

TECNOLOGIA VESTIBLE: COMBINANT DISSENY, ART I TECNOLOGIA

Oriol Boix i Ingrid Munné

Departament d'Enginyeria Elèctrica. Universitat Politècnica de Catalunya

Resum: Entenem per *tecnologia vestible* o *teixits intel·ligents (e-textiles)* la incorporació de microcontroladors i elements tecnològics a la roba. Les activitats basades en teixits intel·ligents ens permeten acostar la tecnologia a aquelles persones que no se senten atretes per la robòtica o la programació.

Es pot començar fent elements vestibles senzills que no requereixen programació i anar evolucionant cap a aplicacions més complicades que incloguin altres elements, com LED que poden canviar de color (coneguts com a LED adreçables), sensors i altres elements. Fins ara el llenguatge de programació dels microcontroladors (típicament el C++ d'Arduino) suposava una dificultat afegida. Des de fa poc temps, la programació en MakeCode (un llenguatge gràfic) o en CircuitPython (un llenguatge textual però més assequible) permeten un aprenentatge més ràpid i eliminen les esperes mentre es compila el programa.

La tecnologia vestible pot ser, ras i curt, una bona manera d'engrescar el jove cap a la tecnologia, l'enginyeria i la informàtica. Bona part de les aplicacions vestibles que es realitzen actualment tenen una orientació visual o artística, però també n'hi ha que van encaminades a solucionar problemes concrets de les persones (detectar caigudes, ajudar a les persones que van d'excursió monitorant el seu recorregut o indicant-los el nord, etc.).

Paraules clau: microcontroladors, programació, tecnologia vestible, STEM, STEAM, ensenyament secundari, arts, enginyeria.

WEARABLE TECHNOLOGY: COMBINING DESIGN, ART AND TECHNOLOGY

Abstract: We define *wearable technology* or *e-textiles* as the integration of microcontrollers and technological elements into clothing. Wearable technology allows us to bring technology closer to people who are not attracted by robotics or programming.

To start working on wearable technology projects, one may begin with those that do not require programming and then move on to more complex applications. Such applications could include other elements, such as color-changing LEDs, as well as sensors and other items. Until recently, the programming language used for microcontrollers (typically C++ for Arduino) was an added difficulty. Now, however, coding based on other programming languages or interfaces like MakeCode (a graphic language) or CircuitPython (a more intuitive and accessible programming language) shorten the learning curve for students and eliminate waiting times while the program is being compiled.

In conclusion, wearable technology can be an excellent way to get young people involved in technology, engineering and computer science. Many of the current wearable applications have a visual or artistic slant but others are addressed to solving people's specific problems, such as detecting falls, monitoring hikers' paths, showing where the north lies, etc.

Keywords: microcontrollers, programming, wearable technology, STEM, STEAM, secondary education, arts, engineering.

Introducció

Vivim envoltats de tecnologia i la previsió és que en un futur proper la seva presència encara augmenti més. Els experts ens diuen que hem d'acostumar els infants, des de ben petits, a la tecnologia; però no només com a mers usuaris passius, sinó també de manera activa, per tal que siguin capaços de comprendre-la i, si ho desitgen, participar del seu desenvolupament. D'aquesta manera es poden convertir en agents per al canvi, innovant i millorant solucions ja existents però, sobretot, cal que siguin capaços d'entendre-la i fer-la servir amb responsabilitat.

D'altra banda, els estudis i professions lligats a les branques de la ciència, la tecnologia, l'enginyeria i les matemàtiques (STEM, de l'anglès *science, technology, engineering and mathematics*) tenen menys demanda del que seria convenient en la societat actual i hi ha professions en les quals falten titulats en molts països occidentals. En els estudis i professions STEM es constata, a més, que el percentatge de dones és significativament inferior al 50% que, per proporció dels gèneres, li correspondria. En una publicació de l'any 2009 (Peiró, 2009) s'indicava que el percentatge general de dones en estudis universitaris era del 54%, mentre que en els estudis tècnics que imparteix la Univer-

sitat Politècnica de Catalunya (UPC) la proporció de dones era només del 27%. Però aquests nombres són quasi els mateixos en una publicació actualitzada l'any 2016 (Madrid, 2007). En aquestes mateixes publicacions s'apunta com una de les principals causes la manca de referents femenins en els camps de l'enginyeria.

Moltes vegades el problema rau en el fet que, des de primària, els llibres de text mostren referents masculins i n'invisibilitzen els femenins, amb la qual cosa es crea el miratge que no hi ha dones en ciència i tecnologia. Com es mostra a Vivas *et al.* (2018), els llibres d'informàtica i tecnologia d'educació secundària obligatòria només tenen dos referents femenins, en contraposició amb els dos-cents trenta-sis de masculins. La realitat és, però, que sí que hi ha dones presents en les diferents branques de la ciència i la tecnologia, i cada cop hi ha més llocs on trobar-ne informació. A tall d'exemple, podem trobar un recull de dones de ciència i tecnologia a Salán (2017) o informació sobre més de noranta dones inventores a Uve (2018). A Boix (s. a.) podem trobar indexades les dades de més de sis-centes dones que han tingut un paper rellevant en ciència o tecnologia i també podem descarregar una aplicació mòbil Android que ens permet consultar-les interactivament.

Com comenta la professora i formadora Sílvia Zurita en l'entrevista que es recull a Escolán (2017), calen activitats per als infants que permetin «trencar el prejudici que l'enginyeria i la ciència són camps aptes només per a persones molt intel·ligents», així com sobre la importància que té «aprendre a partir de l'error i eliminar, en conseqüència, la creença que equivocar-se és terrible» i introduir activitats en les quals les coses no surtin a la primera i calgui tornar «a provar, corregir, innovar...».

Hi ha força iniciatives per acostar, entre altres, la robòtica i la programació als infants, ja sigui amb activitats a l'aula (dins i fora del currículum) com mitjançant activitats extraescolars. També tenim competicions com RoboCup-Junior, First Lego League i altres concursos de robots (Nin, 2018) però, tot i així, ens trobem que molts infants no estan especialment interessats en la robòtica o la programació.

