



► Smart Clothes for chronic disease monitoring

SMART CLOTHES

para el monitoreo de enfermedades crónicas

Por:  Emilio Águila Escalante (autor de correspondencia) · Víctor Armando Canales-Lima





RESUMEN

Las *smart clothes* refieren a ropa con componentes electrónicos embebidos para la recolección y procesamiento de datos. Este concepto presenta retos para converger en aplicaciones reales, como los requerimientos energéticos o los factores de experiencia de usuario, sin embargo, sus promesas son grandes, como el monitoreo de enfermedades crónicas. Este trabajo busca presentar el estado del arte de la ropa inteligente y sus aplicaciones médicas. A través de la investigación y el desarrollo científico-tecnológico en temas como la ciencia de materiales, es posible llegar a embeber sensores que ayuden al monitoreo médico. También se discuten factores importantes en el desarrollo de este nuevo *thing* en el *internet of things*, considerando los aspectos de seguridad informática y la forma en que estos ahora dispositivos tendrían que funcionar en una arquitectura moderna, como la nube.

PALABRAS CLAVE

Smart clothes • E-Textiles • Internet de las cosas (IoT) • Enfermedades crónicas



LAS SMART CLOTHES REFIEREN A ROPA CON COMPONENTES ELECTRÓNICOS EMBEBIDOS PARA LA RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS.

◆◆ ABSTRACT

Smart Clothes refer to clothes with electronic components embedded for data collection and processing. This concept comes with challenges to converge in real world applications, such as the energy requirements and the user experience factors, nevertheless, there are promising usages, as it is the monitoring of chronic diseases. This work has as purpose to present the state of the art of smart clothes and its medical applications. Through the scientific research and the technological development in fields like materials science, it is possible to embed sensors that help in health monitoring. Important factors in the development of this new Thing in the Internet of Things are discussed, considering information security and privacy aspects, as well as the way these new devices would have to operate in a modern architecture such as the cloud.

◆◆ KEYWORDS

Smart Clothes · E-Textiles · Internet of Things (IoT) · Chronic Diseases

Las enfermedades crónicas son difíciles de describir y categorizar correctamente, debido a las diferentes definiciones que les dan distintas organizaciones, como WHO (World Health Organization), CDC (Centers for Disease Control), etc. Para usos de este artículo, se definirán a las en-



fermedades crónicas como los malestares que no son fatales y se presentan de manera continua a lo largo de varios años, en esta categoría entran enfermedades cardiovasculares, asma, Parkinson, Alzheimer, etc. (Bernell, y Howard, 2016). Si bien estos padecimientos no son inmediatamente letales, pueden producir situaciones de riesgo o empeorar si no se toman medidas adecuadas, por lo mismo es importante destacar que estas dolencias causan el 71% de las muertes a nivel mundial; debido a esto, su detección y tratamiento temprano son importantes para que no se complique y resulte en una defunción (OMS, 2018).

A pesar de que por lo general ninguna de las enfermedades previamente mencionadas es letal a corto plazo; a mediano y largo sí tienden a cobrar la vida de aquellos individuos que las padecen. Además, el problema resulta aún peor debido a que la incidencia de la mayoría de estas enfermedades ha incrementado, ya sea por vejez o malos hábitos de la población. Es importante que aquellos que padecen de estas afecciones tengan su salud y hábitos constantemente monitoreados, para que las acciones médicas que se tomen con respecto a su condición sean más efectivas; no obstante, tradicionalmente tal monitoreo únicamente se realiza cada vez que hacen visita al hospital. Sin embargo, existe una alternativa menos tradicio-

Para usos de este artículo, se definirán a las enfermedades crónicas como los malestares que **no son fatales.**

Se presentan de manera continua a lo largo de varios años, en esta categoría entran enfermedades **cardiovasculares, asma, Parkinson, Alzheimer, etc.** (Bernell, y Howard, 2016).



Por lo mismo es importante destacar que estas dolencias causan el **71% de las muertes a nivel mundial.**



A pesar de que por lo general ninguna de las enfermedades previamente mencionadas es letal a corto plazo; a mediano y largo si tienden a cobrar la vida de aquellos individuos que las padecen.



