de activarlo o desactivarlo.
- **Móvil:** los dispositivos wearables son portátiles, por lo que acompañan al usuario allá donde este vaya y en tiempo real, por lo que permite a una persona trabajar desde cualquier lugar.
- **Sin restricciones:** al usarlo el operario puede hacer otras tareas, ya que el operario tiene sus manos libres, al contrario que con otros dispositivos como PDAs, tablets, móviles, etc.

- **Multi-tarea:** los wearables proporcionan soporte incluso cuando las manos, la voz, los ojos o la atención del usuario están activamente comprometidos por el entorno físico y permiten realizar las tareas diarias del usuario haciendo un seguimiento de sus hábitos diarios.
- **Comunicativo:** el dispositivo puede utilizarse como medio de comunicación. Además, en general, los dispositivos están conectados con los sistemas de información de la empresa, lo que permite al operario consultar o enviar información sin suspender su rutina de trabajo.
- **No se pierde con facilidad:** se trata de dispositivos personales que se adaptan al usuario, por lo que es muy poco probable que se pierda. Además, pueden ser incrustados en la ropa, a diferencia de los dispositivos de mano (PDAs, tablets, móviles, etc.).
- **Consciente de su entorno:** los dispositivos wearables reciben información del entorno que los rodea, por lo que puede proporcionar avisos o recordatorios, aprender de las rutinas, guardar información relevante, etc.
- **No supone una distracción:** en general, los dispositivos wearables no aíslan al usuario del mundo exterior, una excepción serían las gafas de realidad virtual.

Por el contrario, las **principales limitaciones** son:

- **Coste de adquisición:** los dispositivos wearables son una tecnología todavía cara para su implantación masiva en la industria. Especialmente cuando se habla de exoesqueletos.
- **Peso:** algunos dispositivos wearables pueden ser pesados, resultando incómodos para el operario y pudiendo causar problemas físicos.
- **Seguridad:** deben tenerse en cuenta aspectos de seguridad de la información ya que se trata de dispositivos que pueden ser hackeados fácilmente sino se ponen los medios adecuados para evitarlo.
- **Privacidad del usuario:** estos dispositivos permiten monitorizar las rutinas diarias de los operarios, lo que puede suponer cierto rechazo para su uso.

TENDENCIAS

El número de dispositivos wearables en el mercado es cada vez mayor, esta rápida penetración de la tecnología está siendo impulsada por la continua **miniaturización de la electrónica, los avances en sensórica, la potencia de procesamiento de la información, la conectividad, y una capacidad cada vez mayor para integrar inteligencia en componentes y sistemas electrónicos, acompañados además de una reducción de costes**. Además, el uso de nuevos materiales, diseños, tecnologías de almacenamiento de la energía y técnicas avanzadas de producción, están suponiendo importantes mejoras en el rendimiento, la funcionalidad y usabilidad de los dispositivos.

Gracias a la inteligencia embebida, la conectividad y la usabilidad cada vez mayor, los wearables ofrecen oportunidades únicas para la monitorización de actividades, retroalimentación y entrega de servicios,

localización, identificación, asistencia virtual, etc. Es decir, los dispositivos y aplicaciones wearables pueden **monitorizar, documentar y mejorar** las vidas de las personas y pueden ser utilizadas tanto en el **ámbito personal como en el profesional**.

Tal y como se verá a lo largo de este documento, los dispositivos más utilizados son los **relojes inteligentes y las bandas fitness**, concretamente en el sector salud y bienestar. Sin embargo la lista de dispositivos existentes en el mercado y los que están por aparecer es cada vez mayor, e incluye dispositivos inteligentes como parches, textiles, gafas, cascos de realidad virtual, exoesqueletos, e incluso joyas.

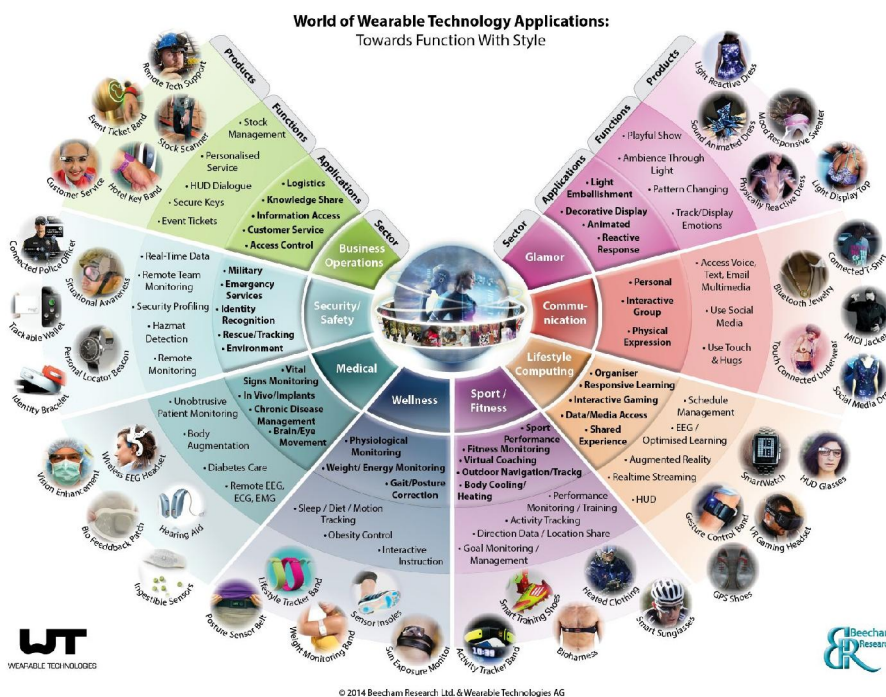


ILUSTRACIÓN 3: DISTINTAS CATEGORÍAS DE WEARABLES. FUENTE: BEECAHM RESEARCH (2014)

Varios **factores inhiben** actualmente la **adopción de los wearables**, entre ellos, la limitada funcionalidad, el bajo nivel de confort y adaptabilidad al cuerpo, la baja duración de la batería, una mala conectividad, falta de interoperabilidad, la preocupación respecto a la seguridad de los datos y los altos costes de producción. Por otra parte, no existe un suficiente número de casos de usos que ejemplaricen el potencial de la tecnología, sobre todo en el ámbito industrial.

Por lo tanto, el uso de los wearables en otras áreas distintas a las que figuran en el gráfico de la imagen anterior, como el entorno industrial, requiere de **avances** adicionales **para aumentar la funcionalidad, permitir la confortabilidad y reducir el consumo de energía**. La nueva generación de wearables deben ser flexibles, cómodos y fácilmente portables o incluso “invisibles” (pj. integrado en la ropa”). Además, incorporarán funciones avanzadas como la gestión de la energía y la computación de alto rendimiento de muy baja potencia, y junto con los avances en la comunicación móvil y las tecnologías de Internet, se producirá una transformación desde el "mundo de los relojes inteligentes y trackers" al de "dispositivos wearables inteligentes conectados a Internet".

Los **esfuerzos en I+D** se están centrando en tecnologías facilitadoras como **sensores, nuevos materiales, sistemas de almacenamiento y gestión de la energía, micro fluidos, sistemas micro-nano-bio**, etc. También se están realizando avances en **electrónica orgánica** para pantallas flexibles y sensores que permitirán que los dispositivos se ajusten al cuerpo o la ropa, lo que resolverá problemas de diseño y reducirá el espacio requerido para las pantallas en los dispositivos.

Los wearables del futuro tendrán que ser moldeables, flexibles, transpirables y lavables (en el caso de textiles y prendas de vestir), y las técnicas de producción automatizadas deberán permitir integrar directamente la electrónica en el proceso de producción de los dispositivos, especialmente en los textiles. Por otra parte, es necesario que se lleven a cabo pruebas experimentales en entornos reales para validar las soluciones.

APLICACIONES ACTUALES

Los wearables pueden clasificarse **según su propósito**, así se podría distinguir entre las siguientes categorías: **Fitness, Salud, Estilo de Vida, Entretenimiento o Industrial**. Otra clasificación es **en función de la parte del cuerpo en la que se lleva el dispositivo**, en este caso, se tratarán tres tipos de wearables: los que se llevan en la **cabeza**, en el **cuerpo**, o en la **muñeca**.

En 2014, la consultora Forrester realizó una encuesta a más de 16.200 personas en Estados Unidos y Europa para preguntarles sobre sus preferencias a la hora de llevar un dispositivo wearable. Tal y como se observa en la siguiente gráfica, la mayor parte de los encuestados prefieren llevarlo en la muñeca.

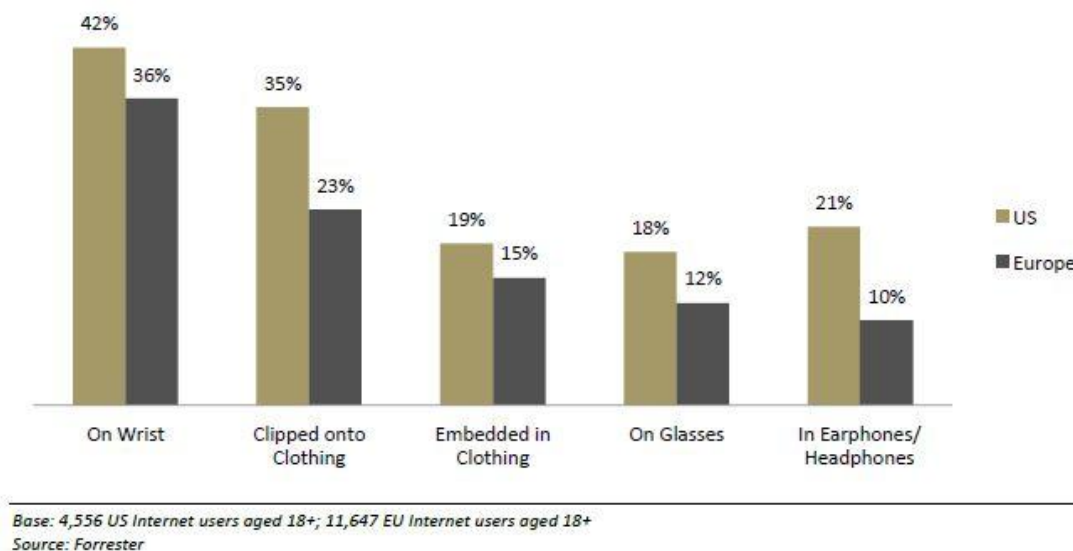


ILUSTRACIÓN 4: RESULTADOS DE LA ENCUESTA SOBRE PREFERENCIAS EN EL USO DE DISTINTOS TIPOS DE DISPOSITIVOS WEARABLES. FUENTE: FORRESTER

En la siguiente tabla se muestran algunos de los **dispositivos wearables en función de su propósito y posición en el cuerpo**, existentes en el mercado (2016).

	DISPOSITIVOS DE CABEZA	DISPOSITIVOS DE MUÑECA	DISPOSITIVOS QUE SE LLEVAN EN EL CUERPO
Fitness	Earin	Fitbit	Lechal
	Spree Wearables	Jawbone	Athos
	FreeWavz	Xiaomi	Leo
	Muse	Suunto	Oxstren
Salud			OMsignal
			ReTiSense
	Sonova		BodyCap
	Siemens		MediWiSe
	GN Resound		Monica Health
	Eargo		Omron
			Hexoskin
			Bionik Laboratories
			MC10
	Estilo de Vida	Jabra	Apple
Sennheiser		Samsung Gear	Belty
Plantronics		Pebble	WiseWear
BlueAnt		Garmin	Thinx
Sony		Asus	Victoria's Secret
Bose		Tag Heuer	Ralph Lauren
Interaxon		LG	Under Armour
Doppler Labs		Lenovo	
Motorola		Sma Watch	
Bragi		WiseWear	
Entretenimiento	Oculus Rift		Sony
	Google Glass		GoPro
	HTC Vive		Narrative
	HoloLens		Thalnic Labs
	PlayStation VR		
	Lumus Optical		
	Magic Leap		

TABLA 1: SEGMENTACIÓN DE MERCADO DE DISPOSITIVOS WEARABLES. FUENTE: FUNG GLOBAL RETAIL & TECHNOLOGY, 2016

Como se puede observar, en la tabla anterior no figura el sector industrial porque en la industria estos dispositivos no son por el momento estándares sino que se diseñan y configuran a medida en función de su aplicación, tal y como se verá a lo largo de este documento.

Tipos de wearables según su propósito

Los múltiples usos de los wearables han provocado que estos dispositivos hayan tenido un impacto importante en distintos ámbitos, entre los que cabe destacar la **salud, el fitness, estilo de vida, el ocio y entretenimiento, el militar y el industrial**. A continuación se describen brevemente las principales aplicaciones en estos sectores:

SALUD

En la actualidad, probablemente el uso más extendido de los wearables se ha llevado a cabo en el ámbito de la salud. Por otra parte en la literatura, la mayoría de los estudios relacionados con los dispositivos wearables son sobre aplicaciones en medicina. Los wearables en salud cubren tanto aplicaciones para el consumidor como para pacientes, los primeros son dispositivos no invasivos que pueden adquirirse sin receta médica y los segundos son dispositivos médicos que están regulados por las administraciones competentes, en el caso de Europa por la Comisión Europea. Algunos ejemplos de dispositivos en este sector son audífonos, sensores que monitorizan la frecuencia cardíaca, la presión arterial o la glucosa.



ILUSTRACIÓN 5: EJEMPLO DE DISPOSITIVO WEARABLE PARA MEDIR LA GLUCOSA. FUENTE: DEXCOM

FITNESS

Los dispositivos para Fitness están diseñados para detectar y rastrear ciertos datos relacionados con el estado de forma del usuario, tales como la temperatura corporal, el tiempo que ha estado entrenando, la distancia recorrida, la frecuencia cardíaca, los patrones de sueño, etc. Según un estudio realizado por ABI Research, en 2013 el 61% del mercado eran dispositivos orientados al deporte. La mayoría de los wearables para Fitness son de muñeca, tipo relojes o brazaletes, pero también existen dispositivos tipos clip para enganchar a la ropa, bandas de pecho o piernas, prendas inteligentes o auriculares. Algunos ejemplos son FitBit, Jawbone's Up o Nike Fuel Band.



ILUSTRACIÓN 6: DISPOSITIVOS DE MONITORIZACIÓN DE LA ACTIVIDAD DIARIA. IZQ – SMARTWATCH FITBIT. DCHA – SMARTWARCH NIKE FUEL BAND. FUENTE: MARCAS FABRICANTES

ESTILO DE VIDA

Probablemente los dispositivos que más se han popularizados en los últimos años. Se trata de wearables donde el aspecto que se prioriza es el diseño y que abarca desde prendas de vestir hasta artículos para el hogar. Algunos de los dispositivos con más éxito son el Smartwatch de Apple o las zapatillas Hyperadapt de Nike, que se ajustan a cada pie y se adaptan solas gracias a los sensores que incorpora.



ILUSTRACIÓN 7: IZQ - SMARTWATCH DE APPLE. DCHA - ZAPATILLAS INTELIGENTES DE NIKE. FUENTE: MARCAS FABRICANTES

OCIO Y ENTRETENIMIENTO

Estos dispositivos se utilizan para recibir y transmitir información en tiempo real con fines de entretenimiento. En 2018 se espera que el segmento de ocio y entretenimiento supere al segmento Fitness, impulsado por el crecimiento de las gafas y relojes inteligentes. De hecho, según IHS, este segmento crecerá un 155% entre 2013 y 2018. Cabe destacar que el segmento de ocio y entretenimiento se superpone significativamente con aplicaciones diseñadas para el ámbito industrial y empresarial, especialmente en lo que se refiere a la realidad aumentada, mientras que en el caso de la realidad virtual la mayoría de las aplicaciones se dirige a consumidores de videojuegos.

MILITAR

El ejército está empezando también a experimentar con wearables, de tal forma que el “soldado del futuro” es muy probable que esté equipado con este tipo de tecnología. Un ejemplo de aplicación es el cinturón Zephyr BioHarness⁶ desarrollado por AT&T’s que controla la salud de los soldados monitorizando señales vitales como la temperatura, la frecuencia cardiaca, la frecuencia respiratoria o el electrocardiograma.

INDUSTRIAL

En el ámbito industrial los wearables con los que más se está empezando a experimentar son las gafas de realidad aumentada, u otros dispositivos para la gestión de almacén y picking. Algunos ejemplos de wearables diseñados para el ámbito industrial son los guantes de Fujitsu⁷ que permiten recibir la tarea asignadas al tocar un tablero con él, utilizando NFC, o el escáner wearable de Motorola.



ILUSTRACIÓN 8: IZQ – GUANTE INTELIGENTE DE FUJITSU. DCHA – ESCÁNER WEARABLE DE MOTOROLA. FUENTE: MARCAS FABRICANTES

⁶ <http://www.zephyr-technology.nl/en/product/71/zephyr-bioharness.html>

⁷ <http://www.fujitsu.com/global/about/resources/news/press-releases/2014/0218-01.html>

En la siguiente tabla se listan los distintos tipos de wearables a utilizar por sector:

SECTORES	CATEGORÍAS DE PRODUCTOS	
Salud y medicina	Blood pressure Monitors	Hearing Aids
	ContinuousGlucose Monitoring	Insulin pumps
	Defibrillators	Smart Glasses
	Drug Delivery Product	Patches
	ECG Monitoring	PERS
		Pulse Oximetry
Fitness	Activity Monitors	Sleep Sensors
	Emotional Measurement	Smart Glasses
	Fitness &Heart rate Monitors	Smart Clothing
	Food Pods & Pedometers	Smart Watches
	Heads-up Displays	Other, Audio Earbuds
Infotainment	Bluetooth Headsets	
	Head-up Displays	
	Imaging Products	
	Smart Glasses	
	Smart Watches	
Militar e Industrial	Hand-Worn Terminals	
	Head-up Display	
	Smart Clothing	
	Smart Glasses	
	Exoesqueletos	

TABLA 2: EJEMPLOS DE PRODUCTOS WEARABLES POR SECTOR. FUENTE: BRIAN KYLE MAREK

Este informe se centrará en los dispositivos que más potencial están presentando para ser introducidos en el sector industrial: las gafas de realidad aumentada, los cascos o gafas de realidad virtual y los exoesqueletos.

Tipos de wearables en función de la parte del cuerpo

Siguiendo la clasificación propuesta por Fung Global Retail&Technology en su informe “The wearables report 2016: reviewing a fast changing market”, se pueden distinguir **3 tipos de wearables** en función de la parte del cuerpo sobre la que e lleven: wearables de cabeza, de cuerpo o de muñeca.

DISPOSITIVOS DE CABEZA	DISPOSITIVOS DE MUÑECA	DISPOSITIVOS QUE SE LLEVAN EN EL CUERPO
Auriculares Bluetooth de conducción ósea	Prendas de ropa	Pulseras
Auriculares inalámbricos	Calzado	Relojs inteligentes
Gafas de realidad aumentada	Bandas fitness	
Gafas de realidad virtual	Cámaras	

TABLA 3: TIPOS DE WEARABLES EN FUNCIÓN DE LA PARTE DEL CUERPO. FUENTE: FUNG GLOBAL RETAIL & TECHNOLOGY, 2016

DISPOSITIVOS DE CABEZA

En esta categoría se incluyen los **auriculares** Bluetooth y las **gafas y cascos de realidad aumentada y virtual**. El segmento de **auriculares** es un segmento maduro en el que existe una gran variedad de soluciones en el mercado y una gran competencia, algunas marcas reconocidas son Sennheiser y Bose. La miniaturización continua de los productos, la eliminación del ruido externo y las nuevas innovaciones pueden llevar a provocar que este segmento converja con el mercado de los audífonos (medicina).

Una de las últimas innovaciones en el ámbito de los auriculares son los **auriculares de conducción ósea**, capaces de llevar el sonido hasta los oídos mediante vibraciones que se propagan por el cráneo hasta el oído.



ILUSTRACIÓN 2: EJEMPLO DE AURICULARES DE CONDUCCIÓN ÓSEA. FUENTE: BATBAND

Las aplicaciones de **realidad aumentada** tienen casos de uso industrial y empresarial claramente definidos, y por ello esta tecnología se trata en más profundidad en el apartado 3.1. Sin embargo, es probable que los precios de hardware y software sigan siendo demasiado altos para asegurar la absorción masiva de los consumidores en el futuro inmediato, y aún se desconoce si la industria estará dispuesta a invertir en realidad aumentada a los precios actuales.

Goldman Sachs, lista a las cuatro empresas que están jugando un papel importante en el lanzamiento de gafas de Realidad Aumentada: Google Glass, Microsoft HoloLens, ODG Smartglasses y Atheer. El segmento de consumidores de esta tecnología puede abrirse en los juegos y el entretenimiento, pero en última instancia podría converger el mercado de gafas de Estilo de vida, en particular el de gama alta.



ILUSTRACIÓN 10: PRINCIPALES MARCAS DE GAFAS DE REALIDAD AUMENTADA. IZQ. SUP. GOOGE GLASSES; IZQ. INF. ODG; DCHA. SUP. MICROSOFT HOLOLENS; DCHA. INF. ATHEER

En el caso de la **realidad virtual**, la introducción en el mercado se está lanzando a través de kits convertibles con un Smartphone, como el ejemplo de Google Cardboard y Samsung Gear VR, en lo que se refiere al segmento de consumo, en el ámbito industrial la adaptación de esta tecnología requiere de más tiempo.



ILUSTRACIÓN 10: MODELOS DE GAFAS DE REALIDAD VIRTUAL. IZQ – GOOGLE; DCHA – SAMSUNG GEAR

Otros wearables que se llevan en la cabeza, menos extendidos, son los gorros inteligentes, como el desarrollado por Spree⁸ para monitorizar pulsaciones y temperatura corporal, o el desarrollado por Archos⁹, que consiste en un gorro de lana capaz de conectarse con el Smartphone para reproducir música.

DISPOSITIVOS DE CUERPO

En este caso se trata principalmente de dispositivos que están **integrados en los tejidos** de ropa o calzado, aunque también se incluyen en esta categoría las **bandas Fitness** que se suelen llevar sobre el pecho o en una pierna y por último están las cámaras, como puede ser el caso de GoPro. Este tipo de wearables se utilizan principalmente en el ámbito del deporte.



ILUSTRACIÓN 11: BANDA FITNESS. FUENTE: UNDERARMOUR.COM

DISPOSITIVOS DE MUÑECA

Los dispositivos wearables de muñeca se dividen en dos categorías, los **relojes inteligentes** o smartwatch y las **pulseras inteligentes** o smartban o fitness band. Los primeros se utilizan principalmente como una extensión del Smartphone, y los segundos son dispositivos enfocados al deporte y que monitorizan diferentes variables relacionadas con el estado de forma del usuario (pulsaciones, distancia recorrida, etc.).

⁸ <http://spreewearables.com/products/smartcap/>

⁹ <http://www.archos.com/es/products/objects/cself/amb/index.html?rprod=1>

Wearables en la industria

En la actualidad, el manejo de dispositivos wearables está muy **poco extendido en el uso industrial**. Según datos recogidos por el Workforce Institute de Kronos Incorporated, los wearables son dispositivos que pueden beneficiar a los trabajadores en tres áreas fundamentales: **eficiencia, productividad y seguridad**. En el apartado Sectores y Aplicaciones de este documento (Apartado 4) se muestran algunos ejemplos que ilustran las posibilidades que pueden aportar al trabajador y a la mejora de su puesto de trabajo estos dispositivos.

DISPOSITIVOS CON MAYOR POTENCIAL PARA LA INDUSTRIA¹⁰

Los wearables con mayor potencial en los entornos de trabajo son las **gafas de realidad aumentada** y los **relojes inteligentes**, seguidos de la realidad virtual y los exoesqueletos. Por lo que respecta a las gafas de realidad aumentada, tal y como se muestra en el apartado 5.1 de este documento, se trata de una tecnología que todavía no está madura pero que puede penetrar en las fábricas en los próximos 5-10 años. La utilización de **gafas inteligentes** en las plantas de producción permite a los trabajadores **recibir información contextualizada de las máquinas** que están utilizando. Pueden obtener **indicaciones para reparar averías, órdenes de trabajo**, etc. todo ello, con las manos libres y sin necesidad de desplazarse de su puesto de trabajo a consultar dicha información. También pueden incluir cámaras que permiten **grabar vídeos o sacar fotografías** de forma rápida y, de ese modo, crear un **registro documental** de las operaciones. La posibilidad de **recibir notificaciones**, permite que el trabajador esté conectado en todo momento y pueda **recibir alertas sobre riesgos potenciales**, contribuyendo a la seguridad. También en el área logística las gafas inteligentes pueden aportar beneficios, proporcionando **información audiovisual sobre los pedidos**, soporte sobre la **ubicación de los materiales**, destinos, etc. Las principales limitaciones que presentan hoy en día son en cuanto a la comodidad, la duración de las baterías y la funcionalidad en entornos empresariales.

En cuanto a los Smartwatch o **relojes inteligentes**, estos wearables también presentan grandes posibilidades en el **entorno laboral**. Según el estudio de Kronos, alrededor del 20% de los trabajadores de EEUU, Reino Unido, Francia o Alemania cree que los relojes inteligentes le serán útiles en el trabajo, mientras que este porcentaje sube en China (56%), India (49%), México (40%) o Australia (33%).