En aquest article volem posar de manifest el fet que la tecnologia vestible pot ser una bona manera d'atraure cap a la tecnologia aquells infants que no se senten atrets per la programació i la robòtica tal com estan plantejades actualment. A més a més, la tecnologia vestible permet combinar la part més creativa i artística dels infants amb la part més metòdica de la programació, i té aplicacions innovadores que contribueixen al benestar de la societat. És important tenir present que cal una motivació molt diferent per fer un programa d'ordinador que per fer un programa per a un microcontrolador, i que hi ha infants i joves que s'engrescaran més fàcilment amb una activitat i altres que s'engrescaran més amb l'altra.

Què anomenem tecnologia vestible?

El terme *tecnologia vestible* es fa servir actualment amb dos significats molt diferents. El que bona part de la població pensa quan sent parlar de *tecnologia vestible* és en una sèrie de dispositius força sofisticats i tecnològicament avançats que estan dissenyats per ser portats al damunt durant activitats d'oci o esportives. Dins d'aquesta categoria són molt conegudes les ulleres de Google, els rellotges d'Apple o un seguit de dispositius que monitoren l'activitat física. En aquest article no ens referim a això.

La tecnologia vestible també fa referència a elements i dispositius (microcontroladors, LED, sensors) relativament senzills i econòmics que es poden incorporar a la roba i als complements, i que, en principi, poden ser muntats i programats pel mateix usuari. Aquesta vessant de la tecnologia vestible va orientada més a camps com la moda (per exemple, els vestits de la Ying Gao —Gao, s. a.— o la Chelsea Klukas —Klukas, s. a.), l'art (com la roba d'alguns espectacles dels Brodas Bros) i la vessant d'utilitat personal i social (més endavant en comentarem alguns projectes). Paola Guimeráns (2017) ha estudiat com la tecnologia vestible es combina amb les arts visuals i permet que els artistes s'interessin per la tecnologia. Sovint també s'anomenen *teixits intel·ligents* les aplicacions fetes amb aquesta tecnologia. Ara que els experts (Amor, 2018) ens diuen que hem d'anar de l'STEM a l'STEAM, o sigui, afegir les arts (representades per la lletra A) a les altres quatre disciplines, la tecnologia vestible pot ser una bona manera de combinar la tecnologia amb la moda, les arts visuals i les arts escèniques.

Per aconseguir la funcionalitat desitjada, normalment cal un microcontrolador, uns elements d'entrada (polsadors, sensors) i uns elements de sortida (LED,¹ bronzidors, etc.), i cal posar atenció al plantejament, el disseny i les connexions, sense els quals no serà possible fer la funció desitjada. A més, els programes dels microcontroladors per a aquestes aplicacions són relativament senzills (comparats amb els programes que es fan servir en les activitats de programació informàtica o en control de robots) i això facilita tenir uns elements funcionals en poc temps. D'altra banda, és fàcil anar pensant millores per als programes i, per tant, costa considerar definitiu el disseny realitzat. L'aprenentatge i la dificultat són incrementals, de manera que permeten fer gaudir a qui les desenvolupa, seguint el seu propi ritme d'aprenentatge.

Considerem, doncs, que la tecnologia vestible no només permet combinar tecnologia, programació i disseny sinó que, a més, és una molt bona porta d'entrada cap al *fes-ho tu mateix/a*, també conegut com a DIY (de l'anglès, *do it yourself*), i el *moviment fem-ho* (en anglès, *maker movement*).

1. Els LED són díodes emissors de llum (en anglès, *light-emitting diodes*).

Breu història de la tecnologia vestible en el marc del moviment fem-ho

En les dècades de 1970 i 1980 l'electrònica es va fer molt popular entre persones aficionades a construir objectes tecnològics (llavors encara no se'ls anomenava *makers*). Quan els transistors van tenir un preu assequible i van envair el món de l'electrònica, va ser relativament fàcil fer circuits i van aparèixer al mercat llibrets d'electrònica per a aficionats i radioaficionats, així com multitud de conjunts amb el material necessari per muntar aparells concrets com amplificadors, reguladors de llum, fonts d'alimentació, etc. Aquí va començar el «fes-ho tu mateix/a» aplicat a l'electrònica.

Cap a finals de la dècada de 1980 la tecnologia de muntatge superficial va propiciar un abaratiment de l'electrònica de consum però, en canvi, va complicar la reparació d'aparells i va accentuar molt la diferència de mides entre els dispositius de construcció manual i els creats amb fabricació automatitzada. Com a conseqüència de tot això, el «fes-ho tu mateix/a» en electrònica va decaure molt significativament.

Paral·lelament, als inicis de la dècada de 1980 van aparèixer els petits ordinadors personals (Oric, Spectrum, Commodore, etc.). Gràcies a ells, tota una generació va aprendre a programar. Però en les dècades següents els ordinadors de taula d'ús general (PC i Mac, principalment) van portar a l'ús dels programes comercials i quasi va fer desaparèixer el «programa-ho tu mateix/a».

L'any 2005 va aparèixer Arduino i ho va revolucionar tot. Arduino és una plataforma de microcontroladors que segueix el concepte de maquinari lliure (és a dir, que el disseny de les plaques està publicat) que permet fer, de manera senzilla i econòmica, tota mena de projectes amb base electrònica. Des de l'aparició d'Arduino, ha ressorgit el «fes-ho tu mateix/a», però ara no amb electrònica clàssica sinó amb electrònica programada i, per tant, també el «programa-ho tu mateix/a».

En aquestes circumstàncies, els primers microcontroladors per a tecnologia vestible van ser creats per Leah Buechley en el marc de la seva tesi doctoral (Buechley, 2007). A partir d'aquests dispositius es va llançar al mercat la sèrie de microcontroladors LilyPad Arduino i la família de dispositius LilyPad (LED, sensors, accessoris) comercialitzats per SparkFun Electronics.

Els microcontroladors i dispositius per a tecnologia vestible no són iguals als que es fan servir en altres aplicacions. Les plaques sobre les quals van muntats els components (figura 4) acostumen a ser circulars o amb els costats arrodonits per evitar que la placa pugui foradar el teixit i dificultar que es trenquin mentre la roba es porta posada. Una altra característica important és que els punts de connexió són uns forats relativament grans amb una zona metal·litzada al seu voltant perquè així s'assegura un bon contacte del fil de cosir conductor.