Es importante que aquellos que padecen de estas afecciones, tengan su **salud y hábitos** constantemente **monitoreados.**

nal, con las prendas inteligentes que se han estado desarrollando, este monitoreo podría ser mucho más a menudo, con una medición de los signos vitales las 24 horas, y sin tener que acudir a un centro de salud. Asimismo, se podrían mejorar los tratamientos, al hacerlos más personalizados e incluso prevenir a las personas que, si bien no están enfermas, son propensas a desarrollar una enfermedad crónica (Fabrice *et al.*, 2005). Debido a los beneficios que traería esta tecnología, el siguiente artículo explicará el funcionamiento general de las llamadas *smart clothes* y, por consecuencia, de los *e-textiles*, para luego centrarse en los avances que se han tenido en el uso de esta tecnología para el monitoreo de enfermedades crónicas y su prevención.

◆ SMART CLOTHES

Los *e-textiles* refieren a toda la ropa que además de sus propiedades normales como prenda para vestir, tienen componentes electrónicos embebidos en su estructura. Estas vestimentas pueden ser inteligentes si a partir de sensores instalados en la misma tela, procesan la información obtenida, permitiendo que puedan actuar dependiendo de las condiciones externas, los *e-textiles* inteligentes caen en una subcategoría, denominada *smart-textiles* o *Smart Clothes*. Asimismo, existen textiles que son inteligentes debido a sus nanomateriales novedosos, como lo podría ser una tela reguladora térmica (Xiaopei y Li, 2019). Sin embargo, este último tipo de ropa inteligente no posee capacidades computacionales. En cuanto a la ropa inteligente basada en componentes electrónicos embebidos, ésta se puede clasificar por su grado de computación requerido, como lo detalla Postaloché *et al.* (2017), desde los más básicos, que sólo tienen sensores (*passive smart textiles*), pasando por aquellos que



EXISTE UNA ALTERNATIVA MENOS TRADICIONAL, CON LAS PRENDAS INTELIGENTES QUE SE HAN ESTADO DESARROLLANDO, ESTE MONITOREO PODRÍA SER MUCHO MÁS A MENUDO, CON UNA MEDICIÓN DE LOS SIGNOS VITALES LAS 24 HORAS, Y SIN TENER QUE ACUDIR A UN CENTRO DE SALUD.



LOS E-TEXTILES, REFIEREN A TODA LA ROPA QUE ADEMÁS DE SUS PROPIEDADES NORMALES COMO PRENDA PARA VESTIR, TIENEN COMPONENTES ELECTRÓNICOS EMBEBIDOS EN SU ESTRUCTURA.

pueden actuar dependiendo de los datos recabados (*active smart textiles*), hasta los que son capaces de adaptarse a las circunstancias del medio (*very smart textiles*).

Lo primero que se debe de hacer para implementar ropa inteligente, mediante textiles electrónicos, es encontrar la mejor forma de incluir circuitos en la tela, ya que el sólo meter cables entre la tela o PCB's enteros no resulta eficiente ni cómodo para el usuario que vista la prenda. Los dispositivos electrónicos tradicionales tienden a ser resistentes, pero no flexibles o viceversa; pero en esta nueva rama de la tecnología no se puede permitir ser uno u otro, sino ambos, ya que deben ser lo suficientemente cómodos para que sean usados como ropa normal y de uso diario, pero también deben ser lo suficientemente resistentes para soportar la tensión normal que se generará en la ropa al ser doblada, estirada o simplemente lavada, sin perder sus propiedades eléctricas, del que depende el aspecto inteligente. Es por eso, que se han diseñado diversos métodos que recurren a nanotecnología y a otros tipos de técnicas. Para solucionar esto, se ha innovado principalmente desde dos direcciones, en cada fibra de la tela se le añade el material conductor, los elementos pasivos y activos, logrando un circuito muy resistente y fiable, pero

cuya producción en masa tiende a ser costosa; por el otro lado, está la técnica de *screen printing*¹, con la que se obtienen láminas transpirables que contienen al circuito (Stoppa y Chioferio, 2014).