Las razones por las que los **relojes inteligentes** se pueden convertir en una herramienta muy valiosa en los entornos de fabricación es que estos dispositivos que presenta una característica y es que están siempre encendidos, no necesitan encenderse y apagarse, y además **permite la multitarea** con lo cual se pueden usar sin interferir con las tareas que el trabajador está realizando en ese momento. Su utilidad es muy variada, incluyendo opciones como **recepción y emisión de alertas, recogida de información biométrica y de posicionamiento GPS o visualización de datos**. Se utiliza en líneas de fabricación para que los operarios reciban alertas sobre el funcionamiento de las máquinas y sea posible resolver incidentes sin necesidad de parar la línea de producción. La ventaja de utilizar un Smart Watch sobre otros dispositivos no wearables como un teléfono móvil, es que con una simple vibración el operario es consciente de que hay algún problema y puede recibir información al respecto en el mismo dispositivo. Con un teléfono móvil, puede no enterarse de la vibración y, además, el reloj no interfiere en la forma de trabajar del

¹⁰ <http://industria4.es/empresa/vestidos-tecnologia-wearable-industria/>

operario, ya que está en su muñeca y no tiene un gran tamaño. La utilización de Smart Watches también **contribuye a la seguridad y prevención de riesgos**, ya que gracias a la incorporación de sensores puede monitorizar movimientos, parámetros biométricos y ambientales y generar una alerta al trabajador y a la central junto con su ubicación.

Otras capacidades muy valoradas son que se conoce la localización del trabajador y que estos dispositivos permiten recibir notificaciones en tiempo real. Estas dos características los hacen especialmente útiles en escenarios ubicuos de trabajo colaborativo y resolución de problemas críticos en planta.

Por último, respecto a los **exo esqueletos**, estos pueden suponer importantes ventajas, debido a que representan una estructura que se adapta al cuerpo humano y además ayuda a mantener la postura erguida a la hora de levantar objetos, proteger la espalda y evitar así problemas de salud, bajas por enfermedades o jubilaciones adelantadas.

Según la fundación de alianza del trabajo ¹¹(Lancaster, Reino Unido) 44 millones de de trabajadores de la Unión Europea sufren trastornos músculo-esqueléticos. Actualmente los trabajadores dedicados a la industria de producción y montaje pueden levantar hasta 10 toneladas de peso al día, unas actividades que suponen un enorme esfuerzo físico para los trabajadores y que provocan una gran número de trastorno de tipo músculo-esquelético (según la fundación de alianza del trabajo – Lancaster, Reino unido - 44 millones de trabajadores de la Unión Europea sufren trastornos músculo-esqueléticos). El empleo de exoesqueletos permitiría evitar estos problemas de salud y mejorar la productividad de los operarios en diferentes ámbitos industriales. Sin embargo, para ello va a ser necesario regular el empleo de los mismos a nivel industrial, algo que ya está siendo investigando en algunos proyectos de I+D, como es el caso del proyecto ROBO-MATE¹².

¹¹ <http://www.fitforworkeurope.eu/survey.htm>

¹² Leonard O’Sullivan, Rachel Nugent, Johan van der Vorm “Standards for the Safety of Exoskeletons Used by Industrial Workers Performing Manual Handling Activities: A Contribution from the Robo-Mate Project to their Future Development”. Procedia Manufacturing, 2015

PRINCIPALES TECNOLOGÍAS EN LA INDUSTRIA

REALIDAD AUMENTADA

La **Realidad Aumentada (RA)** y la **Realidad Virtual (RV)** son dos conceptos que en ocasiones se utilizan indistintamente pero que presentan diferentes casos de uso, tecnologías y oportunidades de mercado, por ello es importante tener claro que se entiende por cada uno de estos términos. En este apartado se describirá la tecnología de RA y en el apartado 3.2 se tratará la RV.

Definiciones

En la bibliografía se pueden encontrar distintas definiciones de qué se entiende por **Realidad Aumentada**, siendo la definición más comúnmente aceptada la proporcionada por AZUMA¹³, que presenta la RA como un sistema que:

- **“Combina el mundo real y el mundo virtual”**: la RA necesita displays específicos a través de los cuales el usuario pueda ver de manera combinada la información real y la virtual.
- **“Es interactivo y en tiempo real”**: el sistema de RA debe ejecutarse de tal manera que la velocidad de las imágenes sea interactiva, de modo que la información se superpone en tiempo real sobre la imagen y permite la interacción del usuario.
- **“Muestra la información en 3D”**: la RA depende de la perfecta integración entre la imagen virtual y la real en base a la relación geométrica de ambas, lo que hace posible representar el contenido virtual en la posición correcta y con la adecuada perspectiva 3D respecto a la imagen real.

La **Realidad Virtual**¹⁴, tal y como se verá más adelante, es una **recreación o simulación generada por ordenador y artificial**, de un entorno o situación concreta real. Mientras que la RV ofrece una recreación digital de un entorno real, la **RA** ofrece **elementos virtuales superpuestos al mundo real**. Es justo este elemento, el “mundo real” lo que diferencia ambos conceptos, ya que la RA implica agregar información a la realidad existente, por el contrario, la RV saca al usuario de su contexto, reemplazando el mundo real por un mundo virtual creado por ordenador¹⁵.

Para entender mejor estas diferencias, Paul Milgram¹⁶ definió el concepto de “Continuo de la Realidad-Virtualidad” (Reality-Virtually Continuum en inglés) que sirve para describir la transición existente entre lo virtual y lo real, donde se localiza la **“realidad mixta”**, la zona en la que la realidad y la virtualización se mezclan.

¹³ Azuma et al., “A Survey of Augmented Reality”, Presence, vol 6, no4, pp.355-385, 1997.

¹⁴ <http://www.augment.com>

¹⁵ Minda Zetlin, “4 Misconceptions about Augmented Reality”, 2015.

¹⁶ Milgram et al., “Augmented Reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum”, 1994.



ILUSTRACIÓN 12: REPRESENTACIÓN RV CONTINUUM. FUENTE: ITAINNOVA

Volviendo a la definición de RA, muchos autores la relacionan directamente con el uso de **dispositivos HMDs** (acrónimo de Head Mounted Display), que básicamente consisten en una pantalla acoplada a la cabeza a través de la cual se muestra una imagen ante los ojos. Sin embargo, la evolución tecnológica que se ha producido en los últimos años y el incremento de los **dispositivos móviles** han tenido un importante impacto sobre la RA y en la literatura más reciente se citan varias tecnologías tales como interfaces basadas en monitores, sistemas monoculares, HMDs o dispositivos móviles. En el caso de los HMDs, se trata de dispositivos wearables, como ya se ha mencionado anteriormente.

Una definición más actual, es la proporcionada por la Asociación AREA¹⁷ (Augmented Reality for Enterprise Alliance) que define la RA como el **conjunto de tecnologías habilitadoras** y la experiencia resultante de un usuario cuando se presenta **información digital** altamente contextual (en forma de texto, imágenes, gráficos, animaciones, video, modelos 3D, estímulos sonoros o hápticos) de manera **que se sincroniza en tiempo real** y aparece **vinculado al mundo físico**, lugares u objetos. De tal manera que se enriquece la realidad existente con otras informaciones útiles y/o necesarias. Por ejemplo, cuando se enfoca hacia un elemento real (como una válvula) y sobre la misma se superpone información adicional.

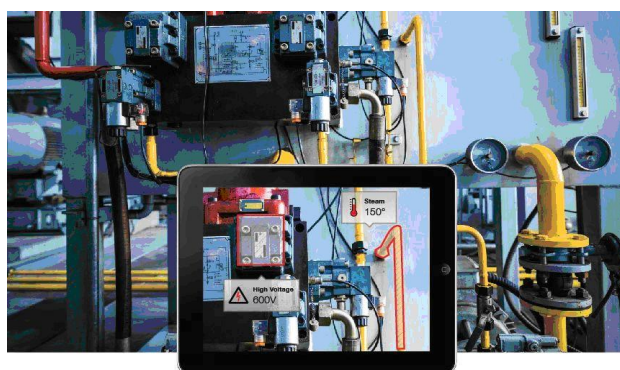


ILUSTRACIÓN 13: EJEMPLO DE REALIDAD AUMENTADA PARA LA INDUSTRIA MARÍTIMA. FUENTE: TWNKLS, 2013

Por lo tanto, hay **cuatro elementos claves** que integra la RA: el **mundo físico** objetivo, el **software**, el **hardware** y el **contenido digital**.

¹⁷ <http://thearea.org/augmented-reality-defined/>

Las tecnologías que soportan la RA permiten que los **trabajadores interactúen, en tiempo real y desde sus puestos de trabajo**, con información relevante para las tareas que tienen encomendadas. Además, son un medio para que los trabajadores **colaboren en la solución de problemas** y permiten que el empleado reciba **formación en el puesto de trabajo** explícita (antes de comenzar una tarea) o implícita (guiando en los procesos de verificación). En definitiva, la RA puede contribuir a **mejorar la eficiencia y productividad de los trabajadores**.

Principales componentes

Para componer un servicio de RA hay que tener en consideración **cuatro fases**¹⁸, una primera fase de captura del entorno real, una segunda de reconocimiento, una tercera de procesado para mezclar/alinear la información del mundo real con el mundo virtual, y una última fase de visualización.

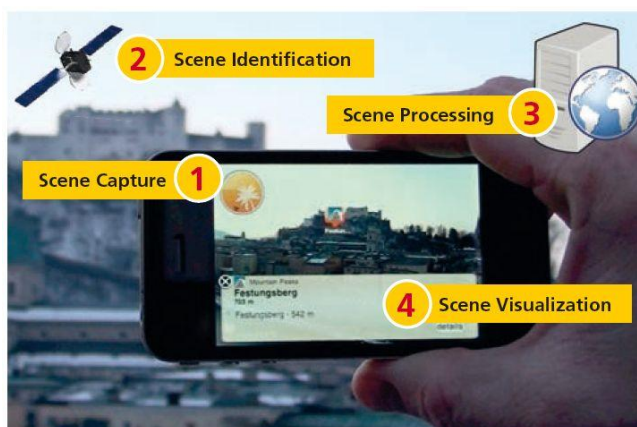


ILUSTRACIÓN 14: FASES FUNCIONALES EN UN SISTEMA DE REALIDAD AUMENTADA. FUENTE: DHL

1. **Capturar la escena real:** en primer lugar, el mundo u objeto real que va a ser aumentado es capturado a través de un dispositivo de vídeo como una cámara o un HMD.
2. **Reconocimiento de la escena real:** en segundo lugar, el escenario u objeto real debe ser escaneado para definir la posición exacta en la que debe ser embebida la información virtual. Esta posición cómo se verá más adelante es identificada generalmente por GPS o el uso de marcadores.
3. **Procesado de la escena:** una vez que se ha reconocido e identificado la imagen real, se solicita el correspondiente contenido virtual.
4. **Visualización de la escena:** finalmente, el sistema de RA genera la imagen mixta del espacio real y el contenido virtual.

A continuación se describen los **principales componentes** de un sistema de RA: el sistema de tracking o seguimiento, los displays y el software de presentación de la información en tiempo real.

¹⁸ DHL Trend Research, "Augmented reality in logistics", 2014.

TECNOLOGÍAS DE SEGUIMIENTO O TRACKING

En los sistemas de RA es necesaria la integración de la información física existente con la información virtual, y para ello es necesario el **reconocimiento y rastreo de los objetos del mundo real** que interactúen con los elementos virtuales.

Se utilizan distintos métodos tales como los datos de **geolocalización** y orientación que proporciona un GPS (sistema de geoposicionamiento por satélite), **o marcadores**, que consisten en elementos con características geométricas o patrones únicos que les posibilitan ser detectados con facilidad por el sistema para incorporar imágenes de textos, vídeos y objetos 3D, al entorno real y poderlos manipular e incluso hacer que interactúen entre sí. En este sentido, las investigaciones en RA se dirigen a poder realizar el seguimiento sin el uso de marcadores.

También se emplean como sistemas de rastreo las **cámaras digitales, sensores ópticos, acelerómetros o sensores de infrarrojos**.

Se trata de uno de los campos en los que más se ha avanzado en los últimos años, gracias a la proliferación de dispositivos con sensores y la mejora de la calidad de vídeo de las cámaras.

En general, se podría realizar una **clasificación de las tecnologías de seguimiento** en tres grandes grupos¹⁹ cuya descripción más detallada se muestra a continuación:

- **Basadas en sensores:** WIFI, Bluetooth, UWB- Ultra Wide Band, ZibBee, RFID, Infrarrojos, Ultrasonidos.
- **Basadas en visión por computador:** basadas en marcadores, sin marcadores o marcadores naturales.
- **Híbridas:** una combinación de diferentes métodos para mejorar la precisión. Por ejemplo, mezclar visión, localización GPS y orientación.

Tecnologías basadas en sensores

Se trata de los sistemas más utilizados hasta hace una década. Se trata de distintos tipos de sensores: infrarrojos, bluetooth, Wifi...que en la actualidad se emplean en combinación con técnicas de visión para mejorar las prestaciones de los sistemas de seguimiento.

El principal inconveniente del uso de estas tecnologías es el despliegue de la infraestructura en caso de que no exista (por ejemplo: una red Wifi). Además, su utilización es adecuada para interiores, ya que en exteriores la precisión de las localizaciones es menor, si bien puede emplearse en combinación con sensores GPS.

Tecnologías basadas en visión por computador

Estas tecnologías se basan en aprovechar las capacidades de captación de imágenes (foto, video) disponibles en los dispositivos actuales. Las tecnologías de localización basada en visión por computador

¹⁹ ITAINNOVA, “Análisis: realidad aumentada aplicada a entornos industriales”, 2014.

se dividen en dos grandes grupos: identificación/localización basada en marcadores e identificación/localización basada en reconocimiento de características naturales (carteles, rótulos, mobiliario, etc.).

Las **técnicas basadas en marcadores** fueron las primeras en desarrollarse existiendo varios tipos de marcadores: códigos de barras, QR (Quick Response Barcode) o Bidi. Los marcadores se caracterizan por ser fáciles de reconocer en base al alto contraste de los elementos que los componen. Una de las características más destacables que presentan es que su reconocimiento permite calcular la distancia y el ángulo a los mismos del dispositivo desde el que se está capturando la imagen. Por el contrario, además de ser elementos “artificiales” al elemento con respecto al que posicionar el usuario, presentan el inconveniente de tener que ser visibles.

Esta técnica se fundamenta en la utilización de una cámara para percibir el marcador desde un punto visual específico y un software (en el móvil, tableta, ordenador) que hace que aparezca una información sobreimpresa (imagen 3D, información adicional del producto, etc.).

Sin embargo, en la actualidad el mayor campo de trabajo en temas de realidad aumentada se centra en el **reconocimiento sin marcadores**. Este reconocimiento se basa en técnicas de reconocimiento de imágenes y que conllevan una gran capacidad de procesamiento por parte del dispositivo.

A continuación, se definen brevemente dos de las técnicas más importantes:

- **Basadas en modelos:** esta técnica se basa en el conocimiento a priori de la presencia de objetos 3D y su apariencia dentro de la escena. A pesar de que los entornos no tienen que estar preparados sí que conviene distinguir que hay que definir algunas restricciones y/o modelos geométricos que se esperan encontrar. Una vez traqueado el objeto, es posible detectar, mediante visión, aristas y puntos de interés para poder establecer la posición de la cámara relativa al objeto.
- **Reconocimiento de imágenes basadas en sus características naturales.** Esta técnica también conocida por su denominación en inglés, Natural Feature tracking, se basa en detectar características naturales de la escena, es decir, buscar estructuras físicas que son altamente detectables desde el punto de vista de los métodos de visión por computador. Este reconocimiento de imágenes basadas en sus características naturales se realiza mediante el uso de algoritmos matemáticos y permite que en función de estas características se pueda reconocer la misma imagen desde distintas distancias, orientaciones, y niveles de iluminación. La ventaja de esta técnica es que proporciona una mayor robustez ante oclusiones y variaciones de iluminación.

Tecnologías híbridas

Se trata de tecnologías que combinan las técnicas de visión con otras fuentes de datos posicionales y de movimiento o rotación proporcionados por GPS, brújula, acelerómetros, etc.

TECNOLOGÍAS DE VISUALIZACIÓN – DISPLAYS

Las tecnologías de visualización son todos aquellos dispositivos que se sitúan entre la realidad y los ojos de la persona, para poder ver la RA a través de la pantalla. Algunos ejemplos de dispositivos son los cascos

HMD, las gafas especiales como las Google Glass, o pantallas de visualización como ordenadores o dispositivos móviles.

En cuanto a la forma de mostrar la RA, existen tres posibilidades, tal y como se mencionan a continuación:

- **Display de mano (handheld):** es un dispositivo manual que incorpora una pequeña pantalla que cabe en la mano del usuario (tabletas, móviles) y sobre la cuál y mediante técnicas de superposición muestra la información virtual añadida a la real. La gran ventaja de estos dispositivos es el carácter portátil de los mismos, que son muy poco intrusivos y de muy fácil acceso. Actualmente, existen multitud de aplicaciones que pueden ejecutarse en teléfonos móviles o tablets ya que estos dispositivos disponen de cámara y su penetración en el mercado es muy amplia.
- **Display espacial (spatial):** esta opción hace uso de proyectores digitales para mostrar información gráfica sobre los objetos físicos. En este caso, la pantalla está separada de los usuarios del sistema y dado que el display no está asociado a cada usuario permite a grupos de usuarios utilizarlo al mismo tiempo. Estos displays basados en proyectores son una buena solución para aplicaciones que requieran ser lo menos intrusivas posible o que tengan que permitir trabajos colaborativos.
- **Display en la cabeza o head mounted display (HMD):** son unos dispositivos que incorporan una pantalla instalada en la cabeza y que es la que muestra las imágenes del mundo real y los objetos virtuales sobre su vista. Los HMD permiten tener dos tipos de pantallas: pantalla óptica transparente y mezcla de imágenes. Estos dispositivos pueden ser de distintos tipos en función de que las imágenes se reproduzcan sobre un ojo o sobre dos:
 - Monocular: las imágenes creadas por ordenador sólo se reproducen sobre un ojo.
 - Binocular: las imágenes creadas por ordenador se reproducen sobre los dos ojos, obteniendo así una imagen estereoscópica.

Los **dos principales sistemas de display** utilizados son la pantalla óptica transparente (Optical See-Through Display) y la pantalla de mezcla de imágenes (Video-Mixed Display).

- **Pantalla óptica transparente** (Optical See-Through display). Estos elementos de visualización son pantallas que permiten al usuario ver el mundo real con sus propios ojos a través del dispositivo y que sobreponen la información gráfica en la vista del usuario mediante un sistema de proyección óptico. Se proporciona una vista directa del entorno con una presentación simultánea de imágenes generadas por ordenador. El “optical combiner” es capaz de transmitir luz desde el entorno, mientras que también refleja la luz de la pantalla del ordenador. La mezcla combinada alcanza así los ojos del usuario.

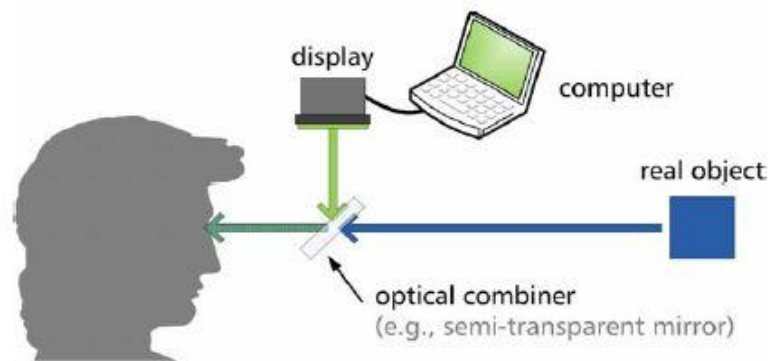


ILUSTRACIÓN 15: PANTALLA ÓPTICA TRANSPARENTE. FUENTE: OLWAL.COM

Los sistemas Optical See-Through espaciales utilizan pantallas transparentes que se integran con el entorno. Estos sistemas liberan al usuario de tener que llevar dispositivos pero requieren que la pantalla esté calibrada y deben garantizar la correcta perspectiva por parte del usuario.

- **Pantalla de mezcla de imágenes** (Video See-Through Display). Estos elementos de visualización constan de unas cámaras que se utilizan para grabar el mundo real y el sistema integra estas imágenes reales con las sintéticas y a continuación presenta la imagen compuesta a los ojos del usuario.

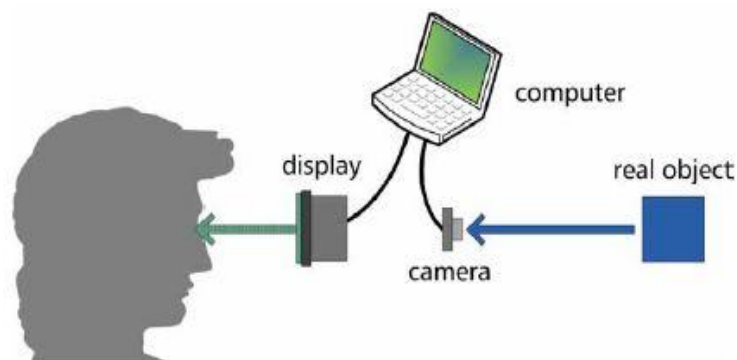


ILUSTRACIÓN 16: PANTALLA MEZCLA DE IMÁGENES. FUENTE: OLWAL.COM

Los displays de cabeza suelen utilizar este sistema de Video See-Through posicionando cámaras cerca de la posición del ojo del usuario. Idealmente se utilizarán dos cámaras para adquirir una visión estéreo con una perspectiva para cada ojo, pero también existen sistemas monoscópicos de cámara única, más fáciles de diseñar e implementar.

En la siguiente tabla puede observarse las principales **ventajas y desventajas** de cada uno de los sistemas de display comentados:

	PANTALLA ÓPTICA TRANSPARENTE OPTICAL SEE-THROUGH DISPLAY	PANTALLA MEZCLA DE IMÁGENES VIDEO SEE-THROUGH DISPLAY
Ventajas	Vista directa del entorno físico real: factores que limitan la calidad de las imágenes generadas por ordenador como la resolución, la calidad de la imagen o la capacidad del sistema no afectan a la visión del entorno real.	Combinación controlada del entorno real y virtual: ya que la imagen del entorno real se captura con una cámara y se trata en el ordenador. Adquisición, calibración y seguimiento de imágenes integradas: el registro de la posición de la cámara en relación con el entorno simplifica en gran medida la introducción de imágenes virtuales en la perspectiva correcta.
Desventajas	Brillo reducido de la visión del entorno real. Falta de oclusión. Necesidad de calibración avanzada y/o tracking: para asegurar que el contenido virtual está registrado correctamente respecto al entorno real. Múltiples planos focales.	Reducción de la calidad y fidelidad del entorno real. Posibles problemas de perspectiva debido al Offset de la cámara Un único plano focal. Sensibilidad al retraso del sistema. Dependencia del funcionamiento de la cámara.

TABLA 2: COMPARATIVA SISTEMAS DISPLAY DE VISUALIZACIÓN. FUENTE: ALEX OLWAL

SDKS

A continuación se muestran algunos ejemplos de distintos **kits de desarrollo** disponibles para realizar aplicaciones de realidad aumentada. La evolución alcanzada por los SDKs existentes para desarrollar aplicaciones de realidad aumentada es tal que los desarrolladores pueden usar las librerías y centrarse en el desarrollo de la lógica de la aplicación y el contenido de la misma. El análisis que se muestra a continuación fue realizado en 2015 por ITAINNOVA²⁰ basándose en los siguientes criterios:

- El producto o la librería es un SDK para crear aplicaciones de realidad aumentada, no una aplicación stand-alone (aplicación independiente).

²⁰ ITAINNOVA, “Análisis: realidad aumentada aplicada a entornos industriales”, 2014.

- El producto o la librería se pueden utilizar, ya sea a través de una descarga gratuita o mediante una licencia de software comercial.
- La lista no incluye las entradas que representan la oferta de servicios en lugar de software que se puede licenciar.
- La lista no incluye:
 - Productos en desarrollo que aún no se han publicado oficialmente
 - Productos que alguna vez fueron a licencia, pero desde entonces han sido adquiridos por otras entidades y que ya no ofrecen la licencia pública
 - Productos que no siguen soportados por una comunidad de desarrollo o comunidad de código abierto
- La lista excluye las soluciones propietarias que no están disponibles para los desarrolladores bajo cualquier modelo de licencia.
- Los productos deben funcionar al menos en dos sistemas operativos móviles.

PRODUCTO	LICENCIA	PLATAFORMA	CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN
ALVAR	Libre, Comercial	Android, iOS, Windows, Flash	Seguimiento basado en marcadores y sin marcadores	Librería software para crear aplicaciones de RA y RV. Desarrollada por el Instituto Técnico de Investigación VTT (VTT Technical Research Centre of Finland).
ARLab	Libre, Comercial	Android, iOS	GPS, sensors (IMU Sensors), búsqueda visual	ARLab ofrece un amplio portfolio de soluciones tecnológicas para RA.
ARmedia	Libre, Comercial SDK	Android, iOS, Windows, Flash	Seguimiento basado en marcadores	La plataforma ARmedia es un framework de desarrollo estructurado y modula que incluye distintos módulos software. Este framework es independiente del motor de seguimiento en tiempo real y del motor de renderización.
Arpa	Libre, Comercial SDK	Android, iOS, Windows	Seguimiento basado en marcadores y sin marcadores, GPS, Sensores (IMU sensors), tracking facial y por infrarrojos, y renderización en tiempo real	Arpa Solutions es una compañía líder en el desarrollo de productos y aplicaciones de realidad aumentada a través de su plataforma propietaria ARPA AR.