D'altra banda, Limor Fried (coneguda com a Lady Ada) va fundar, l'any 2005, l'empresa Adafruit Industries. Aquesta empresa va desenvolupar les plaques Flora, que incor-

poraven un microcontrolador sobre un suport adequat per fer aplicacions vestibles que es van començar a vendre a principis de 2012. A partir d'aquest moment, l'empresa va entrar amb força al món de la tecnologia vestible. Al cap de poc va crear una divisió (que llavors dirigia Becky Stern) dedicada específicament a aquesta temàtica i va començar a treure al mercat dispositius per a tecnologia vestible. Actualment és l'empresa líder en aquest sector.

En la darrera dècada, nombroses dissenyadores han incorporat aquesta tecnologia a les seves creacions, per exemple: Sally Byers, Ying Gao, Mikaela Holmes, Chelsea Klukas, Flavia Rose, Rachel Sadd, Erin St Blaine o Amy Winters. Algunes *makers* conegudes destaquen també en aquest àmbit, com Becky Stern, Sophy Wong o Naomi Wu. El fet que hi hagi tantes dones facilita que les noies puguin trobar-hi referents. D'altra banda, hi ha algun grup de dansa que també fa servir aquesta tecnologia, com els Brodas Bros o els iLuminate. Des de fa uns anys hi ha algunes empreses dedicades a fer peces de vestuari que incorporen LED, com, per exemple, LED Clothing Studio Inc. (coneguda perquè la cantant Rihanna ha lluit algun dels seus vestits), que és la que fa els vestits dels iLuminate.

Primeres creacions vestibles

Si mirem productes tèxtils intel·ligents que trobem al mercat o a la Xarxa, ens podem fixar en coses senzilles, com un jersei amb LED, o coses complicades, com el cinturó per a embarassades que monitorea els moviments del fetus (Leigh, 2018). En les nostres primeres creacions no hem d'intentar imitar coses sofisticades sinó conformar-nos amb coses senzilles. L'objectiu és aprendre i engrescar els infants. Si comencem amb coses complicades, correm el risc de fracassar i el resultat no serà motivador sinó tot el contrari.

Per començar, doncs, posem uns LED en alguna peça de roba. No cal que facin res especial, només que s'encenguin. Si escollim un lloc per posar-los que quedi bé podrem tenir una peça de roba que cridi l'atenció. Ja hi ha al mercat jerses o sabatilles amb LED, però no és el mateix si es pot dir que ho ha fet un mateix. Per exemple, a Dupriest (2016) la Dawn Dupriest ens presenta un jersei que incorpora LED i ens explica com l'ha fet. També podem posar els LED en una bossa o un peluix. Un projecte així és adequat a quasi totes les edats però com més petit sigui l'infant més ajuda necessitarà. Gairebé no calen coneixements tecnològics, només cal saber coses molt bàsiques com que el pol positiu dels LED s'ha de connectar amb el pol positiu de la pila. És probable que algun familiar pugui ensenyar a cosir als infants i participar en aquesta activitat.

Els materials necessaris per encendre uns LED muntats sobre roba són només un portapiles, una pila botó, uns LED adequats per ser cosits (figura 1) del color desitjat i una bobina de fil de cosir elèctric (figura 2). El fil de cosir elèctric és el que substitueix els cables que hi hauria en un circuit elèctric convencional. A primer cop d'ull sembla fil de cosir normal però alguns dels filets que té trenats són

d'acer, per tal que pugui ser conductor. Aquest fil és més rígid que el fil de cosir.

Per assegurar-nos que tenim clar com muntar el circuit podem fer proves amb uns cables apropiats abans de cosir-lo a la roba. Per a aquesta finalitat són molt adequats uns cables amb pinces als extrems, com els que es mostren a la figura 3. Aquests cables ens podran servir per provar qualsevol altre circuit abans de cosir-lo en el seu format definitiu.

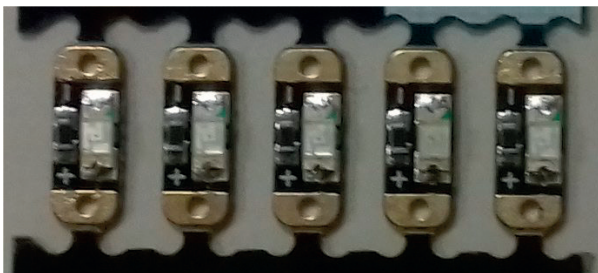


FIGURA 1. Paquet de cinc LED adequats per ser cosits.
FONT: Catàleg web d'Adafruit (<https://www.adafruit.com/product/1757>).

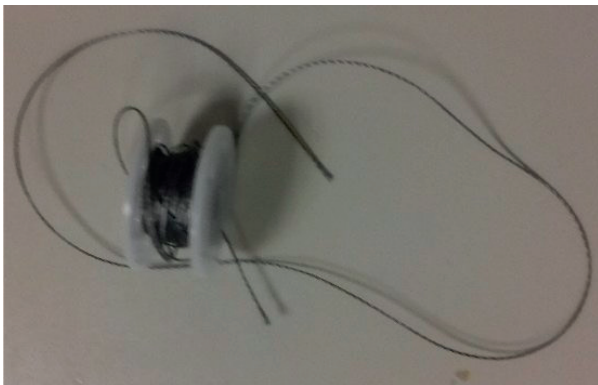


FIGURA 2. Fil de cosir elèctric.
FONT: Catàleg web d'Adafruit (<https://www.adafruit.com/product/641>).



FIGURA 3. Cables de prova.
FONT: Catàleg web d'Adafruit (<https://www.adafruit.com/product/1592>).

Si es desitja, s'hi poden afegir interruptors i polsadors (hi ha alguns models dissenyats també per ser cosits) que ens permetran encendre els LED quan ho considerem oportú.

LED que s'encenen i s'apaguen

Posar uns LED a la roba és una bona manera d'introduir-se en la tecnologia vestible, però els resultats són molt estàtics. Al cap d'un temps és probable que les persones que s'han introduït en aquest món tinguin ganes de fer algunes seqüències amb els LED, fer-los canviar de color o afegir-hi algun altre efecte. També és probable que els vinguin ganes de fer que l'estat dels LED depengui de la lectura d'algun sensor. Totes aquestes coses requereixen l'ús d'un microcontrolador, que s'haurà de programar.