La última técnica descrita en el párrafo anterior resulta más efectiva para un proceso de producción a gran escala, ya que es un método antes utilizado con otros propósitos y por lo tanto la industria textil ya cuenta con dicha tecnología, además ayuda a aprovechar métodos novedosos en el sector de los e-textiles, como lo es el nano-generador triboeléctrico, que produce grandes cantidades de electricidad con la fricción de la tela o sensores capaces de producir un HMI *human machine interface* (Ran Cao *et al.*, 2019). El mayor problema por enfrentar es la durabilidad, ya que no está tan integrado a la tela como un circuito cuya estructura está embebida en las fibras; no obstante, esto se ha podido solucionar, al incluir encapsulamiento e imprimir específicamente en las áreas de menos rozamiento (Komolafe *et al.*, 2015). Asimismo, aunque intuitivamente podría parecer esta solución estorbosa, ya que se le añaden capas extra a la tela, se ha innovado para que las sustancias usadas sean flexibles y cómodas (Almusallem *et al.*, 2014).

¹ *Screen Printing* es una técnica de impresión en telas, donde un sustrato se impregna en un textil mediante presión constante y uniforme.



Los **e-textiles inteligentes** caen en una subcategoría, denominada smart-textiles o smart clothes.



En cuanto a la ropa inteligente basada en componentes electrónicos embebidos, ésta se puede clasificar por su grado de computación requerido, como lo detalla Postaloché *et al.* (2017).

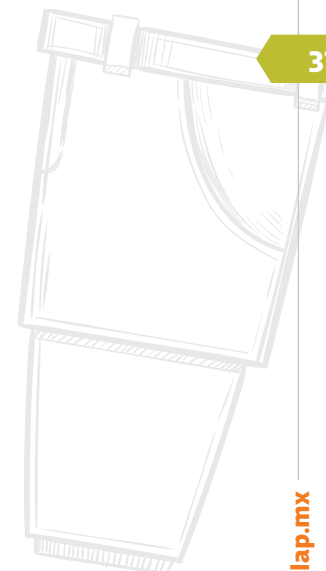


Lo primero que se debe hacer para implementar ropa inteligente, mediante textiles electrónicos, es encontrar la mejor forma de incluir circuitos en la tela, ya que el sólo meter cables entre la tela o PCB's enteros no resulta eficiente ni cómodo para el usuario que vista la prenda.

● Fuentes de energía y sensores

Para que un circuito eléctrico funcione es necesario que tenga una fuente de voltaje. Con los dispositivos electrónicos convencionales, esto no es un problema ya que se pueden incluir baterías o conexión a una fuente externa en el diseño sin dificultad. No obstante, para los *smart clothes* se complica la obtención de energía porque el espacio para almacenarla es limitado y resulta incómodo para el portador de la prenda; aun superando estos dos desafíos, como lo hicieron algunas compañías al implantar celdas de batería que son casi papel (Fabrice *et al.*, 2005); sigue resultando incómodo tener que cambiar las baterías constantemente a una prenda de uso diario o tener que recárgalas de alguna manera manual. Es por estas razones que se han ideado diversos sistemas a pequeña escala para generar voltaje de forma autónoma, a continuación, se detallan algunos de ellos.

Como se ya se mencionó previamente en la sección anterior, una invención nueva son los *triboelectric nanogenerator* (TENG) en los que se recolecta energía por medio del movimiento mecánico o al hacer fricción la tela con la piel, aprovechando principios de inducción electrostática, además de que se usa su estructura para también ser un sensor (Ran Cao *et al.*, 2018). Otro método interesante es aprovechar las señales de frecuencia de wifi, GSM 900 y DSC 1,800, que junto a antenas RF, podrían recolectar energía; un método que sólo haría uso de las redes inalámbricas que ya están disponibles en el aire y que con el tiempo se incrementarán (Loss *et al.*, 2016). De forma parecida también se ha utilizado *piezoelectric film*, material que reacciona al cambio de tensión mecánica en su estructura, éste en conjunto con tela adicionada con químicos que reaccionan para generar energía con la temperatura corporal y la del ambiente (Beeby *et al.*, 2018). Por último, Stoppa y Chio-



LOS DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS TRADICIONALES TIENDEN A SER RESISTENTES, PERO NO FLEXIBLES O VICEVERSA; PERO EN ESTA NUEVA RAMA DE LA TECNOLOGÍA NO SE PUEDE PERMITIR SER UNO U OTRO, SINO AMBOS, YA QUE DEBEN DE SER LO SUFICIENTEMENTE CÓMODOS PARA QUE SEAN USADOS COMO ROPA NORMAL Y DE USO DIARIO.