ARToolkit	Open Source, Comercial SDK	Android, iOS, Linux, OSX, Windows	Seguimiento basado en marcadores y sin marcadores	ARToolkit es una plataforma de Realidad Aumentada que está disponible para múltiples sistemas operativos: iOS, Android, Linux, Windows y Mac OS.
ArUco	Open Source	Linux, OSX, Windows	Marcadores	Librería para aplicaciones de RA basada en OpenCV
Aurasma	Libre, Comercial SDK	Android, iOS	Solución sin marcadores que se basan en las características naturales de la imagen o el objeto (bordes, esquinas o texturas), una técnica conocida como NFT (Natural Feature Tracking)	Es una solución de HP que incorpora reconocimiento automático de imágenes
BazAR	Open Source	Linux, OSX, Windows	Soluciones sin marcadores basadas en Natural Feature Tracking	BazAR es una librería de visión por computador basada en la detección de características de la imagen y su posterior matching. En particular, es adecuada para detectar y registrar estructuras planares en imágenes.
Beyond Reality Face	Comercial SDK	Flash	Tracking facial	Beyond Reality Face Nxt es una solución de tracking facial para desarrolladores y usuarios que proporciona una API disponible para todas las plataformas.
Catchoom	Libre, Comercial SDK	Android, iOS	Búsqueda Visual (VisualSearch)	Esta herramienta, licenciada por la Empresa Catchoom Technologies, ofrece la posibilidad de conectar aplicaciones móviles con los servicios en la nube de CraftAR.
DAQRI	Libre, Comercial SDK	Android, iOS	Búsqueda visual, ContentAPI y características naturales (NaturalFeature)	DAQRI es una plataforma RA basada en visión que ofrece soluciones de visualización e interactivas en 4D apoyadas por un sistema de datos en la nube.

Designers ARToolkit (DART)	Libre pero con el código fuente cerrado	OSX, Windows	Marcadores, ContentAPI y TrackerInterface	DART es un conjunto de herramientas de software que permite diseñar e implementar aplicaciones y experiencias de RA de forma rápida.
HOPPALA	Libre, Comercial, Servicio	Android, iOS	ContentAPI	Hoppala Augmentation proporciona un interfaz gráfico web que permite crear contenidos de RA de una forma muy fácil y publicar los contenidos en los tres navegadores de RA más importantes: Layar, Junaio y Wikitude.
IN2AR	Libre, Comercial SDK	Flash, iOS, Android	Características naturales (NaturalFeature)	IN2AR es un motor cross-platform de RA que es capaz de detectar y estimar la posición de las imágenes usando webcams y cámaras del móvil. La información de posicionamiento se puede usar para incluir objetos 3D o vídeos sobre la imagen y crear de esta forma aplicaciones o juegos de RA controlados por movimiento.
Instant Reality	Libre, Comercial SDK	Android, iOS, Linux, OSX, Windows	Marcadores, NaturalFeature, GPS, Sensores IMU, Tracking facial, VisualSearch, ContentAPI, SLAM, TrackerInterface	Es un framework para sistemas de realidad mixta que presenta interfaces para que los desarrolladores accedan a unos componentes y puedan realizar aplicaciones de RA/RV. Este sistema ha sido desarrollado por Fraunhofer IGD y ZGDV en cooperación con otros socios industriales.
Koozyt	Comercial SDK	Android, iOS	Marcadores	Fundada por miembros de los laboratorios de of Sony Computer Science que desarrollaron la tecnología "PlaceEngine" en Julio de 2007. Esta tecnología conecta el mundo real y el virtual poniendo el énfasis en el comportamiento humano.

Layar	Libre, Comercial SDK	Android, iOS	NaturalFeature, GPS, Sensores IMU, VisualSearch, ContentAPI	Layar permite a publicadores, anunciantes y marcas crear folletos, tarjetas con contenidos interactivos de RA sin necesidad de hacer desarrollos o instalar software.
Mixare	Open Source	Android, iOS	GPS	Mixare (mix AR Engine) es un browser de RA libre y de código abierto que está disponible par Android e iPhone.
OpenSpace3D	Open Source	Linux, Windows	Marcadores	OpenSpace3D es una plataforma de código abierto para desarrollar proyectos de RA y RV. Su objetivo es democratizar las aplicaciones 3D en tiempo real y proporcionar herramientas para creativos.
Rox Odometry SDK	Libre, Comercial SDK	Android, iOS, Linux, OSX, Windows	Marcadores, NaturalFeature	Permite construir aplicaciones identificando con la cámara del dispositivo objetos pre-grabados y obtener de forma exacta su posición y orientación relativa en tiempo real.
SSTT	Código fuente cerrado	Android, iOS, Windows Mobile, Linux, OSX, Windows	Marcadores, NaturalFeature	SSTT Bounce es un browser de RA que usa técnicas de tracking basadas en características naturales de la imagen.
Total Immersion	Libre, Comercial SDK	Android, iOS, Windows, Flash	Marcadores, NaturalFeature, Tracking facial	Total Immersion ofrece una plataforma comercial de RA que integra gráficos 3D interactivos en tiempo real dentro del flujo de video en vivo.
UART	Open Source	iOS, OSX, Windows	Marcadores	Unity AR Toolkit (UART) es un set de plugins para el motor Unity que permite a los usuarios desarrollar y desplegar aplicaciones de RA.
Vuforia	Libre, Comercial SDK	Android, iOS	Marcadores, NaturalFeature, VisualSearch	Vuforia es una plataforma de software que permite desarrollar aplicaciones de RA para móviles y tabletas.

Wikitude	Libre, Comercial SDK	Android, iOS, BlackBerry OS	GPS, Sensores IMU, ContentAPI	Wikitude es una solución completa de RA que incluye reconocimiento de imágenes, tracking, renderización de modelos 3D, etc.
Win AR	Libre, Comercial SDK	Windows	NaturalFeature	WinAR es una plataforma de desarrollo basada en Windows para realizar aplicaciones de RA. Proporciona procesamiento de imágenes, algoritmos de seguimiento y de registro.
yvision	Libre, Comercial SDK	Android, iOS, Windows Mobile, OSX, Windows	Marcadores	YVision es un framework que permite prototipado rápido y desarrollo de aplicaciones. Integra visión por computador, renderizado en tiempo real, simulación de físicas, RA, inteligencia artificial, etc.
ZappCode Creator	Comercial SDK	Android, iOS	Marcadores	Zapcode Creator son herramientas de creación de contenidos para crear experiencias de RA.

TABLA 3: LISTADO DE KITS DE DESARROLLO DISPONIBLES PARA REALIZAR APLICACIONES DE REALIDAD AUMENTADA. FUENTE: ITAINNOVA

Soluciones hardware existente en el mercado

Para el desarrollo e implementación de la RA, las **soluciones software** dependen del desarrollo de plataformas hardware adecuadas y robustas. Por su parte, el desarrollo del hardware está ligado a los avances tecnológicos en campos como los procesadores, displays, sensores, velocidad de internet, duración de la batería, etc. Sin embargo, las soluciones hardware existentes en el mercado en la actualidad están por delante de los desarrollos software que son necesarios para explotar todas las oportunidades que brinda la RA.

De forma general, se puede hablar de los siguientes tipos de plataformas Hardware²¹:

- **Dispositivos de mano (Handheld devices):** se trata de dispositivos portátiles como smartphones o tabletas. Estos dispositivos están en auge y se prevé que aceleren la adopción de la RA, especialmente debido a que sus características han ido mejorando en los que se refiere a pantallas con mayor resolución, procesadores más potentes, cámaras de alta calidad, uso de sensores como acelerómetro, GPS, etc. El principal inconveniente de estos dispositivos es que no permiten al usuario disfrutar de una experiencia libre de manos.

²¹ DHL Trend Research, “Augmented reality in logistics”, 2014.

- **Dispositivos estacionarios (Stationaty AR Systems):** estos sistemas son adecuados cuando se requiere una pantalla o resolución mayor en una ubicación permanente. Estos sistemas inmóviles pueden equiparse con sistemas avanzados de cámara que proporcionen un reconocimiento más preciso de las personas y escenas, que en el caso de los dispositivos móviles. Además, la unidad de visualización muestra imágenes más realistas y no se ve tan afectada por los aspectos ambientales como la luz solar o la poca iluminación.
- **Dispositivos espaciales (Spatial Augmented Reality – SAR – Systems):** a diferencia de todos los demás sistemas, los sistemas SAR incluyen contenidos virtuales directamente proyectados sobre la imagen del mundo real. Por lo tanto, cualquier superficie física como paredes, madera o incluso el cuerpo humano, se puede convertir en una pantalla interactiva. Con la disminución del tamaño, coste y consumo energético de los proyectores, junto con los avances en proyección 3D, están emergiendo nuevas oportunidades en este tipo de dispositivos. La principal ventaja de estos sistemas es que proporcionan un reflejo más preciso de la realidad, ya que la información virtual se puede visualizar con proporciones y tamaño reales. Además, el contenido puede hacerse visible para un mayor número de espectadores, y esto puede permitir, por ejemplo, el trabajo simultáneo.
- **Head mounted displays (HMDs):** consisten en un auricular, tipo casco, con una o más pantallas (micro). Los HMD como ya se ha indicado anteriormente en este documento, colocan imágenes tanto del mundo físico como de objetos virtuales sobre el campo de visión del usuario. Por lo que el usuario no ve la realidad directamente sino una imagen vídeo. El sistema puede ser monocular o binocular, y además, los HMDs modernos a menudo son capaces de emplear sensores para 6 grados de libertad, permitiendo al usuario mover su cabeza libremente adelante/atrás, arriba/abajo, izquierda/derecha. Esto permite al sistema alinear la información virtual con el mundo físico y ajustarla de acuerdo con la movimientos de la cabeza del usuario.
- **Gafas inteligentes (Smart Glasses):** se trata de gafas equipadas con pantallas, cámaras y micrófonos. De esta manera, se intercepta la visión del mundo real del usuario y se vuelve a mostrar una visión aumentada, proyectando las imágenes de RA a través de la superficie de las lentes. Algunos de los ejemplos más destacados son Google Glass, Vuzix M100 o Atheer One.
- **Lentes inteligentes (Smart lenses):** se trata de convertir las lentes actuales en un sistema funcional mediante la integración de circuitos de control, circuitos de comunicación, antenas en miniatura, LEDs y otros componentes optoelectrónicos. La idea es que cientos de LEDs podrían ser utilizados para formar directamente la imagen, transformando la lente en un display, sin embargo, aún se tienen que realizar avances importantes en este campo, como por ejemplo el cómo suministrar alimentación a las lentes o cómo asegurar que no se dañe el ojo humano.

A continuación se muestran algunas de las **soluciones más destacadas existentes en el mercado** de HMD o gafas inteligentes:

HOLOLENS DE MICROSOFT²²



Con apariencia de gafas de sol futuristas, las gafas HoloLens tienen incorporado sonido espacial y estereoscópico 3D y están diseñadas para permitir a los usuarios trabajar con aplicaciones de Windows 10 mediante la representación de hologramas 2D y 3D. Las gafas HoloLens pueden convertir una pared blanca en un monitor re-dimensionable, y proyectar un escritorio con Microsoft Word, E-mail y otras aplicaciones.

El kit convencional tiene un precio de 3.000 \$ mientras que el kit para clientes empresariales asciende a 5.000\$.

ATHHER ONE²³



Las gafas están basadas en un sistema Android, tienen dos pantallas transparentes con un gran campo de visión (50º), dos cámaras RGB en combinación con una cámara de profundidad 3D y un procesador NVIDIA Tegra K1. Tiene conectividad móvil wifi, Bluetooth y 4G. La duración de su batería es de 8 horas.

VUZIX BLADE 3000²⁴



Las gafas VUZIX AR3000 incorporan un potente microprocesador con sistema operativo Android, dos pantallas ultradelgadas "Cobra", Couch pad, micrófonos de supresión del ruido y dos cámaras HD.

El usuario puede interactuar con objetos 3D virtuales superpuestos en el mundo real. Las gafas se conectan de forma inalámbrica a través de conexión WIFI y Bluetooth directamente a la nube o a dispositivos móviles.

²² <https://www.microsoft.com/microsoft-hololens/en-us>

²³ <https://www.epson.es/products/see-through-mobile-viewer/moverio-bt-300>

²⁴ <https://www.vuzix.com/Products/Series-3000-Smart-Glasses>

GOOGLE GLASS



Anunciadas en 2012 por Google se trata de unas gafas de Realidad Aumentada dirigidas principalmente al uso personal. Disponen de un joystick situado en una de las patillas para mostrar las imágenes, aunque también se puede dar la orden por voz. Los principales usos son: hacer fotos con una resolución de 5 megapíxeles; grabar vídeos en alta definición (750p HD); navegar por Internet y utilizar las aplicaciones de Google. El precio de lanzamiento fue de 1.500 dólares y fue comprada por un total de 30.000 personas. En la actualidad las Google Glass han sido retiradas del mercado y la compañía está explorando su aplicación industrial con “Google Glass Enterprise Edition”.

EPSON – MOVERIO BT-300²⁵



Las gafas Moverio BT-300 cuentan con la tecnología más avanzada de Epson de pantalla digital OLED (diodo orgánico emisor de luz) con base de silicio, lo que convierte al dispositivo en las smartglasses binoculares transparentes más ligeras del mercado con pantalla OLED.

Dispone de una cámara frontal de alta definición (HD) para fotos y vídeos subjetivos y de realidad aumentada, y su batería tiene una duración de seis horas. Cuenta con sistema operativo Android para un fácil desarrollo de las aplicaciones.

META 2



Se trata de unas gafas de RA que por sus similitudes compite con las Hololens. Cuenta con una pantalla de 2560 x 1440 píxeles con ángulos de visión de 90º e incorpora cuatro altavoces y diversos sensores que ayudan a entender el entorno para poder interactuar con él y los diversos objetos 3D que salgan proyectados en la pantalla.

La principal diferencia respecto a Hololens es que las Meta 2 necesita un ordenador para ser ejecutadas, de ahí el cable que se ve salir del casco. El precio está en torno a 949\$.

²⁵ <https://www.epson.es/products/see-through-mobile-viewer/moverio-bt-300>

DAQRI SMART HELMET²⁶



DAQRI traslada todo el potencial de la realidad aumentada y la tecnología 4D al espacio de trabajo y los ambientes industriales a través de su nuevo desarrollo, Smart Helmet o "casco inteligente". Este casco está especialmente diseñado para un uso industrial. Muestra la información con hologramas, permite tomar fotos y vídeos desde su cámara integrada de 13MP y posee visión de temperatura.

ODG R-8 y R9²⁷



Se trata de dos modelos recientemente presentados por la compañía ODG que integran la tecnología del procesador Snapdragon 835 de Qualcomm. Entre sus características están: Bluetooth 5, Wi-Fi 802.11ac, GPS detección de gestos, doble micrófono, bocinas direccionales, USB-C y Reticle OS basado en Android 7.0 (Nougat). Las gafas están pensadas para uso empresarial.

MAGIC LEAP²⁸

Se trata de una start-up californiana que está trabajando en una tecnología que parece que revolucionará el mercado de la realidad aumentada. La empresa ha recibido financiación de multinacionales como Google, Alibaba o Qualcomm.

Lo que Magic Leap ha creado es la **"realidad cinemática"**, que no es lo mismo que "realidad aumentada". Se trata de un sistema óptico que crea la ilusión de profundidad, de tal manera que los ojos del usuario serán capaces de concentrarse en objetos lejanos y cercanos, haciendo que se mezclen imágenes en el cerebro para poder identificar las distancias adecuadas de acuerdo con la información proyectada.

Magic Leap se basa en imágenes que se proyectan sobre un chip semitransparente de cristal con recubrimientos a nanoescala. La experiencia ha sido nombrada como "Realidad Mixta", ya que según la empresa, toma lo mejor de la realidad virtual y aumentada y lo mezcla de forma natural con la realidad que se presenta, lo que hace que se sienta "natural" el cambio de usar el sistema y dejarlo, causando una transición sin esfuerzo.

²⁶ <https://daqri.com/products/smart-helmet/>

²⁷ <http://www.osterhoutgroup.com/system>

²⁸ <https://www.magicleap.com>

REALIDAD VIRTUAL

Definiciones

El término **Realidad Virtual** fue utilizado por primera vez en la década de los 60 por Ivan Sutherland en su trabajo de tesis "The ultimate display"²⁹, la primera tentativa de casco de realidad virtual o HMD, y en su estudio introducía los conceptos clave sobre la **inmersión en un entorno simulado** y un completo análisis acerca de los periféricos de entrada y salida, sentando las bases de la investigación en torno a los sistemas de Realidad Virtual. Bajo la premisa de que la pantalla era una ventana a través de la cual se veía el mundo virtual, el reto que se planteaba era el de hacer que ese mundo pareciese, actuase, sonase y se sintiese como el mundo real. Aunque el término no empezó a popularizarse hasta finales de la década de los 80, en la que numerosos autores publicaron sus teorías y estudios sobre la realidad virtual así como avances en nuevas tecnologías que iban apareciendo.

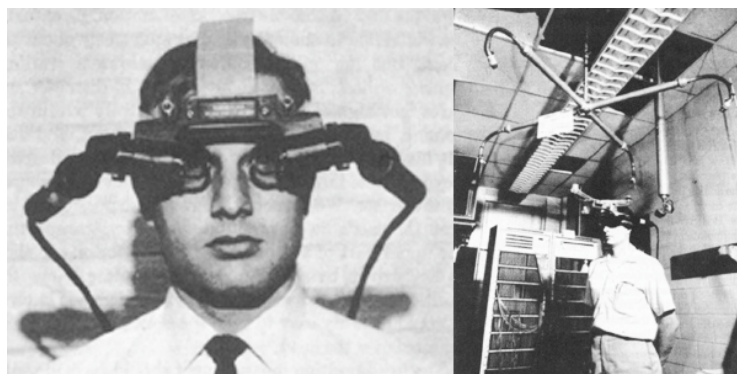


ILUSTRACIÓN 17: PRIMER MONITOR HMD. FUENTE: IVAN SUTHERLAND

Una definición más reciente, es la proporcionada por Sherman y Craig (2003) en su libro, que describen la Realidad Virtual como un **medio compuesto de simulaciones por ordenador interactivas que detectan la posición del participante y sus acciones**, proporcionando retroalimentación sintética a uno o más sentidos, dando la **sensación de estar inmerso o estar presente en la simulación**. Otra definición más reciente es la introducida por Dioniso et al. (2013) que define la realidad virtual como simulaciones tridimensionales generadas por ordenador de objetos o lugares, y con interacción con el usuario de manera física, directa y aparentemente real.

A la vista de las definiciones encontradas en la bibliografía, podemos concluir que la Realidad Virtual es una **simulación generada por ordenador y artificial de un objeto, entorno o situación concreta real**. El usuario tiene la sensación de experimentar la realidad, y dependiendo del grado de inmersión, incluso puede llegar a interactuar con el entorno u objetos virtuales.

Hoy en día la mayor parte de sus aplicaciones están relacionadas directamente con el ocio, ya sea videojuegos, cine, televisión o deporte, aunque se empieza a trabajar en otras aplicaciones como por ejemplo medicina o educación. En el ámbito industrial, cómo se verá en este documento, las aplicaciones con mayor potencial giran en torno a la formación de empleados.

²⁹ Sutherland, I.E. "The ultimate display", Proceedings of IFIIPS Congress, vol2, pp. 506-508, 1996.

ELEMENTOS CLAVE

Los **elementos clave que una experiencia debe cumplir para considerarse de Realidad Virtual** son³⁰: un entorno virtual, la inmersión, el feedback sensorial y la interacción, tal y como se describe a continuación:

- **Entorno Virtual:** se trata de una colección de objetos situados en un espacio determinado junto con las reglas y relaciones que los gobiernan. Cuando se experimenta este mundo virtual a través de un sistema que presenta estos objetos de manera físicamente inmersiva e interactiva, estaremos en un entorno de RV.
- **Inmersión:** el concepto de inmersión es común a casi cualquier tipo de medio de comunicación (película, libro, videojuego, etc.), en todos los casos se habla de inmersión mental o presencia, donde el usuario del medio se desvincula de algún modo de la realidad cotidiana, para involucrarse dentro de la realidad alternativa ofrecida por el medio en cuestión. Existe otro tipo de inmersión, exclusiva de la RV, y que es una de sus características diferenciadoras frente a otros medios: la inmersión física o inmersión sensorial, donde se suministran determinados estímulos físicos, generados de manera sintética, a los sentidos del usuario, sustituyendo o complementando los estímulos recibidos del medio natural.
- **Feedback sensorial:** a diferencia de los medios tradicionales, la RV permite a los participantes posicionarse en el mundo virtual de manera activa, empleando sistemas de posicionamiento, la RV da al usuario una respuesta sensorial en función de su posición física en el medio virtual. Generalmente esto se reduce a una respuesta visual, y/o auditiva aunque existen dispositivos, de tipo háptico, que permiten la realimentación táctil, e incluso sistemas de retroalimentación olfativa.
- **Interactividad:** una de las características básicas que ha de tener una aplicación de RV es que el mundo virtual responda a las acciones de los usuarios, esta cualidad se denomina interactividad. El hecho de que sea posible una interacción a nivel usuario-mundo virtual dota de cierto grado de autenticidad a un medio como la RV.

DIFERENTES REALIDADES VIRTUALES

A continuación, se realiza una **clasificación** de los distintos tipos de realidades virtuales que se pueden encontrar³¹.

- **Sistemas desktop de realidad virtual:** el usuario ve la imagen en primera persona. Se muestra una imagen 2D o 3D en una pantalla de ordenador en lugar de proyectarla a un HMD. El usuario viaja en cualquier dirección dentro del mundo tridimensional que se muestra en un monitor, casco, gafas o pantalla de proyección (videojuegos).
- **Realidad Virtual en segunda persona:** el usuario se ve a sí mismo dentro de la escena. Es un integrante “visible” del mundo virtual porque ve la proyección de su imagen en un fondo o ambiente. Este sistema involucra percepciones y respuestas en tiempo real a las acciones de los

³⁰ Muhanna A., “Virtual reality and the CAVE: Taxonomy, interaction challenges and research directions”, 2014.

³¹ BBVA, “Realidad Virtual”, 2015.

humanos involucrados, que no llevan cascos, guantes, HMD's, gafas o cualquier otro tipo de interface.

- **Telepresencia:** los sistemas de telepresencia forman el grupo de aplicaciones de realidad virtual. Cámaras, dispositivos táctiles y de retroalimentación, ligados a elementos de control remoto que permiten manipular robots o dispositivos ubicados a distancia mientras se experimentan en forma virtual (Telemedicina, Telerrobótica).
- **Sistemas de inmersión de realidad virtual:** sumergen al usuario en el mundo virtual, utilizando sistemas visuales tipo CAVE (Cave Automatic Virtual Environment), con sensores de posición y movimiento. El usuario en el mundo virtual responde a los movimientos de la cabeza de manera similar a como ocurre en el mundo real. Los mundos de inmersión existen en 3 dimensiones. A través del envío de imágenes ligeramente diferentes a cada ojo se habilita la sensación de profundidad, perspectiva y dimensión.

Principales componentes

En un sistema de realidad virtual se pueden distinguir **elementos hardware y elementos software**. Los componentes hardware³² más importantes son el ordenador, los periféricos de entrada y los periféricos de salida. Los componentes software más importantes son el modelo geométrico 3D y los programas de simulación sensorial (simulación visual, auditiva, táctil, etc.), simulación física (movimiento de la cámara virtual, detección de colisiones, cálculo de deformaciones, etc.), y recogida de datos.

HARDWARE

Generalmente, el hardware de los dispositivos de RV se clasifica en dos grandes grupos: **periféricos de entrada** (input devices) y **periféricos de salida** (output devices), tal y como se describe a continuación y de acuerdo con el siguiente esquema.

³² Christoph Anthes et Al., “State of the art of virtual reality technology”, 2016.

Periféricos de salida (output devices)

Se trata de **displays** a través de los cuales **se presenta el entorno virtual**, estos periféricos se encargan de traducir las señales de audio, video, etc. generados por el ordenador en **estímulos** para los órganos de los sentidos (sonido, imágenes, etc.). La mayoría de los dispositivos son displays visuales, principalmente se trata de Head Mounted Displays (HMDs) que pueden ser wireless o estar conectados por cable. También existen otras categorías como dispositivos hápticos y multisensoriales.

- **Feedback visual:** se trata de displays visuales. Las personas están orientadas fuertemente por su sentido visual, dando prioridad a este frente a otros estímulos. Los dispositivos visuales en la RV garantizan una visión estereoscópica y la capacidad de captar los movimientos de la cabeza y actualizar continuamente el display visual para reflejar el movimiento del usuario sobre el entorno virtual. El usuario debe recibir el estímulo visual en la adecuada resolución, en color, con el adecuado brillo y gran calidad de los movimientos que se representan. Los displays visuales pueden ser wireless o por cable. Las principales ventajas de los dispositivos wireless es que no dependen de la conexión por cable y del ordenador.
- **Feedback háptico:** estos dispositivos abarcan diferentes áreas. Algunos conceptos existen en forma de chalecos que incluyen elementos táctiles vibratorios, mientras que otros son claramente híbridos y tienen implementados controles. Se trata, en general, de elementos que deben ser portados por el usuario.
- **Feedback multisensorial:** también existen displays que estimulan otros sentidos y que pueden generar un feedback sonoro u olfativo. Los displays olfativos suelen enfocarse al sector consumo, bien añadido a una solución HMD o integrado en un display de un HMD.