D'entrada, haver de programar pot espantar aquelles persones que no hagin programat mai. Si volem entrar a poc a poc, tenim la possibilitat d'introduir microcontroladors sense haver-los de programar. Dins de la gran família de microcontroladors dissenyats per a tecnologia vestible n'hi ha dos, el LilyTwinkle i el LilyTiny, que ja venen amb un programa bàsic que pot ser suficient per a algunes aplicacions. Aquest programa fa que els LED que es connectin a les quatre sortides disponibles pampalluguegin a ritmes diferents, que no són els mateixos per als dos microcontroladors. No és necessari fer servir totes les sortides, només cal agafar aquelles que tinguin un efecte que ens interressi. A la placa LilyTwinkle els quatre LED es van encenent i apagant suaument, però cada un pel seu costat, de manera aleatòria. A la placa LilyTiny tenim quatre efectes, de manera que un LED s'encén i s'apaga suaument, un altre fa un parpelleig que imita els batecs del cor, un tercer s'encén i s'apaga intermitentment i el darrer parpelleja a un ritme aleatori. Si ho considerem convenient, sempre podem gravar un nou programa en aquests microcontroladors i prescindir del que porten de fàbrica. Fent servir aquests dispositius podem, per exemple, dibuixar una constel·lació posant un LED a cada estel i que vagin pampalluguejant (Feldi, 2017).

Si posem elements electrònics fixats a peces de roba aviat ens sorgirà un dubte. Quan la roba estigui bruta ens preguntarem si es pot rentar. Molts dels elements electrònics que es fan servir per a tecnologia vestible es poden rentar si prenem la precaució de treure'n abans les piles o bateries. Convé consultar les especificacions de cada element per estar segur de si es pot rentar o no, i fer-ho a mà i amb un detergent suau. Després s'ha de deixar assecar a l'aire i és molt important que estigui eixut del tot abans de tornar a connectar l'alimentació elèctrica.

Comencem amb els microcontroladors programats

Les opcions de què disposem sense haver de programar són poques; de manera que, tard o d'hora, decidirem fer

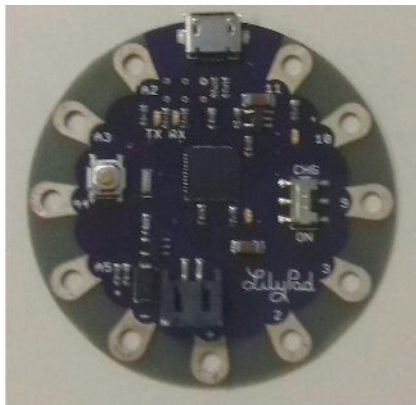


FIGURA 4. Placa LilyPad Arduino USB.
 FONT: Catàleg web d'SparkFun (<https://www.sparkfun.com/products/12049>).

alguna cosa que necessiti programar un microcontrolador. Si coneixem Arduino, és probable que ens acabem decantant per algun dels microcontroladors de la família LilyPad (figura 4).

Un avantatge molt gran de la programació amb l'entorn Arduino és que podem trobar biblioteques amb funcions per als diferents elements (LED, sensors, etc.) que hàgim de fer servir. D'aquesta manera, només ens cal triar la funció que ens convé per a cada element i donar-li els paràmetres que s'escaiguin.

A part dels microcontroladors de la família LilyPad, tenim altres opcions, entre les quals destaquen les plaques Gemma i Flora d'Adafruit; la primera, amb tres punts d'entrada i sortida, i la segona, amb vuit. Aquestes dues plaques es programen també amb l'entorn Arduino i permeten moltes funcionalitats. Però, per una mica més de cost, tenim també la placa Circuit Playground Classic que, a més del microcontrolador, incorpora dos pulsadors, un interruptor, deu LED RGB adreçables, quatre sensors i una sortida de so; suficient per a molts projectes i per fer tallers d'iniciació. I un detall interessant: els vuit punts d'entrada i de sortida de la placa Circuit Playground Classic poden funcionar com a entrades tàctils i, per tant, la interacció de l'usuari pot ser només tocant la pota o un element conductor connectat a aquesta i ens estalviem els pulsadors. Les entrades tàctils ens poden servir, per exemple, per fer uns pantalons que ens permetin jugar al Simon² (figura 5).

Un cop ens hem decidit a programar un microcontrolador se'ns obre un món de possibilitats. La primera que cal comentar és l'ús de LED RGB adreçables. Aquests LED són, en realitat, tres LED molt petits sobre un mateix suport i que fan llum dels tres colors bàsics: vermell, verd i blau. Diem que són adreçables perquè en el mateix suport

2. El Simon és un joc electrònic que es va fer popular a la dècada de 1980 i que consistia a recordar una seqüència de colors que s'anava fent cada cop més llarga. El sistema mostra, a cada tirada, una seqüència de colors (escollits entre el vermell, el groc, el verd i el blau) i l'usuari l'ha de recordar i activar en el mateix ordre els pulsadors corresponents.



FIGURA 5. Pantalons per jugar al Simon dissenyats per estudiants del grau en tecnologies industrials. En la fotografia s'han encerclat les cinc zones tàctils.
 FONT: Arxiu dels autors.

hi va també un petit microcontrolador que ajusta la intensitat de cadascun dels LED. Jugant amb la intensitat de cada un dels tres colors bàsics podem aconseguir fer llum de qualsevol color. Per exemple, combinant vermell i verd a parts iguals obtenim groc, i barrejant un 75% de vermell, un 50% de verd i un 25% de blau obtenim un color marró. Aquests LED, a més, es poden encadenar de tal manera que podem controlar individualment el color de centenars de LED fent servir només una o dues potes del nostre microcontrolador. Bàsicament hi ha dues famílies de LED RGB adreçables: la NeoPixel, que fa servir només una pota de control, i la DotStar, que en fa servir dues. Es fabriquen en molts formats diferents: LED individuals, matrius quadrades o rectangulars, anells, tires, etc.

Amb els LED adreçables podem posar LED de colors a vestits, bosses, sabatilles, diademes, etc. A Bia! (2018) podem veure un vestit que incorpora NeoPixel que poden fer onze efectes diferents de llum i color, i a la figura 6, un tutú amb més de dos-cents NeoPixel que fan seqüències de colors que canvien segons els moviments de la ballarina.

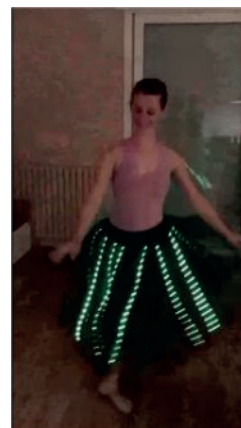


FIGURA 6. Tutú amb NeoPixel creat per l'Olga, una estudiant del grau en tecnologies industrials.
 FONT: Arxiu dels autors.