PARA QUE UN CIRCUITO ELÉCTRICO FUNCIONE ES NECESARIO QUE TENGA UNA FUENTE DE VOLTAJE.

lerio (2014) detallan métodos no tan eficientes pero que no sobra mencionar como lo es la micro combustión, celdas solares o las mismísimas baterías insertadas en la ropa.

Los sensores, al igual que los métodos para obtener energía, pueden ser tecnológicamente muy sofisticados o de igual manera rudimentarios. Ya que insertar componentes eléctricos a las telas no es tan difícil, el reto está en hacerlos durables, cómodos, flexibles y, aun así, muy eficientes (Postolache, Carvalho, Catarino y Postolache, 2017). Debido a esto, se tiende a evitar sensores tradicionales y se prefiere usar tecnologías que suelen aprovechar conceptos de las ciencias de materiales para maximizar su rendimiento. Uno de los sensores más básicos y que de hecho aprovechan la misma naturaleza del material en el cual se está implementando el circuito son los materiales resistivos/conductivos con los que se mide los cambios en el voltaje y corriente, así como los materiales piezoeléctricos, que, como se mencionó previamente, de estos últimos también se puede obtener una fuente de energía apta para injertarse en la ropa, especialmente cuando existe una tensión por parte del usuario contra la prenda o si ésta se rompe por alguna razón externa (choque, caída, disparo, etc.). No obstante, tiene la desventaja de que también sería susceptible al lavado de la prenda, que provocarían con el tiempo la pérdida de sus propiedades (Stoppa y Chiolerio, 2014).



De igual manera, existen otro tipo de sensores para mediciones especiales como lo son los de humedad, cuya limitación en la actualidad es principalmente su nivel de detalle, pues generalmente sólo hacen medidas de humedad relativa² arriba del 60%. Por otro lado, están los sensores de temperatura, que tradicionalmente se componen de elementos termo resistivos, los cuales tienden a mostrar comportamientos lineales en su resistividad en función de la temperatura, desgraciadamente éstos resultan incómodos de usar, es esa la razón por la que se ha investigado también sobre nanomateriales sensibles al calor, prometedores pero que tienden a verse afectados por agentes externos. Por último, están los sensores químicos, que tienden a ser un problema debido a su sensibilidad al ser lavados, ya que absorben las moléculas del entorno (Jidong Shi, 2019).

Además de los sensores básicos presentados en los dos párrafos anteriores, existen otros dirigidos más a medir parámetros para el monitoreo de personas en el área de la salud. Insertar electrodos en la tela, abre la posibilidad de obtener datos suficientes para generar un electrocardiograma (ECG), que ayuda a saber cómo es la actividad cardíaca de un paciente en un momento dado. Actualmente, la eficiencia de algunos de estos sistemas llega a más de 86%

² A la humedad relativa se le describe como la razón entre la presión parcial del vapor de agua y la presión equilibrio de ésta a una temperatura fija.

Una invención nueva son los **triboelectric nanogenerator (TENG)** en los que se recolecta energía por medio del movimiento mecánico o al hacer fricción la tela con la piel, aprovechando principios de inducción electrostática, además de que se usa su estructura para también ser un sensor (Ran Cao *et al.*, 2019).



Los **sensores**, al igual que los métodos para obtener energía, pueden ser tecnológicamente muy sofisticados o de igual manera rudimentarios.



Debido a esto, se tiende a evitar sensores tradicionales y se prefiere usar tecnologías que suelen aprovechar conceptos de las ciencias de materiales para maximizar su rendimiento.

(Wang, Chung, Lin y Lin, 2018). Tener esta medición en todo momento gracias a electrodos en la tela, llevaría a que se puedan atender con más eficiencia casos anormales que se detectan mediante ECG; como lo es el paro cardiorrespiratorio (Søndergaard *et al.*, 2019). Del mismo modo, se pueden acoplar otro tipo de sensores como lo son acelerómetros para medir la respiración del paciente (Huang, Lin y Lee, 2017), o sensores de actividad electrodermal que podrían ser de utilidad para estimar las emociones del usuario (Kansara y Chauhan, 2018).