Periféricos de entrada (input devices)

Los periféricos de entrada se encargan de **capturar las acciones del participante** y enviar esta información al ordenador. Al igual que en el caso de los dispositivos de salida, los dispositivos de entrada pueden clasificarse en tres grandes categorías: elementos de control, dispositivos de navegación que garantizan una experiencia más intuitiva, y el sistema de tracking o seguimiento que puede ser de cuerpo completo o el seguimiento de una parte concreta, como por ejemplo la mano.

- **Elementos de control:** los controladores para los HMDs se manejan con una o dos manos y pueden ser botoneras que transmiten un movimiento discreto, joysticks o pantallas táctiles que proporcionan un input continuo, normalmente con 6 grados de libertad. Estos dispositivos pueden ser inalámbricos. Cabe destacar que se está trabajando en elementos de control más avanzados como los **guantes inteligentes o los exoesqueletos**.
- **Dispositivos de navegación:** los dispositivos de navegación se utilizan para dar al usuario la sensación de movimiento a través de espacios que parecen interminables y actuar como un estímulo para viajar a través del entorno virtual. Mientras que las cintas de correr tradicionales permiten el movimiento en una dirección, los avances tecnológicos permiten que actualmente en la Realidad Virtual se utilicen cintas de movimiento en un plano bidimensional, lo que se

denominan cintas omnidireccionales (Omnidirectional Treadmills - ODTs³³). Existen también otras tecnologías que son superficies pasivas de baja fricción, o dispositivos diseñados para caminar en la misma posición o sentarse (se consideran sistemas estacionarios ya que el usuario no está caminando activamente hacia delante).

- **Body tracking:** la estimación de la postura del usuario se basa en la postura real del cuerpo del mismo así como del gesto o postura de sus manos. La estimación de la postura puede convertirse en una característica crítica con el fin de proporcionar una buena auto-representación. Para determinar la posición se debe tener en cuenta la orientación y el desplazamiento. La orientación se obtiene de las rotaciones, mientras que el desplazamiento es una función más crítica que se puede obtener a través de distintos mecanismos como el seguimiento mecánico, magnético, óptico, por vídeo o a través de los sistemas inerciales. Normalmente se emplea un sistema de seguimiento magnético, aunque también son muy utilizados los sistemas de unidades de medición inercial (IMU) combinados con el seguimiento magnético.
- **Hand tracking:** los sistemas de seguimiento de gestos de las manos son muy variados y van desde guantes de datos, con extensómetros o fibra óptica, que se llevan en las manos, hasta tecnologías sin contacto físico, que utilizan tecnologías de seguimiento óptico que se colocan en la muñeca usando medición de electromiografía (EMG), que mide la actividad eléctrica muscular.

SOFTWARE

Como ya se ha mencionado, los componentes software más importantes son el **modelo geométrico 3D y los programas de simulación sensorial** (simulación visual, auditiva, táctil, etc.), **simulación física** (movimiento de la cámara virtual, detección de colisiones, cálculo de deformaciones, etc.), y **recogida de datos**.

Ordenador

El ordenador se encarga de llevar a cabo la simulación de forma interactiva, basándose en el modelo geométrico 3D y en el software de recogida de datos, simulación física y simulación sensorial. Debido a que el proceso más crítico en realidad virtual es la simulación visual (síntesis de imágenes a partir de modelos 3D), los ordenadores que se utilizan para realidad virtual son estaciones de trabajo con prestaciones gráficas avanzadas, donde la mayor parte de las etapas del proceso de visualización están implementadas por hardware.

Modelo geométrico 3D

Dado que un sistema de realidad virtual tiene que permitir explorar la escena de forma interactiva y ver el mundo virtual desde cualquier punto de vista, es necesario disponer de una **representación geométrica 3D** de este mundo, que permita hacer los cálculos de imágenes, generación de sonido espacial, cálculo de colisiones, etc.

³³ www.youtube.com/watch?v=WBEfOcNTaVA

Software de tratamiento de datos de entrada

Los módulos de recogida y tratamiento de datos se encargan de **leer y procesar la información** que proporcionan los sensores. Esto incluye los controladores de los dispositivos físicos, así como los módulos para el primer tratamiento de los datos suministrados. Por ejemplo, los datos de posición y orientación de la cabeza del usuario normalmente se tienen que transformar para expresarlas en un sistema de coordenadas y se deben filtrar para evitar saltos repentinos como consecuencia de lecturas erróneas de los valores de posición. Los sistemas que permiten la comunicación con el ordenador mediante órdenes orales requieren un sistema de reconocimiento de voz. Otros sistemas utilizan un esquema de comunicación basado en gestos de la mano (una especie de lenguaje de sordo-mudos pero más sencillo) y que requiere el reconocimiento de gestos a partir de una secuencia de movimientos.

Software de simulación física

Los módulos de simulación física se encargan de llevar a cabo las modificaciones pertinentes en la **representación digital de la escena**, a partir de las acciones del usuario y de la evolución interna del sistema. Por ejemplo, si el módulo de recogida de datos indica que el usuario tiene que hacer el gesto correspondiente a abrir una puerta, el sistema debe aplicar la transformación geométrica correspondiente al objeto del modelo 3D que representa esta puerta. Estos módulos varían dependiendo de la aplicación concreta.

La función más básica consiste en calcular en tiempo real los parámetros de la cámara virtual de acuerdo con los movimientos del usuario, aunque también puede encargarse del cálculo de colisiones, deformaciones, comportamiento y otras actualizaciones que afecten a la evolución en el tiempo del entorno virtual representado.

Software de simulación sensorial

Estos módulos se encargan de calcular la **representación digital de las imágenes, sonidos, etc.** que el hardware se encargará de traducir a señales y finalmente a **estímulos para los sentidos**. Entre los módulos de simulación sensorial, el más importante es el de **simulación visual**, que se basa en algoritmos de visualización en tiempo real del modelo geométrico. Dado que el rendimiento es crítico, se utilizan técnicas de aceleración de imagen con el propósito de reducir al mínimo posible el tiempo de generación de cada fotograma. Respecto a la **simulación auditiva**, cabe destacar que la generación de sonido realista requiere tener en cuenta las propiedades acústicas de los objetos y que los algoritmos son tan complicados como los algoritmos de visualización. Respecto a la **simulación táctil**, es necesario distinguir entre los dispositivos que proporcionan sensación de tacto (a menudo limitado a la mano), sensación de contacto (también limitado a la mano) y realimentación de fuerza (impiden u ofrecen resistencia a hacer movimientos con la mano cuando ésta choca virtualmente con un objeto virtual). En cualquier caso, es imprescindible que el sistema sea capaz de detectar en tiempo real las colisiones que se puedan producir entre la mano del usuario y los objetos de la escena, ya que es este evento el que activa los dispositivos hardware apropiados.

Cave automatic virtual environment

CAVE es el acrónimo de **“Cave Automatic Virtual Environment”** que en español significa cueva o cabina de simulación de un entorno virtual. La primera CAVE fue inventada en 1992 por un grupo de investigadores del Laboratorio de Visualización Electrónica de la Universidad de Illinois (Cruz-Neira et al., 1992, 1993). Fue diseñado e implementado con el reto de crear una herramienta de visualización que utilizase pantallas de proyección de gran tamaño. El primer desarrollo se presentó en la Conferencia Anual “Computer Graphics” (1992) y desde entonces se han realizado numerosos estudios en torno a la CAVE que la han evolucionado de manera importante.

Una CAVE es un **habitáculo de realidad virtual inmersiva** que consiste generalmente en un **cubo donde se proyectan imágenes** en las paredes, suelo y techo, y en el interior del cual se encuentra el usuario. Generalmente, el usuario lleva unas gafas estereoscópicas que permiten ver las imágenes en 3D.

Los sistemas tipo CAVE se caracterizan por:

1. **Ser multiusuario:** varios usuarios pueden estar dentro de la CAVE y vivir la experiencia simultáneamente de forma cómoda y útil.
2. **Profundidad por estereoscopia:** la estereoscopia en este caso, no sólo hace que las dimensiones físicas del CAVE se vean sobrepasadas, sino que también consigue que se experimenten objetos flotando dentro. Esto permite explorar los objetos desde muchos puntos de vista distintos.
3. **No aislamiento del usuario:** el hecho de que los usuarios no estén aislados permite que puedan comentar aquello que están viendo.

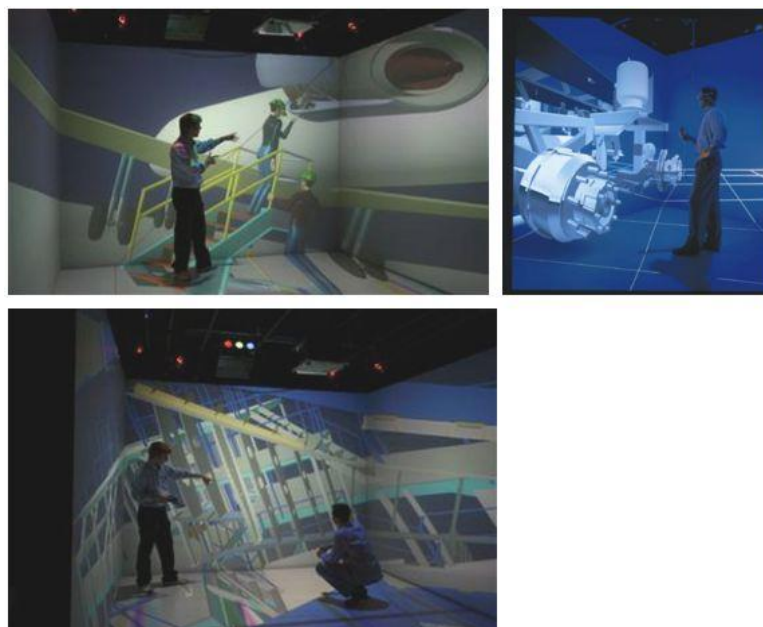


ILUSTRACIÓN 19: EJEMPLO DE CAVE. FUENTE: MECHDYNE

A continuación se resumen las principales **ventajas e inconvenientes** del uso de las CAVE:

VENTAJAS

- Aprendizaje en manipulación de objetos en un contexto no real.
- Ayuda a realizar experimentos, entrenamiento, formación y aspectos académicos y de negocios que evitan pérdidas económicas, materiales o humanas.
- Beneficios para que personas de diversidad funcional puedan experimentar cuestiones que no les permite la realidad.
- Permite realizar un seguimiento de las situaciones y procedimientos que se van a realizar en el mundo real.
- Se puede romper paradigmas, principios y leyes de la realidad (Gravedad, Vuelo, Arquitectura Virtual, etc.).
- Se pueden poner a prueba principios y modelos.
- Se pueden plantear situaciones para ser simuladas y poder obtener una retroalimentación de los sucesos.

INCONVENIENTES

- La complejidad de los desarrollos es elevada.
- Los costes son bastante elevados en la realización de mundos virtuales.
- Habrá defectos durante la experiencia, en cuanto a la interacción entre el programa y los usuarios y en cuanto a la interfaz.
- Se puede presentar desorientación espacial.
- A veces suele ser difícil el aprendizaje del uso de la herramienta, lo cual incurre en cierta dificultad para dominar los mandos y/o controles.
- Distanciamiento emocional de los objetos y escenas virtuales.
- Todo el equipo técnico necesita de un adecuado personal para el mantenimiento e instalación, por lo tanto para su manejo requiere personal altamente cualificado.

Soluciones hardware existentes en el mercado

A continuación, se resumen brevemente los principales modelos de gafas de Realidad Virtual que se están comercializando en el mercado:

OCULUS RIFT³⁴



Se trata de un casco de RV que ofrece una experiencia de inmersión completa en un entorno virtual. Oculus Rift funcionan conectadas a un ordenador PC con los requerimientos técnicos necesarios y a un sensor inalámbrico que deberá estar situado cerca de las mismas. La pantalla está formada por un par de paneles OLED con resolución de 2160x1200 píxeles. Además, están equipadas con un mando “Oculus Touch” que detecta la posición de las manos y permite al usuario realizar acciones y con unos auriculares especiales para reducir distracciones por ruidos. Se lanzaron al mercado a principios de 2016 y tienen un precio de 599\$ y los mandos tienen un precio adicional de 199\$.

SAMSUNG GEAR VR³⁵



Se trata de unas gafas de RV desarrolladas por Samsung en colaboración con Oculus y que están diseñadas específicamente para funcionar únicamente con los modelos de móviles de Samsung. El móvil se tiene que encajar en la estructura de Gear VR, convirtiéndose así en un dispositivo de realidad virtual. Tiene un ángulo de visión de 96 grados, pesa 345g y tiene un tamaño de 98,6x207, 8x122,5mm. Su precio está en torno a los 90€.

HTC VIVE³⁶



Este casco de RV fue desarrollado por HTC en colaboración con la empresa Valve. A diferencia de los dos modelos anteriores, HTC Vive permite un cierto grado de desplazamiento físico y seguimiento real de manos: las manos forman parte del juego y el usuario ve reflejado el movimiento de las mismas en tiempo real: la posición, el giro, etc. gracias a los botones disponibles en los mandos. El casco está equipado con una pantalla OLED con resolución de 2.160x1200 píxeles y tiene un campo de visión de 110 grados. Su precio, incluyendo mandos, es de 899€.

³⁴ www3.oculus.com

³⁵ www.samsung.com

³⁶ www.vive.com/eu/

EXOESQUELETOS

Introducción

A pesar de la tendencia continua de automatización y mecanización en la industria, muchos trabajadores siguen estando expuestos a **cargas físicas** debido al manejo de materiales (más del 30% de la población laboral en la EU), **movimientos repetitivos** (63%) y **posturas incómodas** (46%)³⁷. Estos datos que han sido estables durante la última década, contribuyen al hecho de que los trastornos músculo-esqueléticos relacionados con el trabajo (DMTT) siguen afectando a un número considerable de trabajadores. Así, en la Unión Europea, anualmente más del 40% de los trabajadores sufren de dolor lumbar o de cuello y hombro.

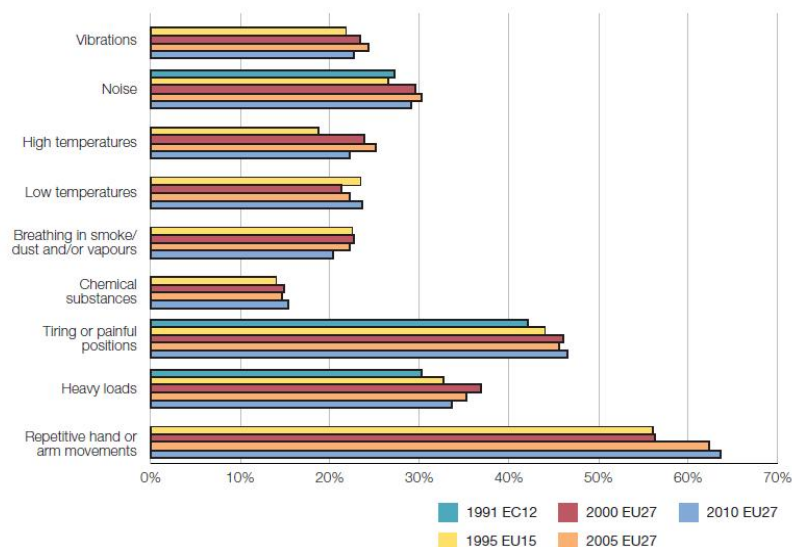


ILUSTRACIÓN 20: EXPOSICIÓN TRABAJADORES A RIESGOS FÍSICOS EN EL TRABAJO. FUENTE: EUROFOUND (5HT EUROPEAN WORKING CONDITIONS SURVEY)

La **automatización completa** resolvería estos problemas, pero esto no siempre es factible. Por ejemplo, en entornos dinámicos de fabricación o de almacenamiento, donde existe una alta variedad de productos y tamaños de pedido relativamente pequeños dictan altos niveles de flexibilidad y, en tales casos, la automatización total no es posible o prohibitivamente costosa. En este contexto de productos y tareas que varían continuamente, la capacidad humana de observar, decidir y adoptar las acciones apropiadas en cuestión de segundos todavía es necesaria. Por lo tanto, los trabajadores siguen estando expuestos a diversas actividades de producción tales como el montaje o el manejo de materiales y, por lo tanto, están expuestos a los **riesgos asociados al desarrollo de WMSD** (Work related musculoskeletal disorders). En este sentido, existe una tendencia creciente en la industria moderna hacia la **colaboración hombre-robot** para mejorar el uso de la robótica, al mismo tiempo que mantiene la flexibilidad del ser humano³⁸. Para

³⁷ Eurofound 2012. (Fifth European Working Conditions Survey, Publications Office of the European Union Luxembourg: Publications Office of the European Union, ISBN: 978-92-897-1062-6).

³⁸ MacDougall 2014 MacDougall, W. 2014. INDUSTRIE 4.0 Smart Manufacturing for the Future. Berlin: Germany Trade & Invest.

las **tareas de manipulación manual**, una solución es **utilizar exoesqueletos**. El principal beneficio de la aplicación de un exoesqueleto sobre cualquier tipo de robot (robots clásicos, sistemas de automatización completos o robots humanoides) es que, específicamente en entornos dinámicos, hay un mayor beneficio de creatividad y **flexibilidad** del ser humano, no siendo necesaria ningún tipo de programación o enseñanza al robot.

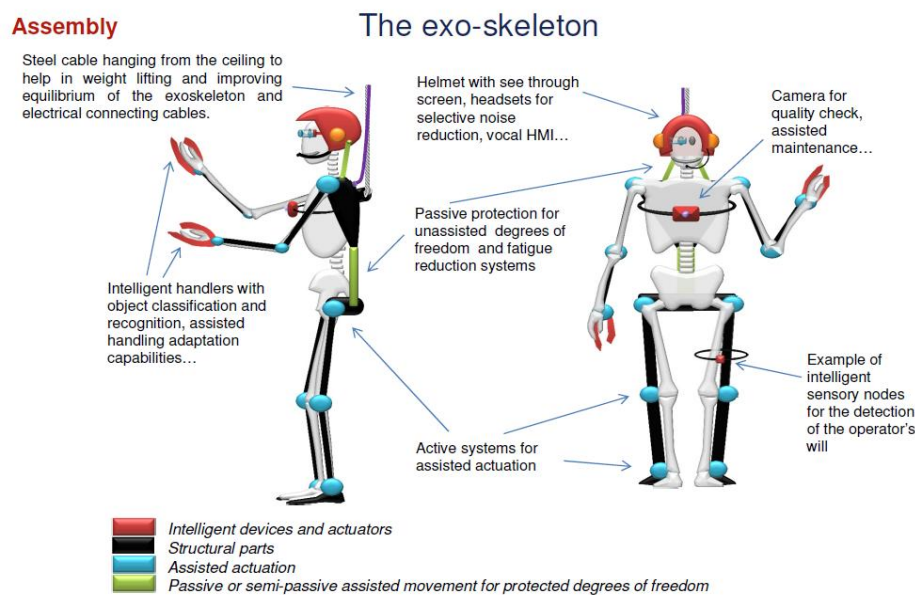


ILUSTRACIÓN 21: PROPUESTA DE DISEÑO DE EXOSQUELETO. FUENTE: ROBO-MATE PROJECT

Definición

El exoesqueleto de tipo *wearable* fue definido por de Looze et al ³⁹(2015) como una **estructura mecánica externa**, que se pueden utilizar **para mejorar las capacidades físicas de las personas**, y que se pueden clasificar inicialmente como “activos” o “pasivos”. Un **exoesqueleto activo** comprende uno o más actuadores que aumentan la potencia del ser humano y ayuda a las articulaciones humanas, y que pueden ser motores eléctricos, actuadores hidráulicos, músculos neumáticos u otros tipos⁴⁰. Por otro lado, un sistema estrictamente pasivo no utiliza ningún tipo de actuador, sino que utiliza materiales, resortes o amortiguadores con la capacidad de almacenar la energía recolectada por el movimiento humano y usarla cuando sea requerida para soportar una postura o movimiento. Un **exoesqueleto pasivo**, por ejemplo puede almacenar energía cuando una persona se inclina hacia delante, y mientras está en esta posición, esta energía proporciona soporte a la persona para mantener esta posición y ayudar a la persona a mantener el cuerpo recto/la espalda recta mientras se levanta una carga.

³⁹ Michiel P. de Looze, Tim Bosh, Frank Krause, Konrad S. Stadler & Leonard O’Sullivan. 2015. “Exoskeleton for industrial application and their potential effects on physical work load.” Ergonomics Journal.

⁴⁰ Gopura and Kiguchi 2009 Gopura, R. A. R. C., and K. Kiguchi. 2009. “Mechanical Designs of Active Upper-limb Exoskeleton Robots.” IEEE 11th International Conference on Rehabilitation Robotics. Kyoto: Kyoto International Conference Center



ILUSTRACIÓN 22: EXOESQUELETO PASIVO Y ACTIVO (CAPIO). FUENTE: DKFI GMBH ROBOTICS INNOVATION CENTER (RIC)

Además del empleo o no de actuadores en el sistema, es necesario además distinguir los **exoesqueletos en función de la parte del cuerpo** a la que se le proporcione soporte: extremidades inferiores (exoesqueleto del cuerpo inferior), extremidades superiores (exoesqueleto de la parte superior) y ambas extremidades superiores e inferiores al mismo tiempo (exoesqueleto de cuerpo entero). Aparte de los tipos anteriores, también se han descrito algunos exoesqueletos de una solución articulada en alguna bibliografía.



ILUSTRACIÓN 23: EJEMPLO DE EXOESQUELETO DE PARTE INFERIOR (PROTOTIPO AUDI). FUENTE: AUDI MEDIA CENTER

Finalmente, los exoesqueletos pueden clasificarse de acuerdo con el **nivel de ajuste al cuerpo humano**. Los **exoesqueletos antropomórficos** tienen articulaciones exoesqueléticas con ejes de rotación alineados con el movimiento de rotación de las articulaciones humanas, lo que no ocurre en los de tipo no antropomórfico. Un modelo completamente antropomórfico permite al robot exoesqueleto realizar los mismos movimientos que el usuario, ofreciendo así una **gran libertad de movimientos**. Sin embargo, estos sistemas siguen planteando grandes desafíos a nivel de diseño para asegurar un ajuste perfecto para usuarios de diferentes tamaños, al mismo tiempo que facilitan movimientos naturales por parte del usuario. Los tipos **no antropomórficos** son generalmente más simples y pueden diseñarse para tener una

estructura optimizada para tareas específicas que se realicen permitiendo un consumo de energía más eficaz que los sistemas antropomórficos⁴¹.



ILUSTRACIÓN 24: EJEMPLO DE EXOESQUELETO ANTROPOMÓRFICO HULC. FUENTE: LOCKHEED MARTIN

Tipologías y clasificaciones de exoesqueletos

Los sistemas de exoesqueletos se pueden dividir en diferentes grupos⁴², clasificaciones o categorías según una serie de cuestiones o preguntas:

1. ¿Qué partes del cuerpo son accionadas por el dispositivo portátil o wearable?

- **Cuerpo completo**
- **Extremidades superiores: brazos y torso**
 - Desglosados en áreas específicas: algunos exoesqueletos pueden concentrarse en la muñeca y los dedos, mientras que otros en las articulaciones del hombro y el codo.
- **Extremidades inferiores: piernas**
 - Además se descompone en: cadera, rodilla o tobillo solamente, cadera-rodilla, cadera-tobillo, rodilla-tobillo o cadera-rodilla-tobillo. El movimiento puede estar además en más de un plano de rotación.

2. ¿Está automatizado?

- **Los exoesqueletos alimentados con energía** utilizan pilas o conexiones de cables eléctricos para ejecutar sensores y actuadores. Pueden ser de tipo estáticos (actuadores encendidos en todo momento) o dinámicos (actuadores no encendidos en todo momento).

⁴¹ Lee et al. 2012a Lee, H., W. Kim, J. Han, and C. Han. 2012a. "The Technical Trend of the Exoskeleton Robot System for Human Power Assistance." *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing* 13 (8): 1491–1497.10.1007/s12541-012-0197-x

⁴² <http://exoskeletonreport.com/2015/08/types-and-classifications-of-exoskeletons/>

- **Los exoesqueletos pasivos** no tienen ninguna fuente de energía eléctrica y se pueden utilizar para:
 - Redistribución del peso
 - Captura de energía
 - Amortiguación
 - Bloqueo.

3. ¿Es móvil?

- **Fijo:** el dispositivo está fijado a una parte, a un soporte o suspendido en el aire por un gancho fijo o arnés.
- **Apoyado:** el exoesqueleto está unido a un carril elevado, y está soportado por un bastidor móvil o en algunos casos, soportado por un robot de ruedas adyacente.
- **Móvil:** el usuario y el exoesqueleto se pueden mover libremente.

4. ¿Cómo se controla (interfaz usuario-máquina)?

- **Joystick:** reservado para aquellos exoesqueletos que proporcionan el 100% de la energía para el movimiento que necesita el usuario.
- **Botones o paneles de control:** el exoesqueleto se coloca en diferentes modos preprogramados. La superficie de control no tiene que estar en el exoesqueleto, los diseños anteriores los tienen una correa de la muñeca, integrados en ayudas para caminar como muletas o mantenidos por un supervisor adyacente al usuario.
- **Controlado por la mente:** usando un casco de tipo electrodo.
- **Sensores:** los diseños de los exoesqueletos actuales pueden tener hasta 40 sensores integrados diferentes que controlan la rotación, el par, la inclinación, la presión y pueden captar señales nerviosas en los brazos y las piernas.
- **Sin control:** algunos exoesqueletos pasivos no tienen botones ni interruptores de control.