Programació més fàcil amb CircuitPython i MakeCode

Tots els microcontroladors LilyPad i els que comercialitza Adafruit es programen en una variant del llenguatge C++ fent servir l'entorn Arduino. La programació de microcontroladors amb l'entorn Arduino no és fàcil per a les persones que no hi tenen una certa pràctica. A part d'això, un cop tenim el programa l'hem de compilar i enviar a la placa, i això requereix uns quants minuts. Convé tenir present, a més, que molts dels errors apareixen quan el programa ja porta una bona estona compilant. Des de fa alguns anys hi ha l'alternativa de programar en variants de Python, que és un llenguatge interpretat i no compilat. El primer microcontrolador que es va programar en MicroPython fou el Micro:bit, que no és un microcontrolador pensat per ser vestible. Més tard, Adafruit va començar a treure al mercat una família de plaques que es programen en CircuitPython, una altra variant de Python.

En tecnologia vestible tenim, de moment, dues plaques que es programen en CircuitPython. La més senzilla és la Gemma M0, que té tres punts d'entrada i de sortida; però la més potent és la placa Circuit Playground Express (figura 7), que incorpora vuit punts d'entrada i de sortida, dels quals set poden funcionar com a entrades tàctils, i també porta deu LED adreçables NeoPixel, un sensor de llum, un sensor de temperatura, un sensor d'acceleració, un sensor de so, un altaveu, dos polsadors, un interruptor, un emissor d'infraroig i un receptor d'infraroig; de manera que permet fer infinitat de pràctiques i projectes sense fer servir elements addicionals, i per només uns 27 €.

Un programa en CircuitPython no només és més senzill i compacte que un desenvolupat en l'entorn Arduino, sinó que afegeix un clar avantatge si es fa servir per aprendre. Quan un d'aquests microcontroladors es connecta a l'ordinador, és detectat com si fos un llapis de memòria o un disc extern. Quan s'hi guarda el programa escrit en CircuitPython, aquest és executat immediatament. Això permet anar molt més ràpid quan es fan proves o programes

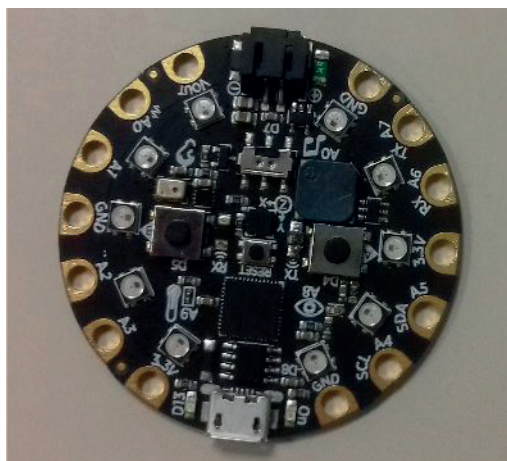


FIGURA 7. Placa Circuit Playground Express.
FONT: Catàleg web d'Adafruit (<https://www.adafruit.com/product/3333>).

d'aprenentatge, ja que les errades es detecten molt de pressa. La programació en CircuitPython es fa habitualment emprant l'entorn Mu, que, a més de permetre escriure i enviar el programa al microcontrolador, també ens fa alguns diagnòstics bàsics de sintaxi. L'editor Mu incorpora un canal de comunicació entre el microcontrolador i l'ordinador que és molt adequat per depurar el programa i definir els llindars més adients per als sensors. Una darrera funcionalitat de l'entorn Mu és que ens permet dibuixar gràficament com van canviant els valors d'una variable, per exemple, la lectura d'un sensor, que li anem enviant des del microcontrolador.

La placa Circuit Playground Express també es pot programar amb l'entorn Microsoft MakeCode, que fa servir un llenguatge gràfic (figura 8) d'aspecte similar a l'Scratch i que pot ser una manera molt bona de començar, especialment amb alumnes de primària.

Una altra de les particularitats de la placa Circuit Playground Express és que es pot fer que es comporti com un teclat, de manera que la placa envii l'equivalent a la pulsació d'una tecla quan succeeix un determinat esdeveniment. Això és útil, entre altres moltes coses, per fer comandaments per a jocs. La majoria de jocs d'ordinador es poden controlar fent servir unes quantes tecles i, per tant, podem utilitzar les entrades i els sensors de la placa per fer-ho. A Wong (2019), la creadora Sophy Wong explica com ha fet un vestit d'ocell que serveix de comandament per jugar al Flappy Bird. En aquest joc es veu un ocell que va volant a la pantalla i la barra espaciadora serveix per fer que s'elevi. En la versió que comentem, el moviment de les ales del vestit es converteix en pulsacions de la barra que es transmeten a l'ordinador en el qual s'executa el joc i que, per tant, també fan l'efecte d'elevat l'ocell.

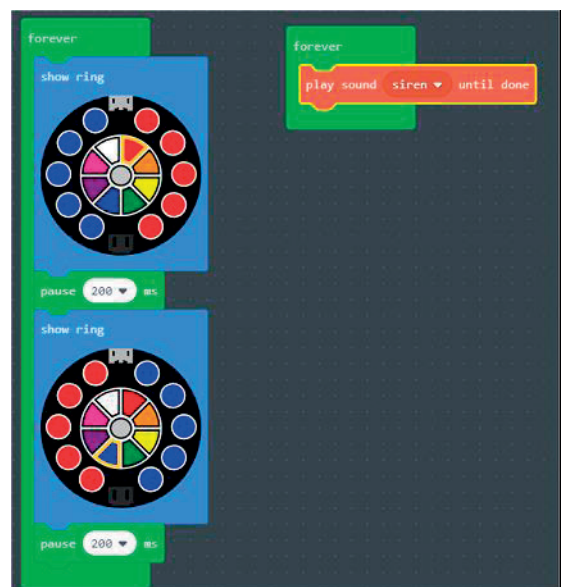


FIGURA 8. Exemple de programa en Microsoft MakeCode.
FONT: Axiu dels autors..

Fibra òptica i materials electroluminescents

Es poden aconseguir resultats molt espectaculars fent servir fibra òptica. Si agafem una fibra d'ús habitual i hi fem entrar llum per un extrem, veurem que s'il·lumina l'altre extrem. Si la fibra és transparent també surt llum en els punts on aquesta es doblega i això dona un interessant efecte visual. A Interwoven Design Studio (s. a.) podem veure un tutú que aprofita aquesta peculiaritat.