La investigación centrada al monitoreo de un individuo es importante, ya que con ello se puede llegar a tener un análisis exacto de su situación de salud, lo cual en ciertas ocasiones es vital, por lo que la precisión de estos sistemas sería crucial si se logran producir en masa las smart clothes. Con ellas podrían prevenirse dificultades médicas de pacientes al ser atendidos tempranamente, con datos recolectados todo el tiempo, actuando al momento en que el individuo presenta anomalías. Algo común en el contenido de la mayoría de las investigaciones previamente citadas relacionadas a sensores es que cada una se dirige a enfermedades en específico, lo que ejemplifica su funcionamiento de manera correcta, ya sea esta una afección respiratoria, cardiovascular, o simplemente para atender a la gente mayor, o con el objetivo de darle un seguimiento estrecho en la fisioterapia de alguna lesión. Por lo tanto, para cada artículo relacionado a sensores se hace un modelo ajustado a su necesidad específica. Pero eso no significa que no se puedan acoplar diferentes sensores y mediante una apropiada interpretación de datos, dar un seguimiento a varias enfermedades, como lo son las crónicas; tal y como lo realizaron para medir el COPD (Chronic obstructive pulmonary disease) y CKD (Chronic kidney disease) en pacientes de los autores Bellos *et al.* (2010).



LA INVESTIGACIÓN CENTRADA AL MONITOREO DE UN INDIVIDUO ES IMPORTANTE, YA QUE CON ELLO SE PUEDE LLEGAR A TENER UN ANÁLISIS EXACTO DE SU SITUACIÓN DE SALUD, LO CUAL EN CIERTAS OCASIONES ES VITAL, POR LO QUE LA PRECISIÓN DE ESTOS SISTEMAS SERÍA CRUCIAL SI SE LOGRAN PRODUCIR EN MASA LAS SMART CLOTHES.

● Monitoreo de enfermedades crónicas

Los sensores y fuente de energía que se le pueden añadir a las prendas de vestir tradicionales, no son lo único que se necesita para que funcione adecuadamente un sistema de monitoreo para enfermedades, ya que se están tratando con afecciones de la salud, los datos analógicos que se recabaran por sí solos no servirán de nada, sin un análisis de la información y hasta de comunicación entre el *smart textile* y alguien del área médica que pueda intervenir si se presentan anomalías en los signos vitales del paciente (Frydrysiak y Tesiorowski, 2016). Debido a esto, la ropa inteligente para el monitoreo, también se le puede considerar un objeto del *internet of things*, ya que es necesario que la prenda tenga algún tipo de comunicación con otros aparatos, para que los datos recabados se almacenen en una nube y se interpreten ahí, o que éstos lleguen directamente a especialistas del área (Chiuchisan, Geman y Hagan, 2019).

En la información recabada por los sensores en las prendas inteligentes, es importante el

correcto manejo de los datos, para que las inferencias que se hagan con ella sean correctas y puedan prevenirse complicaciones médicas. Asimismo, es importante proteger la privacidad de los signos vitales que se obtendrían de los pacientes con tecnologías como éstas, pues existe el riesgo de que estos dispositivos sean vulnerados y con ello su intimidad sea violada por terceros. Por lo tanto, la nube encargada de conectarse a una *smart clothes* debe poder manejar los dos puntos anteriores. Chouvarda *et al.* (2014) implementaron un sistema para monitorear el COPD con la ayuda de *smart clothes* y atención médica personalizada; donde el procesamiento de todos los datos se hace en la nube y se tiene un procedimiento estandarizado que contempla a la privacidad de los datos de los pacientes.

Ahora bien, existe un intermediario entre los sensores y la nube, ésta es la unidad de procesamiento. Una propuesta de este intermediario la realizaron Ma, Chao y Tsai (2013) dirigiendo los datos a un celular externo a la prenda, teléfono que luego transmitiría la información al servidor, no obstante, ésta es una solución que no prevé la seguridad de la información que se transmite al teléfono y que, debido a la diferencia entre la gran variedad de celulares, vuelve difícil la tarea de obtener el mismo rendimiento para todos los pacientes. No obstante, debido al avance tecnológico, ya existen microcontroladores que se pueden comunicar inalámbricamente, como fue el caso de la investigación de Yang y Cheng (2019), que implementaron el procesamiento de los datos recabados a través de los sensores utilizando el chip STM32, con esto la prenda inteligente funciona autónomamente y sólo necesita comunicarse a la nube/computadora para almacenar y hacer uso de la información.