5. ¿Cómo se construye?

- **Materiales rígidos** tales como metales o fibra de carbono.
- **Materiales flexibles** en toda la construcción (exoesqueleto blando o exosuit).

6. ¿Origen?

- **Home built (DIY)** – algunas de las compañías más importantes se iniciaron en los garajes.
- **Laboratorios de investigación** (academia).

- **Empresas comerciales** (industria).
- **Gobiernos** – actualmente sólo el gobierno chino está desarrollando activamente exoesqueletos. Todos los demás gobiernos pueden proporcionar subvenciones, pero buscan comprar un modelo de trabajo.

Principales aplicaciones

El principal área de aplicación de los exoesqueletos ha sido para **fines médicos o de rehabilitación**, donde los dispositivos están destinados a dar soporte a las personas físicamente débiles, lesionados o discapacitados para realizar una amplia gama de movimientos involucrados en actividades de la vida diaria, como caminar, atravesar escaleras, sentarse y levantarse, coger o alcanzar un objeto⁴³. Un pequeño número de exoesqueletos han sido también diseñados para **aplicaciones militares** para soldados para levantar o cargar cargas pesadas.



ILUSTRACIÓN 25: APLICACIONES DE EXOESQUELETOS EN REHABILITACIÓN (EXOESQUELETO ARGO) Y EN APLICACIONES MILITARES (EXOESQUELETO HULC). FUENTE: REWALK Y LOCKHEED MARTIN

Aparte de las aplicaciones médicas y militares, existen otros dos campos de interés para los exoesqueletos como son las **aplicaciones comerciales⁴⁴ e industriales**. A continuación se muestran las categorías y subcampos en la industria de los exoesqueletos en 2016.

⁴³Viteckova, Kutilek, and Jirina 2013 Viteckova, S., P. Kutilek, and M. Jirina. 2013. "Wearable Lower Limb Robotics: A Review." *Biocybernetics and Biomedical Engineering* 33 (2): 96–105.10.1016/j.bbe.2013.03.005[CrossRef], [Web of Science ®]

⁴⁴ <http://exoskeletonreport.com/2016/08/exoskeleton-industry-2016/>

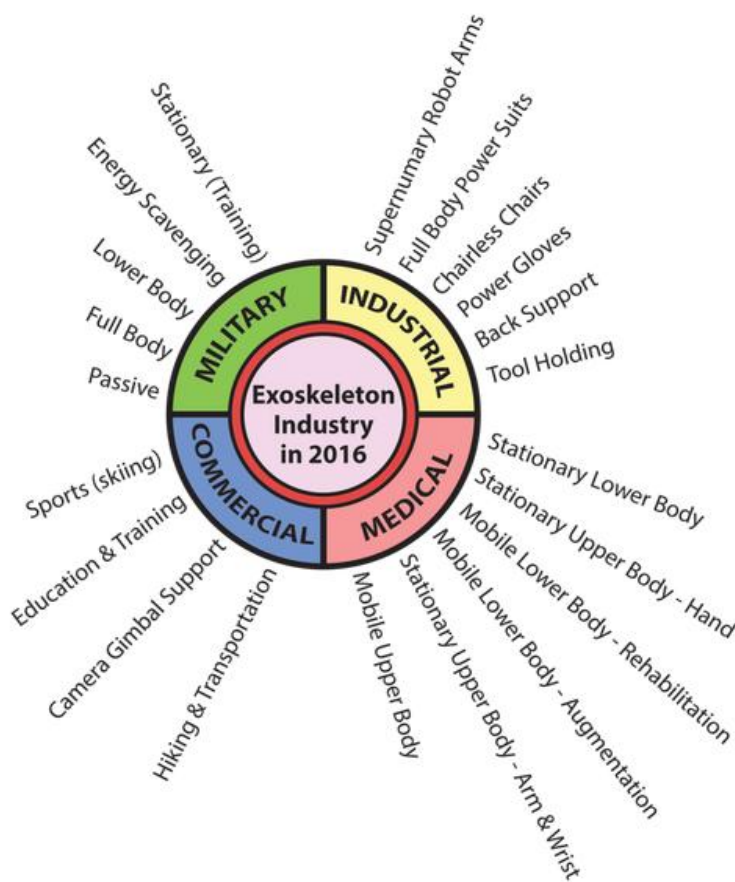


ILUSTRACIÓN 26: CATEGORÍAS Y SUBCAMPOS EN LA INDUSTRIA DE LOS EXOESQUELETOS EN 2016. FUENTE: EXOSKELETON REPORT

A continuación se describen cada una de estas cuatro categorías:

EXOESQUELETOS INDUSTRIALES

La robótica portátil de tipo wearable diseñada para ser utilizada en un entorno industrial es el campo de desarrollo de exoesqueletos de más rápido crecimiento. Los exoesqueletos para el trabajo y la industria se pueden utilizar en construcción, diques, fábricas, almacenes e incluso salas quirúrgicas. Los exoesqueletos para el trabajo y la industria se pueden separar en 6 categorías diferentes: soporte de herramientas, silla sin silla, soporte trasero, guantes automatizados, exoesqueletos accionados para cuerpo completo, y robótica adicional/supernumeraria.

EXOESQUELETOS MÉDICOS

La robótica portátil diseñada para ser utilizada como dispositivo medico de rehabilitación o aumento de los dispositivos médicos es el segundo campo más antiguo de aplicación de los exoesqueletos. El primer exoesqueleto medico fue creado en 1972 por el Instituto Mihajlo Pupin en Belgrado, Yugoslavia (actual Serbia). El nuevo software de exoesqueletos evita que los usuarios “sigan adelante” durante los ejercicios.

EXOESQUELETOS MILITARES

Robótica portátil para el ejército, es el subconjunto más dinámico de la industria de los exoesqueletos. Los exoesqueletos militares están siendo probados por los Estados Unidos, China, Canadá, Corea del Sur, Gran Bretaña, Rusia y Australia. Los exoesqueletos militares encajan actualmente en cinco categorías: estacionario, barrido de energía, bajo cuerpo, cuerpo completo y pasivo.

EXOESQUELETOS COMERCIALES

Los exoesqueletos civiles y comerciales comprenden el subcampo más pequeño de la industria del exoesqueleto, pero también supone la mayor promesa comercial. El potencial para los exoesqueletos es su posibilidad de ser aceptados como dispositivos de transporte motorizados que requieren de una estructura mínima. Por ahora, los exoesqueletos comerciales tienen un alcance limitado para aumento de capacidades, senderismo y prevención de lesiones deportivas.

Tipologías de exoesqueletos según aplicación industrial

Tal y como se ha mencionado, los robots tipo wearable diseñados para ser utilizados en un entorno industrial son el campo de crecimiento más rápido en la investigación de exoesqueletos (utilización de los mismos para realización de trabajos en sitios de construcción, diques, fábricas, almacenes e incluso salas quirúrgicas).

Los exoesqueletos que a nivel industrial ofrecen **tres ventajas principales**: reducción de lesiones relacionadas con el trabajo; reducción de la fatiga del trabajador y aumento de la vigilancia del trabajo (mejora productividad y calidad del trabajo). A nivel de aplicaciones **a nivel industrial**⁴⁵ se pueden dividir los exoesqueletos en **6 categorías**:

EXOESQUELETOS PARA SUJECCIÓN DE HERRAMIENTAS (TOOL HOLDING EXOSKELETON)

Estos exoesqueletos consisten en un brazo con resorte, como el brazo mecánico 'zeroG', que soporta una herramienta pesada en el extremo y que está conectado a un exoesqueleto en la parte inferior del cuerpo y a un contrapeso. El exoesqueleto suele ser pasivo, pero hay al menos un prototipo con motores en las piernas. El peso de la herramienta se transmite directamente al suelo.

'SILLA SIN SILLA' (CHAIRLESS CHAIRS)

Son exoesqueletos ligeros usados en la parte inferior del cuerpo por encima de los pantalones de trabajo, que pueden endurecer y bloquearse en una posición determinada. Esto puede disminuir la fatiga mientras se agacha el operario o está de pie en la misma posición durante un período prolongado de tiempo.

SOPORTE DE ESPALDA (BACK SUPPORT)

⁴⁵ <http://exoskeletonreport.com/2016/04/exoskeletons-for-industry-and-work/>

Estos exoesqueletos pueden mantener la postura correcta de la espalda mientras el operario se dobla para realizar una elevación. También pueden reducir la carga en los músculos de la espalda o incluso en la columna vertebral al doblarse hacia abajo.

GUANTES MOTORIZADOS (POWERED GLOVES)

Guantes que pueden ayudar a los trabajadores con un agarre débil a realizar una sujeción más fuerte de las herramientas. También hay dispositivos que se utilizan a la inversa, en los trabajadores que tienen algún problema para abrir algunos de los dedos de la mano para agarrar las herramientas, de modo que puedan abrirlos con un guante de exoesqueleto.

TRAJES DE CUERPO COMPLETO MOTORIZADOS (FULL BODY POWERED SUITS)

Hasta hace unos años se creía que los grandes trajes de cuerpo completo eran más adecuados para el trabajo en la industria. Ahora, casi todos los desarrollos han cambiado a pequeños exoesqueletos especializados, aunque todavía hay algunos proyectos en curso en esta área.

ROBÓTICA ADICIONAL / SUPERNUMERARIA (ADDITIONAL/SUPERNUMERARY ROBOTICS)

Exoesqueletos que proporcionan un segundo par de manos. Este es, con mucho, el proyecto robótico más ambicioso para el trabajo y la industria. Se utilizan dos o más brazos accionados, adicionales, controlados por el usuario para sujetar herramientas o materiales en su lugar. Técnicamente, la herramienta que sostiene los exoesqueletos también es supernumeraria, sin embargo, los brazos son siempre pasivos, cargados por un muelle y no pueden ser controlados independientemente.

Soluciones de exoesqueletos para el sector industrial en el mercado

Una vez categorizados los exoesqueletos para el trabajo en la industria, se muestra a continuación algunos ejemplos ⁴⁶de cada tipo:

EXOESQUELETOS PARA SUJECIÓN DE HERRAMIENTAS

- **EKSO WORKS** desarrollado por **Ekso Bionics**: El Ekso Works es una versión preliminar de un exoesqueleto industrial diseñado para ayudar a los trabajadores a utilizar y controlar sus equipos, que son demasiado incómodos o pesados para usar durante un período prolongado sin cansar al usuario o causarle lesiones, el cual se caracteriza además por ser completamente mecánico y sin accionamiento automático.

⁴⁶ <http://exoskeletonreport.com/2016/04/exoskeletons-for-industry-and-work/>

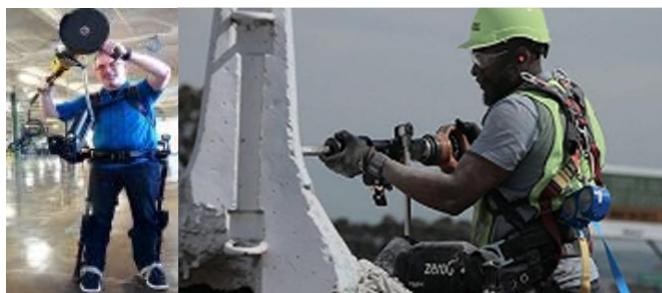


ILUSTRACIÓN 27: EXOESQUELETO EKSO WORKS PARA APLICACIONES INDUSTRIALES. FUENTE: EKSO BIONICS

- FORTIS** desarrollado por **Lockheed Martin**: El exoesqueleto FORTIS™ transfiere las cargas al suelo en vez de a las rodillas del operario o los pies, permitiendo de este modo que los operarios manejen herramientas pesadas como si no pesaran apenas. Para ello cuenta con un avanzado diseño ergonómico que se mueve de forma natural con el cuerpo del operario y se adapta a diferentes tipos de cuerpos y altura. Utilizando el brazo de herramienta FORTIS, los operarios pueden sostener sin esfuerzo herramientas manuales pesadas, aumentando la productividad y reduciendo la fatiga muscular.



ILUSTRACIÓN 28: EXOESQUELETO FORTIS PARA LA MANIPULACIÓN DE HERRAMIENTAS PESADAS EN ENTORNOS INDUSTRIALES. FUENTE: LOCKHEED MARTIN.

- Robo-Mate** desarrollado en un proyecto europeo **EU**: Robo-Mate es un prototipo de exoesqueleto humano robótico inteligente de fácil uso para el trabajo de manipulación manual en diferentes industrias. Para hacerlo ajustable a diferentes aplicaciones y tareas, el exoesqueleto va a constar de tres módulos: módulo de tronco para reducir las cargas en la parte inferior de la espalda, módulo de brazos de paralelogramo pasivo basado en muelles para proporcionar compensación por gravedad y reducir las cargas musculares estáticas, y finalmente módulo de brazos de paralelogramo activo equipado con funciones avanzadas de tracción mediante alambre, que ofrece soporte asistencial para tareas de selección y colocación.



ILUSTRACIÓN 29: PROTOTIPO EXOSQUELETO PROYECTO ROBO-MATE. FUENTE: ROBO-MATE.EU

CHAIRLESS CHAIRS

- **Chairless Chair Wearable** desarrollado por la start-up **Noonee**: la empresa Noonee ha creado Chairless Chair, una especie de exoesqueleto mecánico, que se ajusta a cadera y muslos y que, con sólo pulsar un botón (el objetivo a largo plazo serán sensores que se ajuste automáticamente), se convierte en una cómoda silla, en cualquier momento y en cualquier lugar.



ILUSTRACIÓN 30: CHAIRLESS CHAIR. FUENTE. NONEE

- **Body Weight Assist Device** desarrollado por **Honda**: Honda ha desarrollado un dispositivo de asistencia de peso corporal para apoyar el peso corporal y reducir la carga en las piernas del usuario al caminar, subir y bajar escaleras y en una posición semi-agachada.



ILUSTRACIÓN 31: HONDA BODY WEIGHT SUPPORT ASSIST. FUENTE: ROBOTICSTREND

SOPORTE DE ESPALDA

- V-22 Ergoskeleton** desarrollado por **StrongArm Technologies**: los dispositivos Ergoskeleton™ tienen el potencial de ofrecer un retorno significativo de la inversión a través de la reducción del riesgo de lesiones. Al levantar una caja pesada, los efectores e mano del V22 se diseñan para activarse, distribuyendo el peso de la carga a través de las cuerdas y hacia abajo en dirección a los músculos más fuertes del cuerpo, las piernas.



ILUSTRACIÓN 32: V-22 ERGOSKELETON. FUENTE: EXOSKELETON REPORT

- Laevo Exoskeleton** desarrollado por **Laevo**: Laevo Exoskeleton es un exoesqueleto de soporte a la espalda y el pecho, que eleva la flexión sobre el trabajo y la parada. Está científicamente probado que se reduce la deformación física de la espalda utilizando este exoesqueleto.



ILUSTRACIÓN 33: EXOESQUELETO LAEVO. FUENTE: EXOSKELETON REPORT

GUANTES MOTORIZADOS

- SEM Glove** desarrollado por **Bioservo Technologies**: El guante motorizado SEM™ Glove (Soft Extra Muscles for You) es un sistema de ayuda inteligente y portátil que permite mejorar la “capacidad de agarre” de un operario, cuando ésta ha sido debilitada por una lesión o trauma. El guante imita la mano humana mediante el uso de tendones artificiales, motores y sensores, junto como el empleo de un software inteligente.



ILUSTRACIÓN 34: EJEMPLO DE EMPLEO DEL GUANTE MOTORIZADO SEM GLOVE. FUENTE: BIOSERVO

EXOESQUELETOS DE CUERPO COMPLETO MOTORIZADOS

- **Dual-Arm Power Amplification Robot, MS-2** desarrollado por **Panasonic – ActiveLink**: Se trata de un gigantesco exoesqueleto motorizado que se utiliza para levantar objetos pesados, que ha sido desarrollado por ActiveLink (spin-off de Panasonic que ha proporcionado el capital inicial).

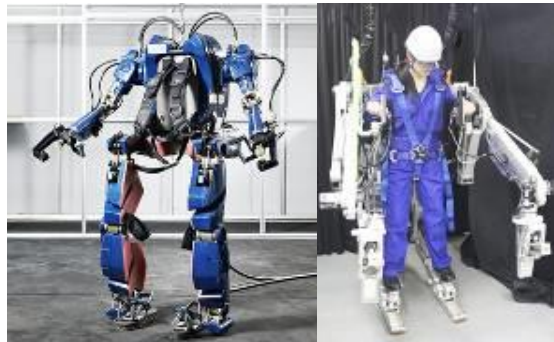


ILUSTRACIÓN 35: EXOESQUELETO DE CUERPO COMPLETO. FUENTE: EXOSKELETON REPORT

- **HULC** desarrollado por **Lockheed Martin** y **Ekso Bionics**: HULC es un exoesqueleto de cuerpo inferior, propulsado electrohidráulicamente, que está diseñado para levantar y transportar cargas pesadas. Transfiere el peso a través del bastidor del equipo al suelo, reduciendo significativamente la fatiga del operario y su exposición a lesiones. Además, la fuente de alimentación de HULC elimina cables de alimentación externas o líneas hidráulicas que restringen el despliegue.



ILUSTRACIÓN 36: EXOSQUELETO HULC. FUENTE: LOCKHEED MARTIN

BRAZOS ROBÓTICOS SUPERNUMERARIOS

- Supernumerary Robotics Limbs (SRL)** desarrollados por el **MIT (d'Arbeloff Laboratory)**: El laboratorio Arbeloff del MIT ha desarrollado tres prototipos de exoesqueletos con posible interés de cara a su uso industrial que se indican a continuación: 1) robot ligero que se monta sobre el hombro del ser humano para levantar y soportar objetos en la parte superior del cuerpo, 2) mano robótica de siete dedos (5 dedos + 2 dedos robotizados) para agarrar y manipular objetos grandes o con formas extrañas, 3) para de bastones que se pueden llevar alrededor de la cintura para apoyar y sujetar al cuerpo humano.



ILUSTRACIÓN 37: BRAZO ROBÓTICO SUPERNUMERARIO SRL. FUENTE: D'ARBELOFF LABORATORY

APLICACIONES POR SECTOR

REALIDAD AUMENTADA Y VIRTUAL

Aplicaciones por procesos

Antes de mostrar las aplicaciones por sectores, se realiza un breve resumen de cuáles son las etapas del proceso en las que se utiliza actualmente la Realidad Aumentada y la Realidad Virtual. Tal y como se aprecia en la siguiente imagen, la **Realidad Virtual** se suele emplear principalmente en las **fases iniciales de diseño y prototipado**, ya que permite realizar una simulación por ordenador y artificial de un entorno concreto sin necesidad de un prototipo físico, mientras que la **Realidad Aumentada** tiene un mayor uso y puede aplicarse **desde las fases iniciales de diseño hasta las fases de producción** como ensamblaje, inspección o embalaje.



ILUSTRACIÓN 38: APLICACIONES INDUSTRIALES. FUENTE: AUMENTA SOLUTIONS

FASE DE PLANIFICACIÓN

- **Diseño:** la detección temprana de errores en la fase de diseño permite evaluar alternativas, con las reducciones de costes que esto implica.
- **Prototipado:** la virtualización de objetos o la proyección de elementos 3D sobre los productos reales reduce o reemplaza la necesidad de realizar prototipos físicos que suelen tener un coste elevado.
- **Planificación del Lay-out:** estas tecnologías permiten visualizar como organizar los medios productivos, reduciendo el tiempo y coste de planificar nuevos espacios de trabajos.

FASE DE PRODUCCIÓN

- **Fase de ensamblado:** la RA permite el guiado intuitivo e interactivo de las operaciones de ensamblado etapa por etapa, además se muestra información o animaciones 3D sobre el entorno/objetos reales para indicar como se deben realizar las tareas.
- **Operaciones de mantenimiento:** se dan instrucciones directamente al usuario para facilitar y reducir el tiempo de las operaciones de mantenimiento y reparación.

- **Instrucciones:** se facilita al operario información 3D directamente de documentos o manuales, permitiendo tener las manos libres para realizar cualquier operación.
- **Inspección:** para la localización de ítems en la planta de producción o las operaciones de picking en un almacén.

Realidad aumentada

AUTOMOCIÓN

El Sector Automoción es muy susceptible para el uso de realidad aumentada, tanto en las fases iniciales de diseño como en el proceso de producción. Algunas de las principales aplicaciones identificadas de realidad aumentada en el Sector son: la realización de diagnósticos en taller para detección de anomalías y el soporte a los empleados durante las operaciones de montaje.

Como se observa en los casos de uso que se exponen a continuación, los principales constructores de vehículos están experimentando con estas tecnologías: BMW, Volkswagen, Daimler o General Motors.

Volkswagen

Así es el caso de Volkswagen, que probó las Google Glasses⁴⁷ en las operaciones de **picking para montaje**, de manera que se proporcionaba información al operario directamente sobre su campo de visión (localización de la pieza, número de partes, etc.). Otro ejemplo de uso de la RA por Volkswagen es el desarrollo de un sistema de visualización de información de servicio, especialmente diseñado para el XL1, que muestra al empleado los próximos pasos de trabajo directamente en su campo de visión. El sistema se conoce como sistema MARTA (Mobile Enhanced Reality Technical Assistance)⁴⁸ y se ha desarrollado conjuntamente con la empresa Metaio GmbH. El sistema ayuda al operario a realizar las **operaciones de reparación y mantenimiento**, ya que reconoce las piezas del vehículo y describe e ilustra todos los pasos que se deben llevar a cabo en tiempo real.



ILUSTRACIÓN 39: IZQ- USO DE GAFAS INTELIGENTES PARA LAS OPERACIONES DE MONTAJE; DCHA - SISTEMA MARTA DE SOPORTE A LAS OPERACIONES DE MANTENIMIENTO Y REPARACIÓN. FUNET: VOLKSWAGEN

⁴⁷ <https://www.cnet.com/roadshow/news/volkswagen-3d-smart-glasses/>

⁴⁸ <http://www.volkswagenag.com/en/group/research/virtual-technologies.html>

General Motors

General Motors⁴⁹ también ha experimentado con el uso de las gafas inteligentes de Google para la **formación de empleados**, en operaciones críticas como el pintado y sellado. Así como su uso en operaciones de **control de calidad** y **escaneo 3D para picking**.

BMW

Otro ejemplo de uso de gafas de realidad aumentada es el presentado por BMW⁵⁰ para la realización de **diagnósticos en talleres de reparación**, en la que a través de las gafas el operario recibe información sobre el componente que tiene que reparar y las instrucciones y herramientas a utilizar.



ILUSTRACIÓN 40: APLICACIÓN DE REALIDAD AUMENTADA EN UN TALLER DE REPARACIÓN. FUENTE: BMW

Daimler

Daimler⁵¹ está utilizando las gafas inteligentes de Vuzix junto con el software Ubimax para el **control de calidad en sus líneas de montaje**. El uso de las gafas permite que los operarios de inspección realicen el control de defectos sin necesidad de memorizar checklist o depender de instrucciones en papel, tampoco necesitan cumplimentar informes en el PC tras realizar la inspección porque con las gafas inteligentes esta información se guarda en tiempo real.

Las gafas permiten visualizar el checklist durante la inspección, lo que elimina la posibilidad de olvidarse de alguno de los puntos de control. Además, una vez identificado un defecto, este se registra mediante una grabación de voz y una fotografía, sin necesidad de abandonar la estación de trabajo en la que se encuentra. También se registra quién es la persona responsable de corregir el error.

LOGÍSTICA

Aunque la RA se encuentra en una etapa temprana de adopción en la logística, esta tecnología podría ofrecer beneficios significativos, especialmente en lo que se refiere a un acceso rápido a la información en cualquier momento y lugar, lo que es vital en logística para la planificación y tareas de operación como la

⁴⁹ <http://glassalmanac.com/general-motors-tests-google-glass-vehicle-assembly/5325/>

⁵⁰ BMW Nederland: <https://www.youtube.com/watch?v=-t2vVChAZr0>

⁵¹ <https://brainxchange.events/new-interesting-wearable-tech-use-cases-part-2/>

entrega y optimización de la carga. Algunos de los principales casos de uso que se pueden encontrar en este sector son: operaciones de almacenamiento, optimización del transporte, entrega de última milla y mejora de los servicios incrementando el valor añadido.

DHL

La empresa DHL⁵², es pionera en la adopción de esta tecnología, en colaboración con las empresas Ricoh y Ubimax, diseñaron e implementaron un sistema de visión para **picking en la planta** de DHL en Holanda. El picking se hace equipando a los operarios con gafas inteligentes (Google Glass y VuzixM100) que proporcionan información sobre los pedidos, y están equipadas con un lector de código de barras, liberando las manos del operario. El sistema aumenta la productividad y reduce errores. La implantación piloto demostró que la eficiencia de las operaciones incrementaba en un 25%.



ILUSTRACIÓN 41: SISTEMA DE PICKING CON GAFAS DE REALIDAD AUMENTADA. FUENTE: DHL

Otro caso de uso que puede resultar de interés en logística es la **planificación de los medios en el almacén**. Los almacenes actuales no sólo se utilizan como centros de almacenamiento y distribución, sino que cada vez albergan un mayor número de servicios de valor añadido, que van desde el ensamblaje de productos, hasta el etiquetado, re-embalaje o reparación.