En molts casos és més interessant la fibra òptica d'emissió lateral (menys coneguda), que emet llum per tot el voltant de la fibra i també per l'extrem. D'aquesta manera s'aconsegueix un efecte de llum difusa combinat amb punts de llum als extrems de les fibres. A St Blaine (s. a.) podem veure una faldilla amb aquest tipus de fibra.

Els materials electroluminescents (EL), en forma de fils, cintes o plaques, també ens permeten obtenir efectes espectaculars; com en el cas de la jaqueta i el casc que podem veure a Shah (s. a.). Tenen l'inconvenient que treballen en corrent altern de tensió relativament alta (uns cent volts) i això implica que cal disposar d'un ondulador per obtenir aquest corrent altern i que cal anar amb compte, ja que aquest nivell de tensió no permet la manipulació amb l'alimentació connectada. Per a les aplicacions més senzilles es poden fer servir portapiles que incorporen l'ondulador però, en aquest cas, només podem encendre i apagar l'EL fent servir l'interruptor del portapiles. Hi ha plaques programables que permeten crear efectes, però no és senzill vincular, per exemple, el comportament de l'EL a les mesures d'un sensor.

Botons i altres elements tèxtils

Els botons per cosir, si són metàl·lics (figura 9), es poden fer servir com a interruptors. També podem fer servir fils, cintes i teixits conductors per fer connexions i com a superfícies tàctils. Podem trobar també veta adherent (registrar amb el nom *velcro*) feta amb material conductor.



FIGURA 9. Botó de pressió.
FONT: Catàleg web d'Adafruit (<https://www.adafruit.com/product/1126>).

D'altra banda, muntant dues peces de teixit conductor de manera que només es toquin quan es fa una certa pressió sobre una d'elles, podem fer polsadors de roba que permetran, per exemple, que un peluix emeti sons quan se li prem la panxa. Basant-se en polsadors de roba, es pot fer un pijama (Glover, s. a.) que avisi si el nadó es gira de bocaterrosa i permetre, així, prevenir la mort sobtada.

Tota mena de sensors

Hi ha una bona quantitat de sensors i altres elements per connectar a les entrades dels microcontroladors vestibles. Ara en presentarem uns quants i en comentarem alguns exemples d'aplicació.

Amb un sensor d'inclinació podem fer que els ulls LED d'un peluix s'encenguin quan està dret i s'apaguin quan està ajagut. Podem fer servir un sensor de temperatura per canviar el color d'uns LED segons si fa fred o calor.

Els sensors d'estirament i de flexió ens poden ser útils si volem que passi alguna cosa concreta quan, per exemple, s'estira o s'arronsa un braç. Els primers (figura 10) es basen en una goma de material relativament conductor en el qual la conductivitat varia quan s'estira. Els segons (figura 11) tenen una sèrie d'elements separats per un material poc conductor, de manera que la resistència augmenta quan els segments s'allunyen l'un de l'altre.

Un sensor de llum ens pot permetre que els llums de posició d'una jaqueta per a ciclistes (figura 12) s'encenguin automàticament quan es fa fosc. A la mateixa jaqueta hi podem posar un sensor d'acceleració que faci encendre els llums de fre quan es detecta una disminució brusca de velocitat.

Un sensor de camp magnètic ens pot servir per convertir un anell de LED en una brúixola (figura 13) i un sensor d'acceleració ens permet detectar la verticalitat, però també els xocs i les caigudes. Un sensor de color pot ser útil, per exemple, per fer un guant (figura 14) que permeti a les persones amb daltonisme conèixer el color dels objectes

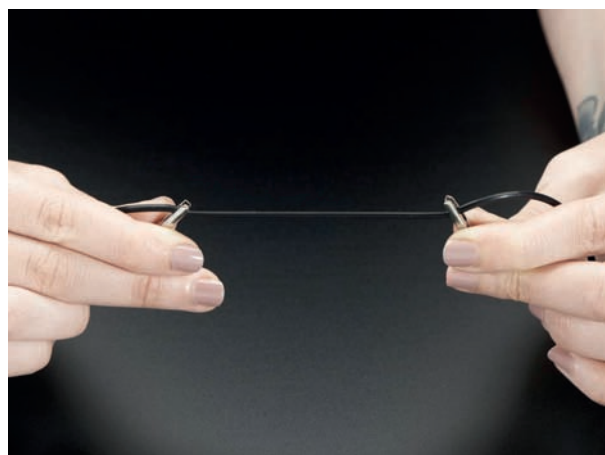


FIGURA 10. Sensor d'estirament.
FONT: Catàleg web d'Adafruit (<https://www.adafruit.com/product/519>).



FIGURA 11. Sensor de flexió.
FONT: Catàleg web d'Adafruit (<https://www.adafruit.com/product/1070>).



FIGURA 12. Jaqueta per a ciclistes dissenyada per uns estudiants del grau en tecnologies industrials.
FONT: Arxiu dels autors.

gràcies al fet que el microcontrolador converteix cada color en un so de freqüència diferent. Fins i tot hi ha un sensor d'índex de radiació ultraviolada (índex UV) que, per exemple, ens permetria fer un barret que ens avisi quan toca tornar-se a posar crema solar (Stern i Nosonowitz, s. a. b).

Un sensor GPS ens serveix per conèixer la posició geogràfica però també per saber l'hora exacta. Podem fer-lo servir per conèixer quin recorregut ha fet el nostre fill quan ha anat a l'escola o el nostre gos (Stern i Nosonowitz, s. a. a) quan ha sortit a passejar.

Hi ha altres accessoris adequats a projectes de tecnologia vestible que tenen aplicacions interessants. Per exemple, podem afegir un mòdul Bluetooth que permet comunicar el microcontrolador amb un mòbil o una tauleta, o un mòdul XBee que proporciona comunicació Zigbee entre microcontroladors. Existeix la possibilitat d'afegir una placa que permet reproduir sons (música, veu, etc.), enregistrats en format MP3 sobre una targeta microSD, per poder-los sentir mitjançant auriculars o altaveus.