CONCLUSIONES

Todas las investigaciones previamente relacionadas, relacionadas a crear *smart clothes*, están centradas a mejorar o probar cierta tecnología

en específico, sin enfocarse en lo demás. Aunque por sí mismos, los avances en esta área son bastante satisfactorios, prometiendo un futuro donde exista una verdadera comercialización de prendas inteligentes para el monitoreo de enfermedades crónicas, es innegable que todavía falta una verdadera integración de todas las técnicas presentadas, para aprovechar lo mejor que tienen que ofrecer cada una de ellas; asimismo, sería adecuado que se hiciera una investigación que analizara la efectividad de las tecnologías combinadas en una muestra poblacional.

Los retos que enfrenta esta aplicación de las prendas inteligentes tienen soluciones que van desde innovar en la ciencia de materiales, la inserción de los circuitos en la tela, hasta respuestas más centradas en la electrónica y ciencias de la computación, con los sensores y la infraestructura necesaria para que se lleve a cabo la comunicación de los signos vitales de los pacientes a estudiar. No obstante, el obstáculo más importante es hacer viable estas posibles soluciones en un ámbito comercial, para generar productos que puedan llegar a todos en la sociedad y así se puedan evitar muertes gracias a la atención temprana.



Emilio Águila Escalante

Estudiante de sexto semestre de la Licenciatura en Ingeniería Mecatrónica en la Universidad de las Américas Puebla. Miembro del Programa de Honores de la Universidad. emilio.aguilae@udlap.mx



Víctor Armando Canales - Lima

Estudiante de sexto semestre de Ingeniería en Sistemas Computacionales en la Universidad de las Américas Puebla, miembro del Programa de Honores, en el proyecto de investigación para el desarrollo de una interfaz cerebro-computadora. victor.canalesla@udlap.mx