Esto significa que los almacenes deben ser rediseñados para estos nuevos servicios, y la RA puede utilizarse para visualizar cualquier replanificación a escala real, haciendo posible representaciones digitales de las modificaciones propuestas sobre el espacio real del almacén. De esta forma se puede comprobar si los cambios se adaptan al espacio real y modelar los nuevos flujos de trabajo.

52

http://www.dhl.com/en/press/releases/releases_2015/logistics/dhl_successfully_tests_augmented_reality_applications_in_warehouse.html

https://www.youtube.com/watch?time_continue=65&v=I8vYrAUb0BQ



ILUSTRACIÓN 42: PLANIFICACIÓN DE UN ALMACÉN CON RA. FUENTE: DHL

AERONÁUTICO

La RA también se está empezando a introducir en el Sector Aeronáutico, y así se pone de relevancia con los casos de uso de las grandes compañías como Boeing y Airbus que se describen a continuación.

Airbus Group

En 2011, Airbus Group lanzó su solución de realidad aumentada MiRA/SART con el objetivo de **estandarizar la calidad** en toda su red global de plantas de fabricación. La solución combina las imágenes reales con simulaciones digitales en una tableta equipada con una cámara. Este sistema está completamente integrado en el sistema de información y optimiza los tiempos de operación, así como la gestión y el control de calidad en la línea de montaje. El despliegue de esta solución para la inspección de los fuselajes del Airbus A380 ha reducido los plazos de inspección en el área de soporte de sistemas de tres semanas a tres días. Desde 2015 MiRA/SART se ha instalado en unas cien tabletas electrónicas y la han utilizado más de 1.000 usuarios en plantas de fabricación de toda Europa.



ILUSTRACIÓN 43: HARDWARE Y SOFTWARE DEL SISTEMA MIRA DE AIRBUS. FUENTE: AIRBUS

Boeing

En el caso de Boeing⁵³, recientemente la empresa aeroespacial ha presentado un programa piloto para **señalar y guiar a sus operarios en la zona de montaje** de las aeronaves y todo lo que tiene que ver con su complejo cableado. Cada una de las naves de la empresa Boeing cuenta con millones de cables y conexiones, y la gestión y el montaje de estos cables es compleja, ya que en muchos casos los operarios deben guiarse por portátiles para poder hacer las conexiones correctas, teniendo que consultar la pantalla, volver hasta el set de cables, consultar otra vez cual es el correcto en el portátil, y así en un largo proceso que requiere gran atención.

Para dar respuesta a estos problemas, la empresa APX Labs desarrolló unas gafas de realidad aumentada propias (basadas en Google Glass) con las que Boeing ha reducido el tiempo de producción en un 25% y los errores en un 50%.

AGROALIMENTACIÓN

En el sector agroalimentario también llevan años experimentando con soluciones de RA, sobre todo en el ámbito agrícola, aunque se trata de soluciones que se encuentran en una fase temprana de desarrollo o con poca implantación. A continuación se muestran algunos ejemplos:

Jaime Gómez Gil, profesor de Teoría de la Señal de la Escuela Técnica Superior de Telecomunicación de la Universidad de Valladolid, ha diseñado un sistema para el **guiado autónomo de tractores agrícolas**. Se trata de unas gafas de realidad aumentada que permiten al agricultor recibir información en tiempo real y mientras conduce, sobre el trabajo que está desarrollando y el que debe realizar, a través de zonas coloreadas⁵⁴.

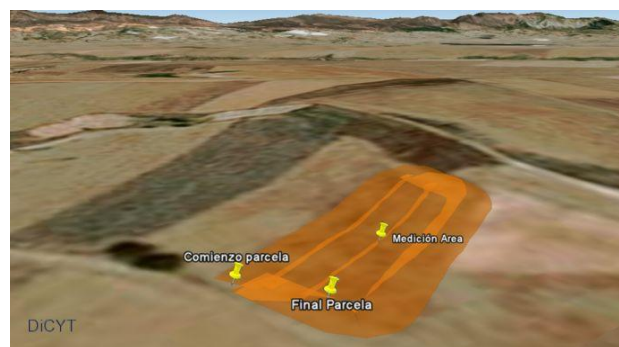


ILUSTRACIÓN 44: SISTEMA DE GUIADO DE TRACTORES. FUENTE: UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

Otro ejemplo de aplicación, es la desarrollada por la empresa ICEmobile en colaboración con la empresa Qualcomm Vuforia, que consiste en una app para dispositivos móviles que permite ver el mapa de una

⁵³ <http://www.computerworld.es/innovacion/boeing-emplea-gafas-de-realidad-aumentada-para-guiar-a-operarios>

<http://www.theverge.com/2016/7/14/12189574/boeing-google-glass-ar-building-airplane-parts>

⁵⁴ http://www.psc.uva.es/notas/notas_desplegadas.asp?id=4245

parcela mostrando **información sobre altitud, rendimiento del cultivo esperado y rendimiento del cultivo real**⁵⁵.

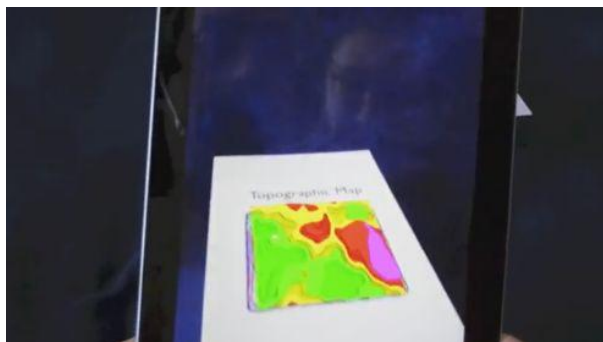


ILUSTRACIÓN 45: MAPA TOPOGRÁFICO EN 3D. FUENTE: ICESOFT

Por último, también se está trabajando en el ámbito de la formación, así, investigadores de la Universidad de Beijing han diseñado un sistema para **formar a operarios en las tareas de explotación agrícola** a través de un entorno de realidad aumentada⁵⁶.

Realidad virtual

El campo de aplicación más extendido de la realidad virtual en el ámbito industrial ha sido el de **desarrollo de producto**. Otros sectores no industriales, como la educación, el entretenimiento, el turismo, la arquitectura o el militar también emplean esta tecnología. Por lo tanto, se trata de una tecnología que todavía no se ha extendido en el ámbito de los procesos industriales. Los campos en los que presenta **mayor potencial** son en lo relativo a **formación** de los operarios y **diseño de los puestos de trabajo**. Dos Sectores pioneros en el uso de la RV son el Sector Automoción y el Sector Aeronáutico.

AUTOMOCIÓN

En automoción la RV está siendo utilizada especialmente en las fases tempranas de diseño, permitiendo a los diseñadores visualizar un entorno vehículo antes de tener el primer prototipo. Otro posible uso es en el estudio de los puestos de trabajo y su ergonomía. Aunque son muchos los fabricantes de automóviles que ya están experimentando con esta tecnología, a continuación se ilustra como ejemplo el caso de la empresa Ford.

⁵⁵ <http://www.icesoft.org/blog/augmented-reality-farming/>

⁵⁶

https://www.researchgate.net/publication/266652190_An_Interactive_Virtual_Training_System_Based_on_Augmented_Reality

Ford

La ergonomía es un factor que puede verse mejorado gracias a la RV, en este caso, el fabricante Ford⁵⁷ utilizó esta tecnología para el **diseño de puestos de trabajo** que permitía el estudio de la ergonomía de las operaciones de ensamblaje para validar si sus diseños pueden ser montados de forma eficiente y ergonómica, con un riesgo mínimo de lesiones para los operarios.



ILUSTRACIÓN 46: MEJORA DE LA ERGONOMÍA DE LOS PUESTOS DE TRABAJO. FUENTE: FORD

Recientemente, Ford ha experimentado con el casco de Realidad Virtual de Oculus Rift⁵⁸, lo que permite a los diseñadores **percibir la calidad del vehículo** tal y como la percibiría un usuario, pero antes de que este se fabrique. El entorno de RV creado permite a los empleados de Ford caminar alrededor del vehículo e incluso entrar en su interior y sentarse.



ILUSTRACIÓN 47: SALA DE REALIDAD VIRTUAL DE FORD. FUENTE: FORD

⁵⁷ <http://www.computerweekly.com/feature/Ford-reduces-injuries-with-virtual-assembly-programme>
<https://www.youtube.com/watch?v=wbx8ios3vd4>

⁵⁸ <http://www.forbes.com/sites/leoking/2014/05/03/ford-where-virtual-reality-is-already-manufacturing-reality/#3b807cc3417d>

<https://www.youtube.com/watch?v=Cnh1m7mmlyE>

AERONAÚTICA

En el Sector Aeronáutico la RV se utiliza desde hace tiempo para el **entrenamiento de los pilotos**, y desde hace menos se está experimentando con entornos virtuales para **testear nuevos productos y componentes**.

La compañía Boeing⁵⁹ dispone de un centro de inmersión completa que permite a los ingenieros realizar comprobaciones respecto a nuevas piezas y componentes que se desean integrar en los aviones. Airbus también utiliza la realidad virtual a través de una CAVE para el diseño de sus aviones⁶⁰.

EXOESQUELETOS

Aparte de las aplicaciones más habituales para fines médicos o militares, se están empezando a realizar las primeras pruebas en diferentes sectores industriales de cara a ver la factibilidad del uso de los exoesqueletos en nuevas aplicaciones. A continuación se muestran los casos de uso en diferentes sectores de interés.

AUTOMOCIÓN

Actualmente en automoción se están realizando varias pruebas con diversos tipos de exoesqueletos, sobre todo de tipo Chairless chair o exoesqueletos de tipo guante. A continuación se muestran algunos de los ejemplos más destacados.

AUDI

Audi está probando una nueva tecnología que facilita mucho las operaciones de ensamblaje: la denominada **“silla sin silla”** (*Chairless chair*⁶¹). Esta construcción de fibra de vidrio de alta tecnología permite a los operarios sentarse sin silla. Al mismo tiempo, mejora su postura y reduce la tensión en sus piernas.

La “silla sin silla”, que Audi ha desarrollado junto la start-up suiza Noonee, es un exoesqueleto que se usa en la parte posterior de las piernas. Se fija con cinturones a las caderas, rodillas y tobillos. Dos superficies cubiertas de cuero soportan las nalgas y los muslos mientras que dos puntales hechos de plástico reforzado con fibra de carbono (CFRP) se adapta a los contornos de las piernas. Se unen detrás de la rodilla y se pueden ajustar hidráulicamente al tamaño de cuerpo del usuario y la posición de sentado deseada. El peso corporal se transfiere al suelo a través de estos elementos ajustables. La ‘silla sin silla’ sólo pesa 2,4 kilogramos.

⁵⁹ <http://www.boeing.com/features/2016/03/immersed-in-engineering-03-16.page>

⁶⁰ http://www.fzt.haw-hamburg.de/pers/Scholz/dgIrr/hh/text_2007_05_24_Virtual_Reality.pdf

⁶¹ <https://www.audi-mediacyber.com/en/press-releases/chairless-chair-for-improved-ergonomics-in-audis-production-plants-392>



ILUSTRACIÓN 48: APLICACIÓN EXOSQUELETO CHAIRLESS CHAIR EN AUTOMOCIÓN. FUENTE: AUDI MEDIA GROUP

Mientras trabajan, los empleados usan la silla sin silla como un segundo par de piernas, que le proporcionan apoyo cuando es necesario. Así, para muchas operaciones de montaje, permite que los empleados se sienten en una posición ergonómicamente favorable en lugar de estar de pie – incluso con intervalos de trabajo cortos. Al mismo tiempo, esta estructura de soporte de alta tecnología mejora la postura y reduce la tensión en las piernas. Las sillas y taburetes, que se utilizan actualmente en algunas operaciones de montaje como soportes temporales, se vuelven innecesarias. Al mismo tiempo, Audi espera que el exoesqueleto reduzca el absentismo de los empleados por razones físicas.

BMW

Exoesqueleto de tipo guante – Exoesqueleto para protección del pulgar: BMW Group está colaborando con la Technical University of Munich para investigar la cuestión de cómo reducir la tensión inducida en el pulgar del operario durante la realización de diferentes operaciones manual. Como primera propuesta se ha desarrollado un exoesqueleto flexible y sintético para el pulgar, que permita prevenir la sobretensión de la articulación del mismo, sin obstaculizar otras operaciones, permitiendo que el pulgar se mueva libremente. En el interior del mismo, por el contrario, el material sintético forma una capa gruesa, de tal forma que cuando el pulgar se extiende, los elementos reforzados hacen contacto entre sí, y actúan como una férula fuerte. De esta forma, la fuerza aplicada al pulgar en el tapón se distribuye a lo largo de todo el pulgar, hasta el carpo.

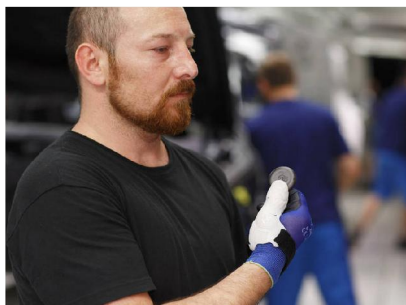


ILUSTRACIÓN 49: APLICACIÓN EXOSQUELETO TIPO GUAENTE EN AUTOMOCIÓN. FUENTE: TUM 62(TECHNICAL UNIVERSITY OF MUNICH)

AERONÁUTICA

⁶² <https://www.tum.de/en/about-tum/news/press-releases/detail/article/31665/>

AIRBUS

Exoesqueleto para soporte de espalda: Como parte de su visión de futuro, Airbus también está buscando nuevas maneras de impulsar las habilidades de los trabajadores, ayudándolos a levantar cargas pesadas o trabajar en espacios difíciles. Un ejemplo de estas medidas es el desarrollo de un prototipo de dispositivo robótico portátil o exoesqueleto, que utiliza un bastidor ligero y suave, basado en el arnés de Steadicam usado por las cámaras, y que puede ayudar a manipular ciertos elementos mejorando las condiciones ergonómicas.

Airbus Helicopters ya ha desplegado un exoesqueleto mecánico prototipo de primera generación en la planta de Marignane para proporcionar a los trabajadores de la línea de montaje la capacidad de ejecutar pesados trabajos repetitivos con facilidad, y está investigando la aplicación de exoesqueletos electrónicos más sofisticados y su posterior integración en la fabricación de aviones como por ejemplo el Airbus A320y A350.



ILUSTRACIÓN 50: PRUEBAS CON EXOESQUELETO DE ESPALDA EN AIRBUS. FUENTE: AIRBUS GROUP⁶³

ASTILLEROS

DAEWOO

Exoesqueleto de cuerpo completo: El astillero surcoreano Daewoo, fabricante de algunos de los buques más grandes del mundo, planea ahora utilizar innovadores exoesqueletos robóticos para hacer que su flujo de trabajo sea productivo. El exoesqueleto “Iron Man”, basado en la tecnología de interacción hombre-robot (HRI), permitirá a los trabajadores de los astilleros levantar piezas pesadas, tuberías y otros objetos con extrema facilidad.

Según DSME, el robot portátil se puede usar en el cuerpo como si fuera ropa, aumentando la fuerza muscular de los trabajadores para levantar fácilmente más de 30kg de peso. El robot portátil tiene como objetivo ayudar a los empleados DSME a llevar material pesado y reducir el número de trastornos músculoesqueléticos que afectan comúnmente a los trabajadores de los astilleros.

El exoesqueleto funciona casi como el traje de “Iron Man”. Las correas acolchadas a la cintura, la cadera y el pecho conectan al usuario al traje, que tiene cojines en la base de los pies donde se atan con correas. Las uniones hidráulicas y los motores eléctricos que funcionan a través del exoesqueleto robótico se

⁶³ <http://www.airbusgroup.com/int/en/story-overview/factory-of-the-future.html>

accionan en la mochila. Según la página web New Scientist, el traje robótico se puede adaptar a cualquier persona con una altura en el rango de 160 a 185cm. Hecho de carbono, aleación de aluminio y acero, el bastidor robótico pesa aproximadamente 28kg, y tiene una batería de tres horas de duración. Los trabajadores que usan exoesqueletos pueden levantar objetos de hasta 30kg y les permite caminar a un ritmo “normal”. Aunque el prototipo actual puede permitir levantar sólo 30kg, la investigación ya está en marcha para alcanzar una capacidad de elevación objetivo de unos 100kg.



ILUSTRACIÓN 51. APLICACIÓN EXOESQUELETO CUERPO COMPLETO EN ASTILLEROS DAEWOO. FUENTE: MARINE INSIGHT⁶⁴

AGRICULTURA

ROBOT-SUIT (Universidad de Tokio)

Exoesqueleto cuerpo completo: A nivel del sector de agricultura, no se han detectado propiamente el empleo de exoesqueletos. Simplemente cabe reseñar el traje agrícola desarrollado por la Universidad de Agricultura y Tecnología de Tokio para aplicaciones agrícolas que requieren de un mayor esfuerzo (arrancar por ejemplo rábanos), debido a que cerca del 40% de los trabajadores agrícolas en Japón tienen 65 años o más.

El traje ‘*Power Assist Suit*’⁶⁵ fue desarrollado en la Universidad de Tokio para aumentar la fuerza de los brazos y las piernas de los usuarios, al mismo tiempo que se reducen los dolores de espalda y los calambres. El exoesqueleto de metal y plástico tiene ocho motores eléctricos, así como sensores que pueden detectar movimientos y responder a través de comandos mediante un sistema de reconocimiento de voz. “Si el granjero se inclina para agarrar un rábano, su espalda estará fuertemente apoyada”. El equipo también ha desarrollado un modelo pesado de 66 libras, para levantar grandes cargas y sacar verduras del suelo, y una versión de 50 libras diseñado para tareas más ligeras como la cosecha de uvas.

El exoesqueleto Robo-suit puede reducir el esfuerzo físico del usuario en un promedio del 62%. Al flexionar las rodillas la actividad muscular se reduce a la mitad, y el traje también puede tomar la mayor

⁶⁴<http://www.marineinsight.com/future-shipping/exoskeleton-robot-caniron-man-suit-increase-productivity-in-shipyards/>

⁶⁵ <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-1264774/Robot-suit-developed-gives-super-strength-elderly.html>

parte de la tensión de agacharse. Robo-suit ya se está utilizando en hospitales japoneses y asilos, ayudando a los cuidadores a levantar a los pacientes o ayudar a rehabilitar a los pacientes.



ILUSTRACIÓN 52. EXOESQUELETO ROBO-SUIT EMPLEADO EN AGRICULTURA. FUENTE: ROBO-HUB.ORG

METALMECÁNICO

A nivel del sector metalmecánico cabe reseñar que existen varios fabricantes de exoesqueletos que desarrollan soluciones para aplicaciones metal-mecánicas, orientadas la mayor parte de ellas para el sector de la construcción. Algunos ejemplos de exoesqueletos para aplicaciones de construcción son: Ekso bionics, FORTIS, US Bionics, etc.

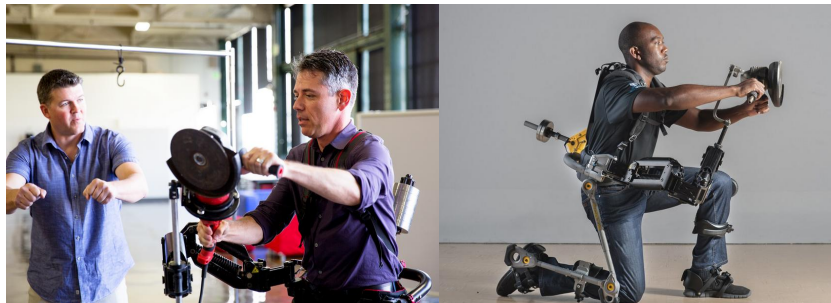


ILUSTRACIÓN 53. APLICACIÓN DE EXOESQUELETO EN SECTOR METALMECÁNICA. FUENTE: EKSO BIONICS

CONCLUSIONES/IMPACTO EN LA INDUSTRIA

RETOS QUE PRESENTA LA TECNOLOGÍA EN LA ACTUALIDAD

Wearables

Uno de los **retos más importantes** a los que se enfrentan las tecnologías wearables en su introducción en los entornos de trabajo es que estos dispositivos, no sean percibidos por los empleados como un intento, por parte de sus supervisores, de monitorizar o evaluar su trabajo o una forma de inmiscuirse en su privacidad, ya que estas tecnologías pueden guiar y grabar los movimientos de los trabajadores.

Por lo tanto, la **privacidad** es uno de los aspectos que más preocupa, ya que estos dispositivos pueden proporcionar a las empresas datos antes desconocidos, relacionados con sus rutinas diarias y la salud den

trabajador, en el caso por ejemplo de los relojes inteligentes. Por lo tanto estos asuntos legales y relativos a la privacidad de los trabajadores se tienen que abordar y resolver como paso previo a su introducción en los entornos de trabajo.

Actualmente, en el entorno industrial, los principales inconvenientes que presentan dispositivos como los relojes inteligentes están relacionados con el limitado tamaño de pantalla y, por consiguiente, en su capacidad limitada de introducir datos de entrada/salida y sus sensores menos precisos; por su parte, las gafas de realidad aumentada se enfrentan al reto de superar las limitaciones en cuanto a comodidad y duración de la batería. Para ambos tipos de dispositivos son aplicables todos los aspectos relacionados con **entornos de trabajo hostiles** ya que los dispositivos pueden requerir trabajar en condiciones deficientes de iluminación, tener que ser resistentes al agua y que no se deterioren por rasguños, golpes, etc.

Reducir los costes de los dispositivos, así como la mejora el ciclo de vida de las baterías y temas relativos a la disipación de calor de estos dispositivos son otros retos importantes a conseguir.

Es decir, estos los wearables todavía presentan ciertas limitaciones que reducen su introducción en el mundo industrial, tales como su pequeño tamaño pantalla que limita los datos de entrada y salida que se pueden mostrar, su adaptabilidad al entorno de trabajo de una fábrica (robusto, resistente al agua, etc.) y también los interfaces para usar, ya que se buscan nuevas interfaces de usuario basadas en técnicas de interacción como reconocimientos gestuales, por voz, etc.

A continuación se resumen algunos de los aspectos claves en los que se debe seguir trabajando de cara a la implantación de los wearables:

- **Interface y experiencia del usuario:** el factor humano tienen especial relevancia en la implantación de cualquier tecnología wearable, especialmente cuanto más pequeña es la pantalla. Además hay que tener en cuenta factores como el entorno de trabajo o la ergonomía. El dispositivo debe mostrar la información justa y necesaria al operario, en el momento en el que la necesita, y sin que este suponga distracciones innecesarias, este último aspecto es relevante ya que puede afectar a la seguridad del operario.
- **Batería:** la batería es otro aspecto importante a tener en cuenta, ya que se necesitará una duración larga entre recargas. Para resolver este problema, las empresas pueden utilizar un sistema de hibernación, baterías adicionales, apagar chips de manera automática cuando estos no se utilicen para ahorrar batería, deshabilitar las conexiones wifi en determinadas áreas, etc.
- **Redefinir el proceso:** el uso de wearables requiere analizar cómo el proceso puede ser optimizado y como cambia el flujo de trabajo.
- **Infraestructura TIC:** los displays de los dispositivos wearables deben interpretarse como una nueva capa de presentación de la información. Las empresas tendrán que definir las APIs (application programming interfaces) e integrar los wearables con sus sistemas ERP, CRM, etc.
- **Análisis de la información y visualización:** las empresas deben evaluar el tipo de información que se va a capturar a través de las pantallas y cómo procesar y maximizar el valor de los datos. Por ejemplo, los empleados podrían transmitir vídeo desde el dispositivo wearable a una instalación de almacenamiento en la nube para su revisión y archivo. Las empresas también podrían construir un portal web para una visión holística de los datos que consumen los trabajadores, como libros

de mantenimiento, perfiles de clientes o registros de salud. Además, los wearables se pueden utilizar como dispositivos de recogida de datos más pasivos sobre su entorno, como la temperatura del aire, la calidad del aire o el nivel de ruido, para ayudar a las empresas a tomar decisiones más rápidas o proteger a sus empleados, como una alerta instantánea si se produjo una fuga de gas cerca del lugar donde estaba un empleado. Los wearables tienen incluso el potencial de vigilar los signos vitales biométricos de los empleados, como ayudar a determinar si un piloto ha dormido lo suficiente antes de volar un avión, o si un empleado de la línea de soldadura necesita atención médica basada en un repentino aumento de su ritmo cardíaco.

- **Privacidad y seguridad de los datos:** las nuevas tecnologías tienden a generar preocupaciones sobre la privacidad, como ya se ha mencionado. Sin embargo, se cree que esto es una preocupación mayor en el mercado de consumo ya que los empleados están acostumbrados a ser monitorizados hasta cierto punto. En cualquier caso, las empresas deben adaptar sus políticas de privacidad a esta nueva tecnología. La seguridad es otra preocupación, y las empresas deben ampliar las medidas de seguridad corporativa para cubrir los dispositivos wearables, que pueden ser considerados como dispositivos móviles.