Hi ha alguns sensors al mercat que mesuren constants vitals; això ens pot permetre fer aplicacions com el cinturó per a embarassades, que monitora els moviments del fetus que ens comenten a Leigh (2018) o elements més decoratius, com la dessuadora que ens expliquen a Lyndys (s. a.), que, basant-se en el sensor BITalino, encén i apaga uns



FIGURA 13. Canellera amb altímetre i brúixola dissenyada per uns estudiants del grau en tecnologies industrials.
FONT: Arxiu dels autors..

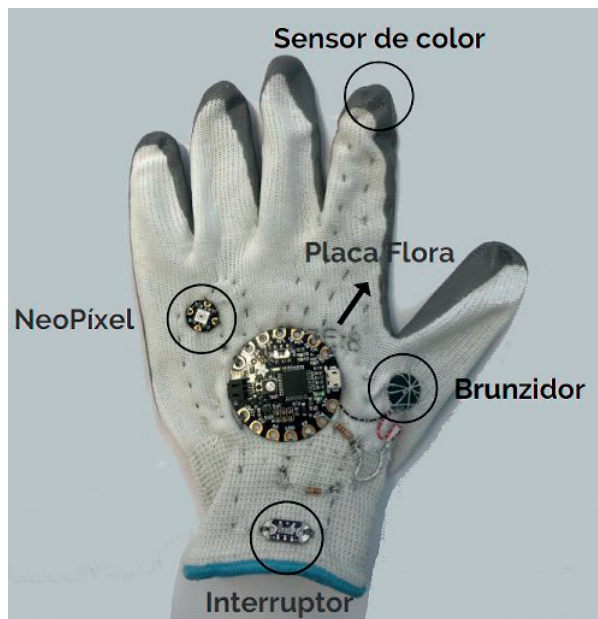


FIGURA 14. Guant que detecta colors i els converteix en sons que va ser dissenyat per uns estudiants del grau en tecnologies industrials.
FONT: Arxiu dels autors.

LED al mateix ritme que batega el cor de la persona que la porta posada.

Un dels autors d'aquest article imparteix una assignatura de projectes a alumnes de segon curs del grau en enginyeria de tecnologies industrials. En alguns dels darrers cursos acadèmics ha proposat als estudiants que realitzin algun projecte de tecnologia vestible. Alguns dels projectes realitzats ja els hem comentat en aquest article. Un altre grup de tres estudiants va equipar un vestit dels que es fan servir per a esports aquàtics amb un dispositiu de salvament. Si el sistema detecta que l'usuari està en risc, es dispara un mecanisme que obre una bombona de diòxid

de carboni que omple un flotador i manté l'esportista a la superfície de l'aigua.

Robots també

La placa Circuit Playground Express es pot muntar sobre una altra placa, anomenada Crickit, que permet alimentar els tipus de motors més habituals. Això permet controlar robots i altres vehicles i elements mòbils i té l'avantatge que podem fer servir el mateix microcontrolador i entorn de programació que fem servir per fer projectes vestibles. Això ens serà molt útil si en una mateixa classe o grup tenim persones interessades en diverses aplicacions dels microcontroladors, ja que totes faran servir el mateix microcontrolador i programaran sobre el mateix entorn. Els motors també poden ser útils per fer, per exemple, que un peluix mogui les orelles quan sent un so o una flor de roba s'obri quan es fa de dia i es tanqui quan es fa fosc. El ventall d'aplicacions que ofereix aquesta placa fa que sigui molt versàtil per donar vida a peluixos i joguines, fent-les interactives.

No cal que tot sigui vestible

No és difícil combinar els elements de tecnologia vestible amb pintura conductora (com la de l'empresa Bare Conductive) que ens podria servir per fer aplicacions en murals. Si ho desitgem, podem fer una versió casolana d'aquesta pintura. També es poden fer circuits sobre paper fent servir els dispositius i accessoris de l'empresa Chibitronics, o bé els elements de la marca Circuit Scribe, que es combinen amb bolígrafs de tinta conductora.

Per a infants relativament petits podem treballar amb plastilina. Alguns tipus de plastilina són conductors elèctrics i altres són aïllants. Podem muntar circuits clavant les potes dels LED i els cables del portapiles sobre trossos de plastilina. Existeix l'alternativa de fer-se personalment les plastilines (a base, principalment, d'aigua i farina).

Coses a tenir presents

No hi ha gaires fabricants d'elements de tecnologia vestible ni tampoc gaires distribuïdors. Els principals fabricants són Adafruit i SparkFun, tots dos als Estats Units, i no hem trobat distribuïdors propers que tinguin un catàleg prou ampli. Això vol dir que acabem comprant per Internet directament als fabricants, però això implica uns costos de transport que cal tenir en compte. Convé, doncs, evitar comandes petites. Nosaltres actualment fem una previsió de necessitats per fer un parell de compres a l'any. Així, el paquet té un contingut prou important perquè el cost de transport sigui un percentatge assumible de cada producte. Evidentment si hi ha més persones interessades, es poden gestionar compres conjuntes que permetrien dividir

més els costos de transport o convèncer algun distribuïdor local de components electrònics perquè s'anima a incorporar elements d'aquestes empreses al seu catàleg.

En el camp de la programació informàtica hi ha algunes olimpíades i competicions. En el camp de la robòtica són coneguts els concursos de robots i la First Lego League. Fa algun temps que pensem que si aconseguíssim engrescar un nombre prou gran de nois i noies podríem organitzar també algun tipus de concurs-exhibició en el qual es presentessin projectes (no professionals) de tecnologia vestible. Però, per tirar-ho endavant caldria que hi hagués prou gent fent coses en aquest tema i, de moment, ens sembla que no hi són.

Conclusions

La tecnologia vestible és una aplicació dels microcontroladors que permet implicar infants i joves en la tecnologia i la programació d'una manera atractiva i engrescadora. Les aplicacions poden ser artístiques, de complements de moda, per a disfresses, orientades a l'espectacle o per resoldre problemes concrets (detectar caigudes, controlar la temperatura, saber la posició i l'orientació, etc.).