REFERENCIAS

- Almusallam, A., Yang, K., Zhu, D., Torah, R., Tudor, J. y Beeby, S. (2014) *Development of a low temperature PZT/polymer paste for screen printed flexible electronics applications*. SENSORS, 2014 IEEE, Valencia (pp. 2183-2186). Doi: 10.1109/ICSENS.2014.6985472
- Beeby, S. et al. (2018) *Functional Electronic Textiles: Circuit Integration and Energy Harvesting Power Supplies*. In Proceedings of the 2018 International Flexible Electronics Technology Conference (IFETC). Recuperado de: <https://ieeexplore-ieee-org.udlap.idm.oclc.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8583839&tag=1>
- Bellos, C., Papadopoulos, A., Fotiadis, D. I. y Rosso R. (2010). *An intelligent system for classification of patients suffering from chronic diseases*. 2010 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology, Buenos Aires, 2010, pp. 2890-2893. Doi: 10.1109/IEMBS.2010.5626314
- Bernell, S. y Howard, S. W. (2016). *Use Your Words Carefully: What Is a Chronic Disease?* Frontiers in public health, 4, 159. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2016.00159>
- Chiuchisan, I., Geman, O. y Hagan, M. (2019) *Wearable Sensors in Intelligent Clothing for Human Activity Monitoring*. 2019 International Conference on Sensing and Instrumentation in IoT Era (ISSI), Lisbon, Portugal (pp. 1-4). DOI: 10.1109/ISSI47111.2019.9043649
- Chouvarda, I. et al. (2014) *WELCOME Innovative integrated care platform using wearable sensing and smart cloud computing for COPD patients with Comorbidities*. 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Chicago, (pp. 3180-3183). DOI: 10.1109/EMBC.2014.6944298
- Fabrice Axisa, P. M. Schmitt, C. Gehin, G. Delhomme, E. McAdams y A. Dittmar (2005). *Flexible technologies and smart clothing for citizen medicine, home healthcare, and disease prevention*. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 9(3), 325-336. Recuperado de: <https://ieeexplore-ieee-org.udlap.idm.oclc.org/document/1504802>
- Frydrysiak, M. y Tesiorowski, L. (2016) *Health monitoring system for protecting elderly people*. 2016 International Multidisciplinary Conference on Computer and Energy Science (SpliTech), Split, pp. 1-6. DOI: 10.1109/SpliTech.2016.7555935
- Huang, C., Lin, W. y Lee, M. (2017). *Development and verification of an accelerometer-based respiratory detection algorithm with wearable instrumented smart clothes*. 2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), Banff, AB, (pp. 578-581). Doi: 10.1109/SMC.2017.8122668
- Jansen, K. M. B. (2019) *Smart textiles: how electronics merge into our clothing*, 2019 20th International Conference on Thermal, Mechanical and Multi-Physics Simulation and Experiments in Microelectronics and Microsystems (EuroSimE), Hannover, Germany (pp. 1-4). Recuperado de: <https://ieeexplore-ieee-org.udlap.idm.oclc.org/document/8724586>
- Jidong Shi et al. (2019) *Smart Textile-Integrated Microelectronic Systems for Wearable Applications*. Advanced Materials.
- Kansara, R. y Chauhan, J. (2018). *The Future of Smart Clothing: A Kit Designed to Detect Vital Health Parameters*. 2018 Second International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS), Madurai, India, (pp. 535-539). Doi: 10.1109/ICCONS.2018.8663027
- Komolafe, A.O., Torah, R.N., Yang, K., Tudor, J. y Beeby, S.P. (2015) *Durability of screen printed electrical interconnections on woven textiles*. In Proceedings of the 2015 IEEE 65th Electronic Components and Technology Conference (ECTC), San Diego, CA, EE. UU. (pp. 1142-1147).
- Loss, C., Gonçalves, R., Lopes, C., Salvado, R. y Pinho, P. (2016) *Textile antenna for RF energy harvesting fully embedded in clothing*. 2016 10th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Davos, pp. 1-4. Doi: 10.1109/EuCAP.2016.7481721
- Ma, Y., Chao, Y. y Tsai, T. (2013). *Smart-clothes Prototyping of a health monitoring platform*. 2013 IEEE Third International Conference on Consumer Electronics Berlin (ICCE-Berlin), Berlin (pp. 60-63). DOI: 10.1109/ICCE-Berlin.2013.6698063
- Organización Mundial de la Salud (2018). *NonCommunicable Diseases Key facts*. Recuperado de: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/noncommunicable-diseases>
- Postolache, G., Carvalho, H., Catarino, A., y Postolache, O. A. (2017). *Smart Clothes for Rehabilitation Context: Technical and Technological Issues*. Sensors for Everyday Life, 185.
- Ran Cao, Xianjie Pu, Xinyu Du, Wei Yang, Jiaona Wang, Hengyu Guo, Shuyu Zhao, Zuqing Yuan, Chi Zhang, Congju Li y Zhong Lin Wang (2018). *Screen-Printed Washable Electronic Textiles as Self-Powered Touch/Gesture Tribo-Sensors for Intelligent Human-Machine Interaction*. *ACS Nano* 2018, 12(6), 5190-5196. DOI: 10.1021/acsnano.8b02477
- Søndergaard, M. M., Nielsen, J. B., Mortensen, R. N., Gislason, G., Køber, L., Lippert, F., Graff, C., Haunsø, S., Svendsen, J. H., Kragholm, K. H., Pietersen, A. H., Lind, B. S., Hjortshøj, S. P., Holst, A. G., Struijk, J. J., Torp-Pedersen, C. y Hansen, S. M. (2019). *Associations between common ECG abnormalities and out-of-hospital cardiac arrest*. *Open heart*, 6(1), e000905. <https://doi.org/10.1136/openhrt-2018-000905>
- Stoppa, M. y Chiolerio A. (2014). *Wearable Electronics and Smart Textiles: A Critical Review*. 14(7), 11957-11992.
- Wang, Y., Chung, C., Lin, C. y Lin, C. (2018). *The Study of the Electrocardiography Monitoring for the Elderly Based on Smart Clothes*. 2018 Eighth International Conference on Information Science and Technology (ICIST), Cordoba (pp.478-482). Doi: 10.1109/ICIST.2018.8426159
- Xiaopei Wu, J. y Li, L. (2019). *An Introduction to Wearable Technology and Smart Textiles and Apparel: Terminology, Statistics, Evolution, and Challenges*. *Smart and Functional Soft Materials*. IntechOpen. Recuperado de: <https://www.intechopen.com/books/smart-and-functional-soft-materials/an-introduction-to-wearable-technology-and-smart-textiles-and-apparel-terminology-statistics-evoluti>
- Yang, M. y Cheng, J. (2019). *Research and Development of Smart Health Monitoring Clothing System*. 2018 37th Chinese Control Conference (CCC), Wuhan (pp. 8231- 8234). DOI: 10.23919/ChiCC.2018.8483772