Realidad aumentada

Aunque ya existen soluciones en el mercado y los avances que se han realizado en la última década son significativos, todavía existen **barreras para la adopción de la Realidad Aumentada en las empresas**. Según un estudio realizado por la consultora PricewaterhouseCoopers (2016), concretamente respecto a la adopción de las gafas de realidad aumentada, las principales barreras son:

- **Ecosistema muy fragmentado:** existe un amplio abanico de soluciones hardware, software y métodos de interacción.
- **Falta de estándares:** no existen estándares para describir la información, compartir datos, apoyar las interacciones, integrar los sistemas e intercambiar componentes o algoritmos.
- **Barreras técnicas:** mejorar el rendimiento en áreas como óptica; tracking 3D, orientación y displays; interacciones; y diseño del contenido de RA.
- **Barreras financieras:** el coste de adquisición de los dispositivos, métodos de medida del impacto en el negocio o el cálculo del retorno de la inversión.
- **Riesgos operacionales:** retos asociados a cambiar los procesos e introducir hardware nuevo, seguridad de la información y mantenimiento de los dispositivos.

Uno de los principales inconvenientes es la capacidad de replicar una experiencia concreta en otra área, ya que cada caso de uso tiene requisitos diferentes. A medida que se avance a través de los estándares de hardware, sistemas operativos, intercambio de datos y métodos de interacción, cabe esperar que la adaptación masiva de soluciones sea más fácil.

En la actualidad, los mayores obstáculos son de carácter técnico y están relacionados con las smartglasses, su tamaño, el peso, los requisitos de energía, etc. Por lo tanto, los avances tecnológicos serán el principal motor de la adopción de AR.

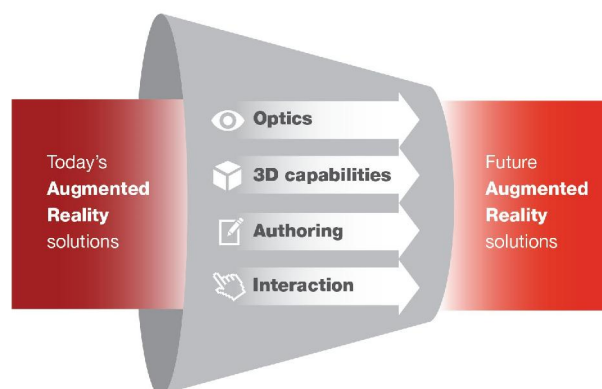


ILUSTRACIÓN 54: TECNOLOGÍAS QUE CAMBIARÁN LA REALIDAD AUMENTADA. FUENTE: PWC

A continuación se resumen las **cuatro áreas tecnológicas** identificadas por PwC que harán evolucionar la Realidad Aumentada en los próximos años, concretamente en lo referente a las gafas de realidad aumentada, tal y como se representa en la imagen anterior:

1. **La óptica:** el rendimiento óptico de la mayoría de las gafas inteligentes tiene un largo margen de mejora. Aunque la capacidad de captura de imágenes y video digital es alta, el verdadero desafío en la óptica es la visualización de información. Por ejemplo, el campo de visión de los dispositivos actuales es típicamente de 25 a 40 grados horizontal y verticalmente, en comparación con los 190 grados en horizontal y 120 grados en vertical de la visión humana normal. Esta limitación reduce la variedad de casos de uso y el potencial de la RA. Cabe esperar que el peso, el tamaño y los requisitos de energía de los componentes ópticos continúen mejorando en el futuro.
2. **Modelos 3D:** la RA cambia el paradigma computacional de tres dimensiones. La detección, el seguimiento, la orientación, la interacción, el modelado y la visualización deben suceder en tres dimensiones. Los ordenadores actuales ya proporcionan potentes capacidades tridimensionales en tiempo real, pero tienen más potencia de procesamiento que los dispositivos de RA. Si bien las capacidades tridimensionales actuales son sustanciales, es necesario avanzar en el seguimiento (tracking), el procesamiento y la visualización para garantizar que el mundo virtual y el mundo físico coincidan con precisión y cambien en tiempo real según el movimiento de los usuarios, de manera que el contenido virtual se muestre con respecto al mundo real sin retrasos. También es necesario avanzar en la integración precisa de audio, gráficos, imágenes y video 3-D en la pantalla para que sean intuitivos, continuos y reactivos frente a las acciones del usuario.
3. **Diseño:** las soluciones de RA se construirán utilizando contenido atractivo adaptado al entorno, al contexto de trabajo y al usuario. Hoy en día, los métodos de creación son complejos, fragmentados en función de los distintos medios y no están bien integrados. Se buscan nuevas soluciones que reduzcan la complejidad aprovechando el contenido que ya existe. La aparición de estas herramientas es esencial para hacer que la RA sea accesible a más desarrolladores.
4. **Interacción:** las soluciones de RA están impulsando la interacción hombre-máquina más allá de los métodos tradicionales como el teclado, ratón y pantalla táctil. En este sentido, se están realizando avances para utilizar los gestos, el habla, el seguimiento de los ojos, el seguimiento del movimiento, y otros nuevos métodos para permitir la interacción con la información en el espacio

3D. La mayoría de las soluciones utilizarán una combinación de varios métodos para integrar diversas condiciones ambientales, como el ruido y el brillo.

Realidad virtual

Los grandes desafíos⁶⁶ en el campo de la realidad virtual son desarrollar mejores sistemas de seguimiento (tracking), encontrar formas más naturales que permitan al usuario interactuar dentro de un entorno virtual y disminuir el tiempo de desarrollo de los entornos virtuales.

Aunque hay empresas actualmente trabajando en los **sistemas de seguimiento**, son pocas las empresas que trabajan en el desarrollo de periféricos de entrada específicos para aplicaciones de RV. Por otra parte, la mayoría de los desarrolladores de RV tienen que adaptar la tecnología original a cada disciplina, dependiendo siempre del fabricante de los dispositivos y de que este siga permaneciendo en el mercado.

En cuanto a l **diseño de los entornos virtuales**, en la actualidad crear un entorno realista que se parezca al medio que se pretende simular es una tarea laboriosa y que requiere de tiempo. Duplicar una habitación real con precisión en un espacio virtual podría llevar más de un año.

Otro reto para los desarrolladores de sistemas de RV es crear un **sistema ergonómico**, ya que muchos sistemas dependen del Hardware, que restringe o limita los movimientos físicos. Es por ello, que es importante el diseño del Hardware, ya que de lo contrario el usuario podría tener problemas con su sentido del equilibrio o la inercia, lo que disminuiría la experiencia de “telepresencia”, e incluso podría ocasionar desorientación y náuseas.

Exoesqueletos

Varias publicaciones científicas han abordado los aspectos técnicos de los exoesqueletos: Yang et al. (2008) Yang, C. J., J. F. Zhang, Y. Chen, Y. M. Dong, and Y. Zhang. 2008. “A Review of Exoskeleton-type Systems and Their Key Technologies.” *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science* 222 (8): 1599–1612.[CrossRef], [Web of Science®]), Gopura and Kiguchi (2009) Gopura, R. A. R. C., and K. Kiguchi. 2009. “Mechanical Designs of Active Upper-limb Exoskeleton Robots.” *IEEE 11th International Conference on Rehabilitation Robotics*. Kyoto: Kyoto International Conference Center.), Lee et al. (2012a) Lee, H., W. Kim, J. Han, and C. Han. 2012a. “The Technical Trend of the Exoskeleton Robot System for Human Power Assistance.” *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing* 13 (8): 1491–1497.10.1007/s12541-012-0197-x[CrossRef], [Web of Science®]) and Viteckova, Kutilek, and Jirina (2013) Viteckova, S., P. Kutilek, and M. Jirina. 2013. “Wearable Lower Limb Robotics: A Review.” *Biocybernetics and Biomedical Engineering* 33 (2): 96–105.10.1016/j.bbe.2013.03.005[CrossRef], [Web of Science®]) with few, if any addressing the effect on the human wearer. Viteckova, Kutilek, and Jirina (2013) Viteckova, S., P. Kutilek, and M. Jirina. 2013. “Wearable Lower Limb Robotics: A Review.” *Biocybernetics and Biomedical Engineering* 33 (2): 96–105.10.1016/j.bbe.2013.03.005[CrossRef], [Web of Science®]). La principal conclusión de las mismas es que a pesar de los muchos avances en el campo de las tecnologías robóticas de soporte, tales como fuentes de energía, sensores pequeños e inteligentes, ordenadores más potentes y materiales ligeros,

⁶⁶ Sharmistha Mandal, “Brief introduction of virtual reality & its challenges”, 2013.

sigue existiendo la necesidad de desarrollar exoesqueletos más ligeros compatibles con los operarios. Algunos de las cuestiones clave a abordar son: el diseño de **actuadores y músculos artificiales, bucles de control rápidos y eficaces, ajuste antropométrico y tiempos de vida de la batería.**

PERSPECTIVAS A MEDIO Y LARGO PLAZO

Wearables

PERSPECTIVAS ECONÓMICAS

Se prevé que el mercado de los dispositivos wearables crecerá tanto, que en los próximos 5-10 años se convertirá en un negocio de miles de millones de euros. Aunque las previsiones de mercado de las consultoras internacionales difieren, existe un consenso en cuanto a que se trata de una **tecnología que está penetrando rápidamente en el mercado** y que presenta **diversas aplicaciones.**

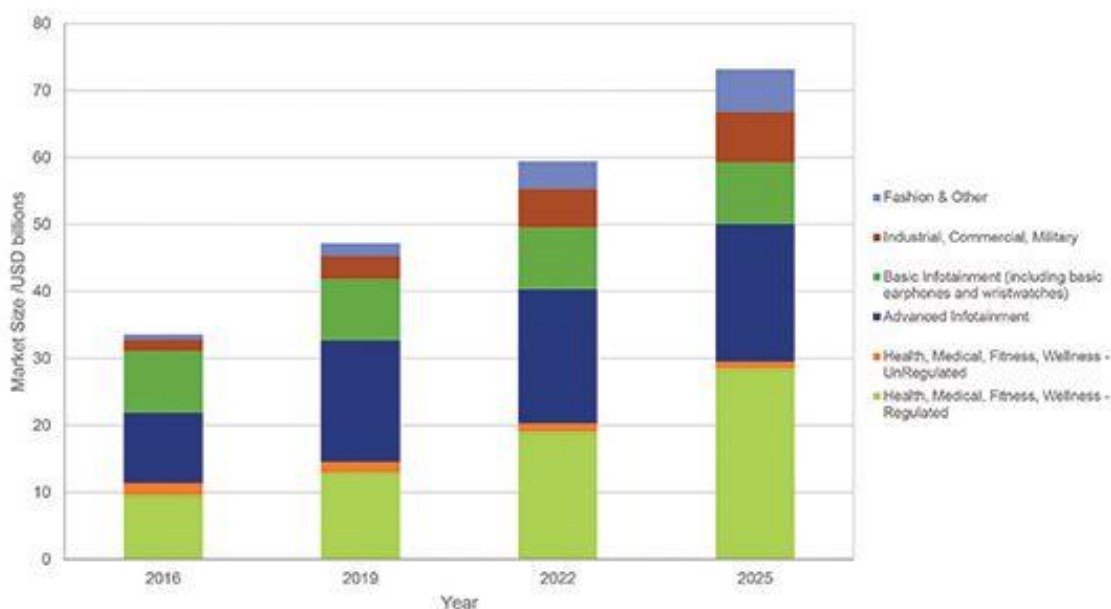


ILUSTRACIÓN 55: EXPECTATIVAS DE MERCADO PARA LOS WEARABLES. FUENTE: IDTECHEX (2015)

Gartner estima que el mercado de los wearables generó en **2016** un total de **28.700 millones de dólares** de ingresos. Según IDTechEx, el mercado de los wearables tendría un valor de más de 30.000 millones de dólares en 2016, tal y como se muestra en la gráfica anterior, y crecerá en tres etapas: un 10% anual por encima de los 40.000 millones de dólares en 2018, para sufrir una aceleración del 23% hasta alcanzar los 100.000 millones de dólares en 2023, hasta llegar a los **150.000 millones de dólares en 2026**⁶⁷.

De acuerdo con las previsiones de Gartner, las ventas de dispositivos wearables aumentarán de 275 millones de unidades en 2016 a **477 millones de unidades en 2020**, lo que representa un total de 61.700

⁶⁷ <http://www.idtechex.com/research/reports/wearable-technology-2016-2026-000483.asp>

millones de dólares de ingresos en 2020⁶⁸. Por su parte, HIS estima que el número de wearables crecerá de 175 millones de dispositivos en 2015 hasta 320 millones en 2020 con un beneficio esperado de 40.000 millones de dólares⁶⁹.

IDC estima que los relojes y bandas inteligentes dominarán el mercado de los dispositivos wearables durante los próximos 5 años, aunque cabe esperar que otros dispositivos como ropa, gafas y audífonos ganen importancia. En cuanto a las áreas de aplicación, como se observa en la gráfica anterior, el segmento salud se está convirtiendo en uno de los más importantes junto al de infotainment (entretenimiento y ocio), seguido en menor medida por el **sector industrial**, que se espera que tenga un **crecimiento importante de cara a 2025**.

Las previsiones muestran que en 2025 habrá más de 3.000 millones de sensores en torno a los dispositivos wearables, más del 30% serán nuevos sensores. El pronóstico de IDTechEx cubre todos los tipos de sensores previstos para su uso en 2020 (sensores inerciales, ópticos, químicos, flexibles, de presión/impacto, temperatura, etc.). La mayoría de los sensores utilizados en la actualidad son una adaptación de sensores empleados en el sector automoción o en dispositivos móviles. Sin embargo, con la aparición de nuevas propiedades que se vuelven muy importantes en los dispositivos wearables como la flexibilidad o capacidad de lavado, son necesarios nuevos desarrollos. Se estima que los sensores químicos cubrirán la mayor parte del mercado, y que crecerá el uso de sensores de elongación y presión, utilizados para la detección del movimiento y monitorización de variables de salud.

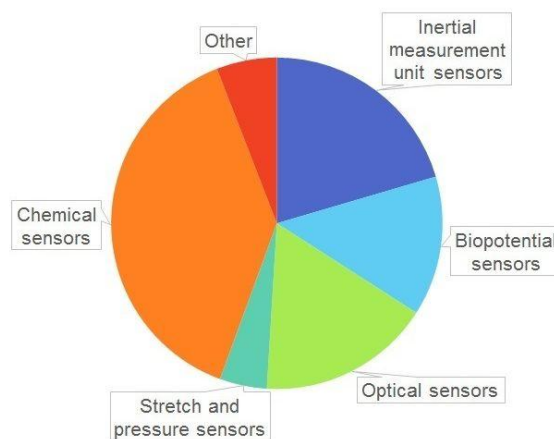


ILUSTRACIÓN 56: MERCADO EN FUNCIÓN DEL TIPO DE SENSORES A UTILIZAR EN 2020. FUENTE: IDTECHEX

TENDENCIAS - PERSPECTIVAS ACTUALES Y FUTURAS

La tecnología de los dispositivos wearables ha alcanzado cierta madurez, experimentando en los últimos años un **elevado crecimiento en los ámbitos destinados al consumo masivo** principalmente en los ámbitos de **Fitness** (pulsera de actividad y derivados) **y Estilo de Vida** (principalmente relojes inteligentes), con una penetración en la sociedad similar a la adopción de los Smartphones. En la actualidad la tecnología se encuentra en fase de demostración y lanzamiento comercial. Los Fitness Trackers son los

⁶⁸<https://technology.ihs.com/Services/511880/wearable-technology-intelligence-service>

⁶⁹<https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS41100116>

dispositivos que están sufriendo una adopción más rápida, seguidos de las gafas inteligentes con las que todavía se siguen experimentando a través de implantaciones pilotos, y por último destacan los relojes inteligentes, como el Apple Watch, que está causando cada vez mayor interés entre los desarrolladores de aplicaciones para el ámbito industrial.

Como ya se mencionaba, los **dispositivos relacionados con el bienestar** son los que están liderando el mercado, la compañía Fitbit incluyó en 2015 a 1.000 nuevas empresas en su programa de “Wellness”, y a pesar de la preocupación que gira en torno a la privacidad y seguridad de la información, en la mayoría de los casos los programas están siendo bien acogidos entre los empleados.

Otro dispositivo que está cogiendo relevancia en el mercado, y en relación al puesto de trabajo, son los **relojes inteligentes**, ya que ayudan a canalizar las notificaciones de los Smartphones mejorando la productividad.

En el ámbito industrial, la principal ventaja que ofrecen los wearables es la posibilidad de tener las manos libres, de ahí que se esté trabajando en el desarrollo de **gafas y cascos inteligentes**, de manera que la información se muestra directamente en el campo de visión del usuario o bien a través de auriculares. El poder dar órdenes por voz o mediante gestos puede mejorar notablemente las capacidades de estos dispositivos, que podrían sustituir a dispositivos como PDAs, tablets u ordenadores portátiles.

Otro de los beneficios en el ámbito industrial es que puede ayudar a mejorar los flujos de trabajo, con la correspondiente reducción de costes y mejora de los plazos de entrega. En este sentido, se están utilizando las gafas inteligentes para reemplazar instrucciones o manuales en papel.

En un informe elaborado por Tractica, se han identificado las aplicaciones claves en el ámbito empresarial e industrial, en las que la tecnología wearable tendrá un impacto importante en los próximos años:

- Programas de bienestar corporativo.
- Aplicaciones de Almacén / Logística.
- Inspección de la planta de fabricación.
- Gestión de la fatiga.
- Mejora del flujo de trabajo.
- Modelado tridimensional/holográfico para empresas de ingeniería, diseño o arquitectura.
- Autenticación en el lugar de trabajo.
- Servicios, supervisión remota y asistencia.
- Venta al por menor y atención al cliente.

Realidad aumentada y virtual

MADUREZ DE LA TECNOLOGÍA

La consultora Gartner publica anualmente lo que se conoce como “Hype Cycles” en donde muestra la **evolución en cuanto al despliegue y aceptación** de una serie de tecnologías consideradas emergentes en

la industria. El ciclo distingue 5 fases: 1) lanzamiento, 2) pico de expectativas sobredimensionadas, 3) abismo de desilusión, 4) rampa de consolidación y 5) meseta de productividad.

En el análisis de **2011**, la RA había pasado del punto más alto de la curva pero se mantenía en la zona de **expectativas sobredimensionadas**, y Gartner preveía que el tiempo para la adopción masiva de esta tecnología estaría en torno a 5-10 años.

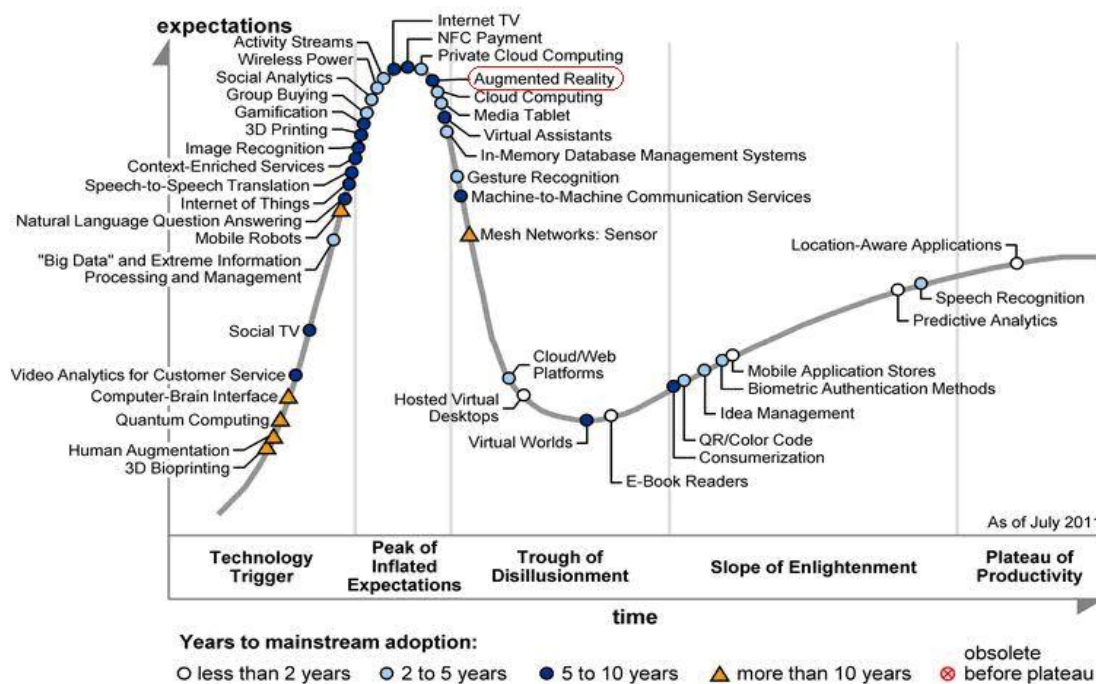


ILUSTRACIÓN 57: HYPE CYCLE - EVOLUCIÓN 2011. FUENTE: GARTNER

La **Realidad Virtual** no apareció entre las tecnologías emergentes hasta **2013**, posicionada en la **etapa de desilusión**, en la que las expectativas del mercado comienzan a caer drásticamente debido a que los experimentos no han resultado tan prometedores como se esperaba o al fracaso de los esfuerzos de comercialización, y con una previsión de llegada al mercado en 5-10 años.

En el último estudio realizado por Gartner en **2016**, la **RA** también aparece en la **etapa de desilusión**. A pesar de ello, se mantiene la **previsión** de que en **5-10 años** se dé **comienzo a la adopción generalizada de la tecnología**. La **RV** en este caso ha superado la etapa de desilusión y se encuentra en la **rampa de consolidación**, en esta etapa se experimenta con la tecnología para entender los beneficios de su aplicación práctica.



ILUSTRACIÓN 58: HYPE CYCLE - EVOLUCIÓN 2016. FUENTE: GARTNER

Cabe destacar, que Gartner habla de RA y RV en general, pero existe una importante diferencia entre la evolución de ambas tecnologías en distintos sectores, cuyos avances se producen a distintas velocidades, en algunas áreas la tecnología todavía se encuentra en las primeras fases de desarrollo mientras que en otras áreas la madurez es tal y que está preparada para su explotación en el mercado.

PERSPECTIVAS ECONÓMICAS

Para ver el potencial en el mercado de estas tecnologías, se ha analizado el informe realizado por Digi-Capital (2016), que prevé que en **2020** se alcancen unos ingresos del orden de **120.000 millones de dólares**⁷⁰, previsión que se ha visto disminuida respecto al estudio del año anterior cuyas inversiones alcanzaban los 150.000 millones de dólares. Al tratarse de tecnologías con características y usos muy diferentes, la previsión para cada una de ellas difiere notablemente, así, se prevé unos **ingresos de 90.000 millones de dólares para Realidad Aumentada** y **30.000 millones de dólares para la Realidad Virtual**.

⁷⁰ <http://www.digi-capital.com/news/2016/01/augmentedvirtual-reality-revenue-forecast-revised-to-hit-120-billion-by-2020/#.WIBtx9ThCWg>



ILUSTRACIÓN 59: PREVISIONES DE CRECIMIENTO EN TORNO A LA RA Y RV. FUENTE: DIGICAPITAL,2016

Otro de los datos de interés reside en conocer cuáles son las previsiones de distribución de ingresos por tecnología. En el caso de la RA la mayor parte de los ingresos se generarán entorno a las temáticas de hardware, eCommerce, gestión de datos y reconocimiento de voz. En el caso de la RV las que mayor volumen generarán son el campo de los videojuegos y la venta de hardware.

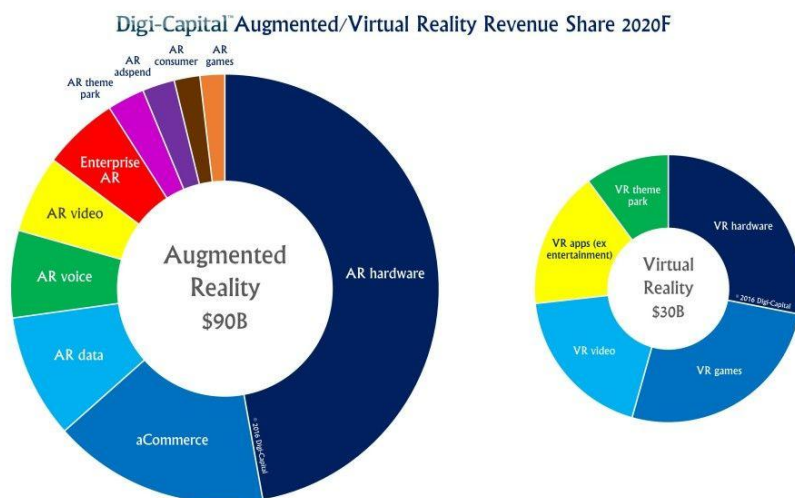


ILUSTRACIÓN 60: PREVISIÓN DE DISTRIBUCIÓN DE INGRESOS POR TEMÁTICA. FUENTE: DIGICAPITAL, 2016

IDC⁷¹, por su parte, apuesta por que estos ingresos serán aún mayores, alcanzando en **2016** los **5.200 millones de dólares** y con una previsión de crecimiento para los próximos cuatro años de del 181,3% llegando a los **162.000 millones de dólares en 2020**. La consultora ha identificado estas tecnologías (RA / RV) como unos de las principales aceleradores de innovación que impulsarán la transformación digital en los próximos años, provocando la apertura de nuevas fuentes de ingresos y cambios de la forma de

⁷¹ <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS41676216>

trabajar. Además, añade un estudio geográfico en el que Asia (excluyendo Japón), Estados Unidos y Europa Occidental lideran la adopción de estas tecnologías con tres cuartas partes de los ingresos mundiales.