Es pot començar amb aplicacions molt senzilles, sense programació, i anar evolucionant cap a projectes més complexos. Això permet adaptar-se a l'edat i als coneixements de les persones que hi participen. La tecnologia vestible permet fer un aprenentatge basat en projectes, d'acord amb l'edat i la traça de l'infant. Aquest fet fa que els conceptes apresos perdurin més en el temps i, a la vegada, fa que l'alumnat estigui motivat a aprendre, ja que ho pot aplicar al seu dia a dia. Tot i que els projectes inicials en tecnologia vestible puguin ser aplicacions de baix cost, es poden anar sofisticant amb els anys i, qui sap si, més endavant, poden esdevenir futur professional d'algun alumne. Us animeu a engrescar els infants? ■

Bibliografia

- AMOR BRAVO, Elías (2018). «De STEM a STEAM: mucho más que la interacción del arte y la ciencia». *Educaweb* [en línia]. <<https://www.educaweb.com/noticia/2018/04/04/stem-steam-mucho-mas-interaccion-arte-ciencia-16384/>> [Consulta: 11 febrer 2019].
- BIA! (@BiaSciLab). «I finished my light up dress for the @ABBATributeNYC show! Used an @adafruit metro mini and neo pixels. Controls are in my purse ;) It has 11 different modes: Rainbows, sparkles, different colors and "disco ball"». Twitter, 3 novembre 2018, 18.02 h.
- BOIX, Oriol [s. a.]. «Dones destacades en ciència i tecnologia». *CITCEA-UPC* [en línia]. <<https://recursos.citcea.upc.edu/dones/>> [Consulta: 20 juny 2019].
- BUECHLEY, Leah Alyssa (2007). *An investigation of computational textiles with applications to education and design*. Tesi doctoral. Boulder: University of Colorado Boulder.

- DUPRIEST, Dawn (2016). «Light-up musical ugly Christmas sweater». *Hackster* [en línia]. <<https://www.hackster.io/dupriestmath/light-up-musical-ugly-christmas-sweater-2ba491>> [Consulta: 20 juny 2019].
- ESCOLÁN, Esther (2017). «La robòtica com a eina educativa». *Ara* [en línia] (27 maig). <https://criatures.ara.cat/escola/robotica-eina-educativa_0_1803419650.html> [Consulta: 20 febrer 2019].
- FELDI (2017). «Hardware Hump Day: LED Constellation Hoops». *SparkFun Electronics* [en línia]. <<https://www.sparkfun.com/news/2449>> [Consulta: 11 febrer 2019].
- GAO, Ying [s. a.]. (*No*)where (now)here [en línia]. <<http://yinggao.ca/interactifs/nowhere-nowhere/>> [Consulta: 24 maig 2019].
- GLOVER, Chrissy [s. a.]. *Back to sleeper* [en línia]. <<https://chrissyglover.com/back-to-sleeper/>> [Consulta: 11 febrer 2019].
- GUIMERÁNS SÁNCHEZ, Paola (2017). *La tecnología como material creativo: e-textiles y sus derivaciones en el campo de las artes visuales*. Tesi doctoral. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- INTERWOVEN DESIGN STUDIO [s. a.]. *Fiber optic tutu* [en línia]. <<https://www.getinterwoven.com/our-work/fiber-optic-tutu/>> [Consulta: 12 març 2019].
- KLUKAS, Chelsea [s. a.]. *Lumen Couture 2.0* [en línia]. <<http://www.chelscore.com/projection-dress/>> [Consulta: 24 maig 2019].
- LEIGH, Helen (@helenleigh). «My little sister is pregnant with her first child so I embroidered a Circuit Playground Express and Neopixels from onto layers of lace and mesh to make a belt that senses and visualises her baby's movements. Yep, I am extremely excited to be an aunt. #WearableTech». Twitter, 27 desembre 2018, 15.00 h.
- LYNDSYS [s. a.]. «Wearable heart rate badge». *Instructables* [en línia]. <<https://www.instructables.com/id/Wearable-Heart-Rate-Badge/>> [Consulta: 12 març 2019].
- MADRIDEJOS, Antonio (2007). «Només el 27% dels alumnes d'enginyeries són dones». *El Periódico* [en línia] (12 maig). <<https://www.elperiodico.cat/ca/societat/20070512/nomes-el-27-dels-alumnes-denginyeries-son-dones-5449531>> [Consulta: 26 febrer 2019]. [Darrera actualització 3 octubre 2016]
- NIN, Pau (2018). «Competicions de robòtica educativa». *ScratchCatalà* [en línia] (20 gener). <<https://www.scratchcatala.com/noticies/competicions-robotica-educativa/>> [Consulta: 28 febrer 2019].
- PEIRÓ, Irene (2009). «Per què les joves es resisteixen a l'enginyeria?». *Dones* [en línia], núm. 35 (estiu). <<http://www.donesdigital.cat/UserFiles/file/IrenepeiroDONES35.pdf>> [Consulta: 26 febrer 2019].
- SALÁN, Núria (2017). «Dones, ciència i tecnologia... una carrera de fons». *TEDxReus* [en línia] (18 desembre). <<https://www.youtube.com/watch?v=9okrklUkxI>> [Consulta: 18 març 2019]. [Enregistrament de vídeo]
- SHAH, Nemeen [s. a.]. «DIY illuminating helmet & jacket». *Instructables* [en línia]. <<https://www.instructables.com/id/DIY-Illuminating-Helmet-Jacket/>> [Consulta: 12 març 2019].
- ST BLAINE, Erin [s. a.]. «Fiber optic pixie skirt». *Adafruit Industries* [en línia]. <<https://learn.adafruit.com/fiber-optic-pixie-princess-skirt?view=all>> [Consulta: 12 març 2019].
- STERN, Becky; NOSONOWITZ, Danny [s. a.]. «GPS logging dog harness». *Adafruit Industries* [en línia]. <<https://learn.adafruit.com/gps-logging-dog-harness?view=all>> [Consulta: 11 febrer 2019].
- [s. a. b]. «Sunscreen reminder hat». *Adafruit Industries* [en línia]. <<https://learn.adafruit.com/sunscreen-reminder-hat?view=all>> [Consulta: 12 març 2019].
- UVE, Sandra (2018). *Supermujeres, superinventoras*. Barcelona: Lunwerg.
- VIVAS, Eli; GALILEA, Sílvia; BRUFAU, Laia; BELLVER, Carina (2018). «L'absència de dones a la tecnologia, en cinc gràfics». *Ara* [en línia] (15 novembre). <https://www.ara.cat/data/absencia-dones-tecnologia-cinc-grafics_0_2123787714.html> [Consulta: 18 març 2019].
- WONG, Sophy (2019). «Turn a hoodie into a wearable game controller». *HackSpace Magazine* [en línia], núm. 17 (abril). <<https://hackspace.raspberrypi.org/issues/17>>. [Consulta: 24 maig 2019].