En esta misma línea, según el estudio de Deloitte⁷², la realidad aumentada y la realidad virtual serán las dos tecnologías que generarán mayor impacto para las empresas en 2016.

Concretamente, en lo referente a **Realidad Aumentada**, ABI Research⁷³ pronostica que **en 2021 se llegará a 27 millones de envíos de smartglasses**. También indican que la Realidad Aumentada es de las tecnologías con mayor potencial de desarrollo y evolución. Se estima que su uso empresarial crecerá de 247 millones a 2.400 millones de dólares. Esta misma compañía augura que 2017 será el verdadero punto de inflexión para esta tecnología, y que la RA va a convertirse en un segmento de referencia para la empresa en los próximos cinco años.

La RA podría desempeñar un **papel multisector**, con una gran cantidad de usos que no se habían planteado hasta el momento: eCommerce (mezcla de comercio electrónico y comercio móvil), llamadas de voz, navegación web, streaming de cine / TV (tanto en 2D como en 3D), aplicaciones empresariales, publicidad, aplicaciones de consumo, etc.

En este sentido, Gartner destaca que la RA es más **útil como herramienta en industrias donde los trabajadores no tienen acceso inmediato a la información** (por ejemplo, están en el campo), o puestos de trabajo que requieren una o las dos manos y la atención del operador.

Pero la **Realidad Virtual** también tiene una amplia base de decenas de millones de usuarios preparados y a la espera entre jugadores de consolas, PCs y MMO (massively multiplayer online), aquellos que prefieren las películas 3D a las 2D, así como usuarios de empresas de nicho (por ejemplo, de medicina, militar, o de educación).

Continuando con el mercado de Realidad Virtual, IDC estima que al final de 2016 se habrán vendido **9,6 millones de dispositivos de Realidad Virtual por un valor 2.300 millones de dólares**, esperando que esta cantidad aumente a **65 millones de unidades vendidas en 2020**. A la hora de realizar sus pronósticos IDC tiene en cuenta tanto visores que se basan en smartphones, como cascos independientes o ligados a hardware de PC y consolas de juegos, es decir, incluye dispositivos como Samsung Gear VR o el Oculus Rift.

TENDENCIAS - PERSPECTIVAS ACTUALES Y FUTURAS⁷⁴

Según expertos de The Company of Through, las principales conclusiones en relación a estado actual de las tecnologías de realidad aumentada y virtual son las siguientes:

- Si bien la inversión sigue siendo alta en relación con la realidad virtual por parte de las grandes empresas con mayor representación en el mercado (Facebook, Samsung, Sony, etc.), la **realidad**

⁷² Deloitte, "Tech Trends 2016 Innovating in the digital era", 2016.

⁷³ <https://www.abiresearch.com/press/augmented-reality-will-hit-turning-point-industria/>

⁷⁴ Companyofthought: <http://www.americlearningmedia.com/edicion-047/527-tendencias/7333-tendencias-realidad-aumentada-y-realidad-virtual>

aumentada tendrá una tasa de adopción más inmediata. Aunque el contenido disponible en ambos casos es aún limitado.

- Los dispositivos han disminuido sus costes de forma rápida en el mercado de **realidad virtual** y ahora los **simuladores de e-learning** tienen una verdadera oportunidad para desarrollarse. Pero el coste de desarrollo y la falta de contenidos siguen siendo un riesgo y permanecerán así en un futuro previsible.
- En el campo de la **realidad aumentada** están empezando a surgir proyectos muy relevantes como el caso de **Microsoft y su tecnología Hololens**, que mejora la comprensión del potencial de la tecnología a todos los niveles.
- El aumento de la **conceptualización** de los planes relacionados con el entretenimiento es visto como una oportunidad lucrativa para la industria. Por ejemplo, Magic Leap, una compañía de realidad aumentada, está desarrollando una tecnología llamada Dynamic Digitized Lightfield Signal, que incide sobre la retina del usuario y permite la interacción entre los personajes de ficción y el mundo real.

En cuanto a las **predicciones futuras**, se puede hablar de tres aspectos clave:

- Las nuevas tendencias como la convergencia del montaje entre **dispositivos portátiles, realidad aumentada y el Internet de las Cosas**, se prevé que impulsarán la demanda. La convergencia entre estas tecnologías se espera que proporcione una experiencia de usuario más interactiva e inmersiva.
- La realidad aumentada se ha utilizado con eficacia en iniciativas de marketing y relaciones públicas para la televisión, películas y campañas de promoción en otros medios de comunicación. Por lo tanto, se prevé que la creciente adopción de la tecnología de **realidad aumentada** por parte del **sector del entretenimiento impulse el mercado**.
- Se espera que el segmento **Head Mounted Display (HMD) domine el mercado**, creciendo a una tasa compuesta anual de casi el 70 por ciento desde 2016 y hasta 2024. Esto puede atribuirse a la creciente gama de aplicaciones que se están desarrollando para los sectores militar, salud, visualización científica, fabricación, educación, formación, navegación y entretenimiento. Otros factores que impulsan la demanda incluyen una mejor conectividad de contenido, una experiencia de usuario mejorada y un campo de visión optimizado.

Exoesqueletos

SITUACIÓN ACTUAL

Los exoesqueletos, tanto pasivos como activos, presentan cada vez más una mayor adopción en industrias como la **automotriz, fabricación, defensa y salud**. En la configuración de fábrica, pueden capacitar a los trabajadores, mejorar la ergonomía y proporcionar seguridad aumentando la automatización, y mejorando así la calidad, reduciendo el desperdicio y disminuyendo los niveles de absentismo debido a las lesiones. Comprendiendo los costes, beneficios y retorno de la inversión (ROI) de la integración de exoesqueletos en las líneas de montaje, también podría ser el primer paso para la colaboración hombre-robot (HRC).

Los robots tipo wearable diseñados para ser utilizados en un entorno industrial son el campo de crecimiento más rápido en la investigación de exoesqueletos (utilización de los mismos para realización de trabajos en sitios de construcción, diques, fábricas, almacenes e incluso salas quirúrgicas). En la más reciente presentación de la Wearable Robotics Association⁷⁵, Dr. Joseph Hitt⁷⁶ describió los exoesqueletos para la fabricación y la construcción como los sectores en los que puede haber una mayor aplicación de estos nuevos sistemas. Su argumento es que las instalaciones médicas tienen un presupuesto limitado para los robots de rehabilitación y la existencia de una docena de empresas con años de experiencia. Por el contrario, hay poco exoesqueletos para el trabajo y grandes empresas industriales, que podrían comprar millones de unidades para sus trabajadores en las próximas décadas.

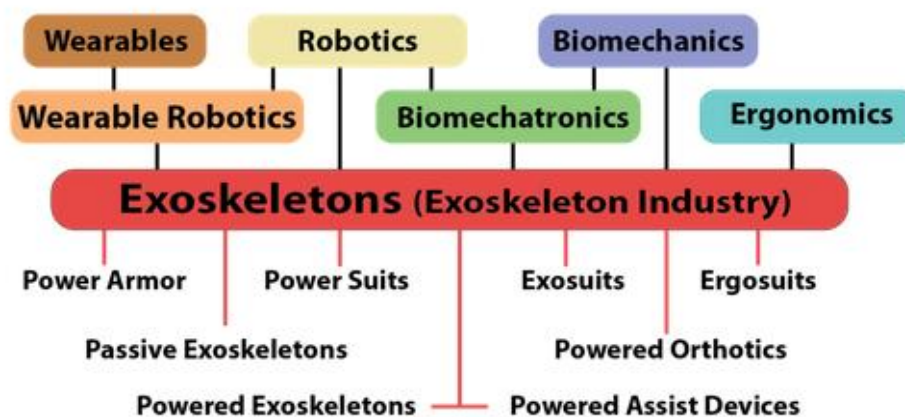


ILUSTRACIÓN 61. SITUACIÓN ACTUAL EXOESQUELETOS EN LA INDUSTRIA. FUENTE: EXOSKELETON REPORT

PERSPECTIVAS ECONÓMICAS⁷⁷

Se espera que el pronóstico del mercado mundial de las tecnologías de tipo wearable alcance un sólida tasa de crecimiento anual (*CAGR – compounded annual growth rate*) del 21,1% de 2016 a 2025. Durante este período el mercado global para exoesqueletos se prevé que se desborde completamente en el ámbito comercial, con aumentos en ventas para aplicaciones a nivel industrial y de la sanidad. Así, se espera que el crecimiento en el mercado de los exoesqueletos duplique al crecimiento del mercado de la tecnología de tipo wearable, con un pronóstico del 48,1% CAGR. Se espera que en el período 2018-2019 las ventas en exoesqueletos superen el billón de dólares en ingresos anuales.

⁷⁵ <http://www.wearablerobotics.com/wearracon-16/>

⁷⁶ <http://exoskeletonreport.com/2016/04/exoskeletons-for-industry-and-work/>

⁷⁷ <http://www.wearablerobotics.com/global-market-forecast-snapshot-wearable-technologies-2016-2025/>

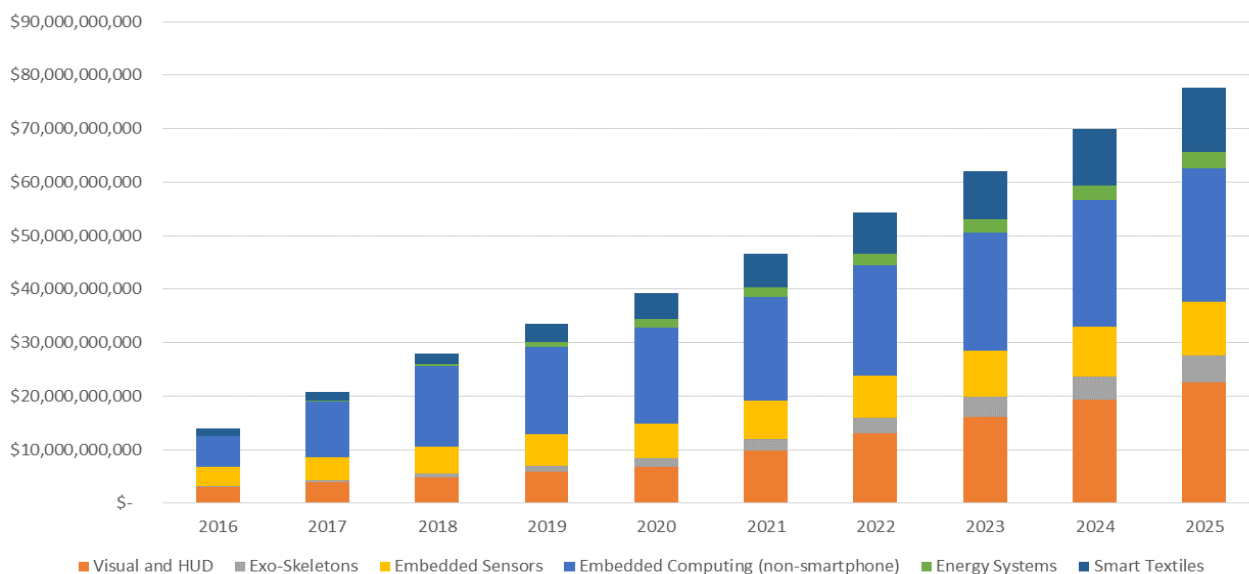


ILUSTRACIÓN 62. CRECIMIENTO TECNOLOGÍA TIPO WEARABLES EN EL MUNDO EN PERÍODO 2016-2025. FUENTE: WEARABLE ROBOTICS

Si se centran en las tecnologías robóticas clave para sistemas de tipo wearable, se puede observar como los sistemas informáticos embebidos y los sistemas de visualización/head-up displays (HUD) siguen en términos de ventas a los exoesqueletos y sistemas embebidos, ya que los actuales mercados de clientes se basan más en sistemas de avisos sobre la información más que en sistemas que pueden proveer una respuesta interactiva más directa y un feedback al usuario.

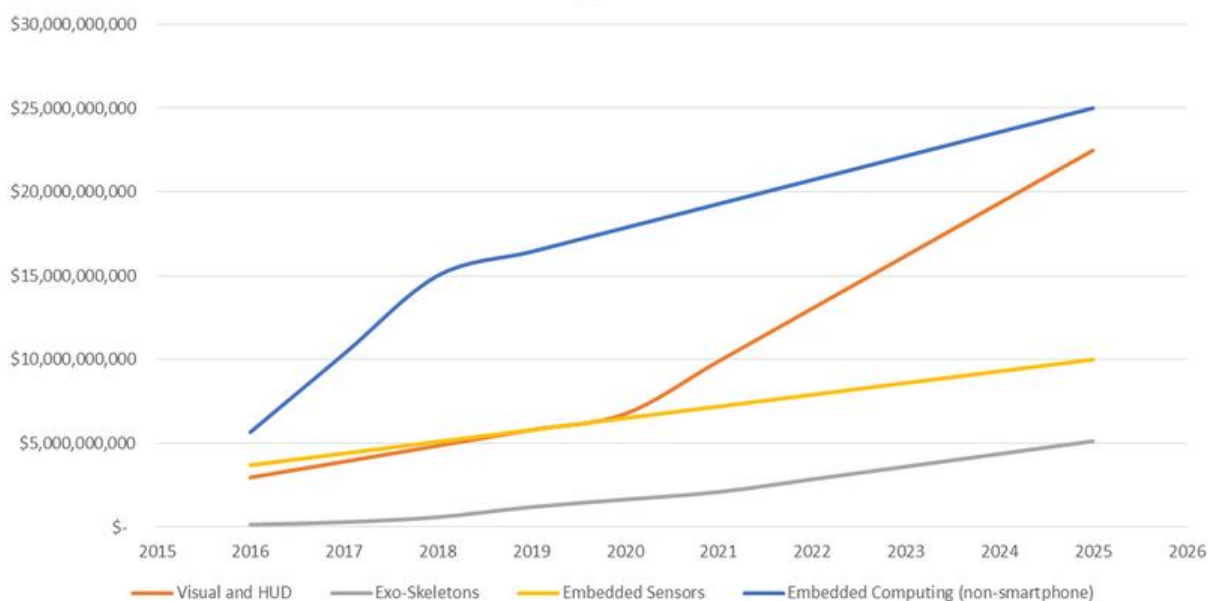


ILUSTRACIÓN 63. COMPARATIVA CRECIMIENTO DIFERENTES TECNOLOGÍAS WEARABLE 2016-2025. FUENTE: WEARABLE ROBOTICS

Durante la próxima década, se espera que el mercado norteamericano impulse casi la mitad de las ventas del mercado, con Europa y Asia Oriental dividiendo la mayor parte de la mitad restante.

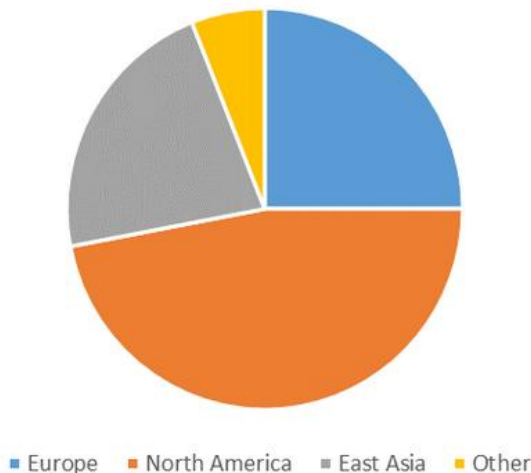


ILUSTRACIÓN 64. CUOTA MERCADO TECNOLOGÍA WEARABLE. FUENTE: WEARABLE ROBOTICS

PERSPECTIVAS FUTURAS

“Los exoesqueletos jugarán un papel crítico en el futuro de las fábricas inteligentes”, según señala en su estudio Vijay Natarajari (Frost & Sullivan Visionary Innovation Group Research Analyst)⁷⁸. Para el año **2020, la mayoría de las firmas industriales usarán alguna forma de tecnología de exoesqueleto**, y para 2025, conceptos como HRC probablemente reemplazarán a los exoesqueletos, lo que resultará en una mayor colaboración entre humanos y robots”.

El potencial para una integración perfecta dentro de un entorno de fábrica, **menores costes de mantenimiento** y un **ROI atractivo** con un período de amortización de menos de un año indican una promesa tremenda para la tecnología del exoesqueleto, pero aún quedan desafíos:

- Actualmente, no hay **regulaciones** que enlacen el uso del exoesqueleto en la fábrica. Es necesario incorporar un **marco reglamentario** adecuado para garantizar que se cumplan los **requisitos de seguridad** relacionados con el uso de la tecnología.
- Una **percepción negativa de las máquinas reemplazando a los trabajadores**, en lugar de ayudarlos. Además, el debate sobre quién están en control, la máquina o el usuario, es una preocupación entre la mayoría de los usuarios.

⁷⁸ Analysis of Exoskeleton Technology Implementation in Future Factories (Frost & Sullivan, September 2016)

BIBLIOGRAFÍA

ARTÍCULOS E INFORME DE REFERENCIA

- WEARABLES
 - Mesut cicek, “Wearable Technologies and its future applications”, 2015.
 - Brian Kyle Marek, “The emerging trend of wearable technological devices”, 2015.
 - Smita Jhajharia et al, “Wearable computing and its application”, 2014.
 - Fung global Retail & Technology, “The wearables report 2016: reviewing a fast changing market”, 2016.
 - Instituto Tecnológico de Aragon - ITAINNOVA, “Wearables en el entorno de las factorías del futuro”, 2015.
 - PWC, “The wearble life 2.0: Connected living in a wearable world”, 2016.
 - Javier Luque Ordóñez, “Dispositivos y tecnologías wearables”, 2016.
 - AccentureTechnology, “Putting wearable displays to work in the Enterprise”, 2014.
 - European Commission, “Smart wearables: reflection and orientation paper”, 2016.

- REALIDAD AUMENTADA Y VIRTUAL
 - Alex Olwal, “An introduction to augmented reality”, 2010.
 - Paul Milgram et al., “Augmented reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum”, 1994.
 - T. Azuma, “A survey of augmented reality”, 1997.
 - DHL Trend Research, “Augmented reality in logistics”, 2014.
 - Mehdi Mekni, “Augmented reality: applications, challenges and future trends”, 2014.
 - Aumenta Solutions, “Augmented reality in an industry 4.0 environment”, 2015.
 - Augment, “Augment’s essential guide to augmented reality”.
 - Instituto Tecnológico de Aragon - ITAINNOVA, “Análisis: Realidad Aumentada aplicada a entornos industriales”, 2014.
 - Telefónica, “Realidad Aumentada: una nueva lente para ver el mundo”, 2011.
 - Deloitte, “Tech Trends 2016: Innovating in the digital era”, 2016.
 - PWC, “The road ahead for augmented reality”, 2016.
 - Sharmistha Mandal, “Brief introduction of virtual reality & its challenges”, 2013.
 - William R. Sherman et Alan B.Craig, “Understanding Virtual reality”, 2003.
 - Muhanna A., “Virtual reality and the CAVE: Taxonomy, interaction challenges and research directions”, 2013.
 - Christoph Anthes et Al., “State of the art of virtual reality technology”, 2016.
 - Oliver Stefani, Fraunhofer Institute, “New challenges for virtual reality systems”.

- EXOESQUELETOS
 - De Looze, MP, Bosch, T, Krause, F, Stadler, KS and O’Sullivan, LW (2015). “Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load, Ergonomics”, 2015.
 - Van der Vorm, J, Nugent, R, O’Sullivan, L “Safety and Risk Management in designing for the lifecycle of an exoskeleton: A novel process developed in the Robo-Mate project”, 2015.

- WinterGreen Research, Inc. “Wearable Robots, Exoskeletons: Market Shares, Market Strategies, and Market Forecasts, 2015 to 202”, 2015
- Tim Bosh, Jennifer van Eck, Karlijn Knitel, Michiel de Looze. “The effects of a passive exoskeleton on muscle activity, discomfort and endurance time in forward bending work”, 2016.
- Carmen Constantinescu, Daniela Popescu, Paul-Christian Muresan, Sebastian-Ioan Stana, “Exoskeleton-centered process optimization in advanced factory environments”, 2016.

PÁGINAS WEB DE REFERENCIA

- EXOESQUELETOS
 - Exoskeleton Report. <http://exoskeletonreport.com/>
 - Wearable Robotics. <http://www.wearablerobotics.com/>
 - Robo-Mate Consortium. <http://www.robo-mate.eu/>
 - Ergonomics Journal. <http://www.tandfonline.com/loi/terg20>
 - Applied Ergonomics. <https://www.journals.elsevier.com/applied-ergonomics/>
 - International Journal of Industrial Ergonomics. <https://www.journals.elsevier.com/international-journal-of-industrial-ergonomics/>

OTRAS PÁGINAS WEB CONSULTADAS

- WEARABLES
 - <http://www.information-age.com/industry-4-0-changing-human-technology-interaction-123463164/>
 - <http://mpeg.chiariglione.org/standards/exploration/mpeg-wearable>
 - <http://spreewearables.com/products/smartcap/>
 - <http://www.archos.com/es/products/objects/cself/amb/index.html?rprod=1>
 - <http://www.zephyr-technology.nl/en/product/71/zephyr-bioharness.html>
 - <http://www.fujitsu.com/global/about/resources/news/press-releases/2014/0218-01.html>
 - <http://industria4.es/empresa/vestidos-tecnologia-wearable-industria/>
 - <http://www.idtechex.com/research/reports/wearable-technology-2016-2026-000483.asp>
 - <https://technology.ihs.com/Services/511880/wearable-technology-intelligence-service>
 - <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS41100116>
- REALIDAD AUMENTADA Y VIRTUAL
 - <http://www.augment.com>
 - <https://www.microsoft.com/microsoft-hololens/en-us>
 - <https://www.epson.es/products/see-through-mobile-viewer/moverio-bt-300>
 - <https://www.vuzix.com/Products/Series-3000-Smart-Glasses>
 - <https://www.epson.es/products/see-through-mobile-viewer/moverio-bt-300>
 - <https://daqri.com/products/smart-helmet/>
 - <http://www.osterhoutgroup.com/system>
 - <https://www.magicleap.com>
 - <https://www.cnet.com/roadshow/news/volkswagen-3d-smart-glasses/>

- <http://www.volkswagenag.com/en/group/research/virtual-technologies.html>
- <http://glassalmanac.com/general-motors-tests-google-glass-vehicle-assembly/5325/>
- <https://brainxchange.events/new-interesting-wearable-tech-use-cases-part-2/>
- http://www.dhl.com/en/press/releases/releases_2015/logistics/dhl_successfully_tests_a_ugmented_reality_application_in_warehouse.html
- https://www.youtube.com/watch?time_continue=65&v=I8vYrAUb0BQ
- <http://www.computerworld.es/innovacion/boeing-emplea-gafas-de-realidad-aumentada-para-guiar-a-operarios>
- <http://www.theverge.com/2016/7/14/12189574/boeing-google-glass-ar-building-airplane-parts>
- http://www.psc.uva.es/notas/notas_desplegadas.asp?id=4245
- <http://www.computerworld.es/innovacion/boeing-emplea-gafas-de-realidad-aumentada-para-guiar-a-operarios>
- <http://www.theverge.com/2016/7/14/12189574/boeing-google-glass-ar-building-airplane-parts>
- http://www.psc.uva.es/notas/notas_desplegadas.asp?id=4245
- <http://www.digi-capital.com/news/2016/01/augmentedvirtual-reality-revenue-forecast-revised-to-hit-120-billion-by-2020/#.WIBtx9ThCWg>
- <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS41676216>
- <https://www.abiresearch.com/press/augmented-reality-will-hit-turning-point-industria/>
- <http://www.americlearningmedia.com/edicion-047/527-tendencias/7333-tendencias-realidad-aumentada-y-realidad-virtual>
- www3.oculus.com
- www.samsung.com
- www.vive.com/eu/
- <http://www.computerweekly.com/feature/Ford-reduces-injuries-with-virtual-assembly-programme>
- <http://www.forbes.com/sites/leoking/2014/05/03/ford-where-virtual-reality-is-already-manufacturing-reality/#3b807cc3417d>
- <http://www.boeing.com/features/2016/03/immersed-in-engineering-03-16.page>
- http://www.fzt.haw-hamburg.de/pers/Scholz/dglr/hh/text_2007_05_24_Virtual_Reality.pdf
- EXOESQUELETOS
 - <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00140139.2015.1081988?src=recsys&>
 - <https://www.audi-mediacycenter.com/en/press-releases/chairless-chair-for-improved-ergonomics-in-audis-production-plants-392>
 - <https://hal-lirmm.ccsd.cnrs.fr/lirmm-01111273>
 - https://www.researchgate.net/publication/291335986_UPPER_EXTREMITY_ROBOTICS_EXOSKELETON_APPLICATION_STRUCTURE_AND_ACTUATION
 - <https://www.tum.de/en/about-tum/news/press-releases/detail/article/31665/>
 - http://www.just-auto.com/analysis/bmw-group-prioritises-factory-digitalisation-and-ergonomics-as-workforce-ages_id167978.aspx

- <http://www.airbusgroup.com/int/en/story-overview/factory-of-the-future.html>
- <http://www.marineinsight.com/future-shipping/exoskeleton-robot-caniron-man-suit-increase-productivity-in-shipyards/>
- <http://www.dailytech.com/MIT+Designs+Powerful+Doc+Ock+Limbs/article35007.htm>
- <http://www.nextbigfuture.com/2015/03/lower-body-exoskeleton-audi-chairless.html>
- <http://ww2.frost.com/news/press-releases/exoskeleton-technology-poised-transform-factories-future/>
- <http://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/exoskeleton-market>