

Escola Universitaria Politécnica



UNIVERSIDADE DA CORUÑA

Máster en Eficiencia e Aproveitamento Enerxético

TRABALLO FIN DE MÁSTER

TFM. Nº: **4523M01A044**

TÍTULO: **DESEÑO DE NOVOS MATERIAIS COMPOSTOS
POLIMÉRICOS DE BAIXO IMPACTO AMBIENTAL PARA DISPOSITIVOS
'ENERGY HARVESTING'**

AUTOR: SILVIA LAGE RIVERA

TUTOR: MARÍA JOSÉ ABAD LÓPEZ

MARÍA VICTORIA GONZÁLEZ RODRÍGUEZ

FECHA: XUÑO DO 2020

Fdo.: EL AUTOR

Fdo.: EL TUTOR

I ÍNDICE

OBXECTO	5
ALCANCE.....	5
ANTECEDENTES.....	6
Introdución á Energy Harvesting	6
Necesidade de aproveitar toda a enerxía dispoñible.....	6
Definición da Energy Harvesting	7
Compoñentes principais dos dispositivos da Energy Harvesting.....	7
Sistemas de Aproveitamento da Enerxía Residual do Ambiente.....	9
Aproveitamento da luz como fonte de enerxía para dispositivos EH	9
Aproveitamento da calor como fonte de enerxía para dispositivos EH.....	10
Aproveitamento das vibracións como fonte de enerxía para dispositivos EH	12
Aproveitamento da Radio Frecuencia residual como fonte de enerxía para dispositivos EH	14
NORMAS E REFERENCIAS	16
Disposicións legais e normas aplicadas.....	16
Bibliografía.....	16
Ferramentas bibliográficas	18
DEFINICIÓNS E ABREVIATURAS	19
REQUISITOS DE DESEÑO	19
ANÁLISE DE SOLUCIÓNS.....	20
Materiais dispoñibles para o aproveitamento mediante EH da Luz	20
Quantum Dots de Nanocristais Semicristalinos (QDs)	20
QDs orgánicos ou baseados en Carbono (CQDs)	21
Nanoestruturas metálicas	22
Nanoestuturas non metálicas.....	23
Dispositivos EH para o aproveitamento da luz	24
Dispositivos Indoor vs dispositivos Outdoor.....	24
Dispositivos con tecnoloxía Opto electrónica.....	24
OSCs.....	26

Dispositivos de EH na roupa	29
RESULTADOS FINAIS.....	31
Plan de traballo e metodoloxía.....	31
Equipamento dispoñible	34
Xestión de residuos.....	35
Táboa de desenvolvemento do proxecto.....	36
Impacto de resultados.....	37
Presuposto.....	38

II Listado de Figuras

Figura 1-Sistema EH con IoT	8
Figura 2-Funcionamento de diversas células solares (Fonte: [13])	9
Figura 3-Estrutura química dos principais polímeros orgánicos semiconductores (Fonte: [17])	11
Figura 4-Recolección da calor mediante EH (Fonte: [4])	12
Figura 5-Funcionamento esquemático do mecanismo DEG (Fonte: [19])	13
Figura 6-Dispositivo EH de movemento flexible e elástica baseada nunha aleación de metal de Galio líquido (Fonte: [20])	13
Figura 7-Esquema dispositivos EH RF (Fonte: [8])	14
Figura 8-Exemplo de sistema RF-EHWC (Fonte: [23])	15
Figura 9-Fotosínteses con FRET (Fonte: [16])	20
Figura 10-Curvas rendementos absorción e fluorescencia QDs (Fonte: [16])	21
Figura 11-Esquema das nanoestructuras metálicas plasmasónicas (Fonte: [13])	22
Figura 12-Híbridos de SiNC para EH da luz (Fonte: [25])	23
Figura 13-Comportamento Indoor SiNCs con polímero (Fonte: [25])	24
Figura 14-Polímeros semiconductores para optoelectrónica (Fonte: [27])	25
Figura 15-Arquitectura fundamental da OSC e procesos principais de funcionamento (Fonte:[27])	26
Figura 16-Materiais orgánicos para células solares (Fonte: [28])	27
Figura 17-Estructura dunha OSC sen ITO (Fonte: [29])	27
Figura 18-Arquitectura fundamental dunha OLED e principais procesos de funcionamento (Fonte: [27])	28
Figura 19-Materias das WOLED (Fonte: [32])	28
Figura 20-Esquema da composición e estrutura das prendas intelixentes (Fonte: [33])	29
Figura 21-funcionamento do tecido solar (Fonte: [33])	30
Figura 22-fabricación do TiN NWs (Fonte: [33])	30

III Listado de Táboas

Táboa 1-Datos aproveitamento das distintas formas de EH (Fonte: [8]).....	19
Táboa 2-Desenvolvemento do proxecto no 2021	36
Táboa 3-desenvolvemento do proxecto no 2022.....	36
Táboa 4-Desenvolvemento do proxecto no 2023	37
Táboa 5-Presuposto do proxecto	38

OBXECTO

Os obxectivos que se pretenden conseguir no presente traballo son os seguintes:

- Coñecer o espectro de materiais poliméricos para ser utilizados nos dispositivos 'Energy Harvesting'
- Clarificar as características técnicas en función do tipo de enerxía ambiental que poidan captar os distintos dispositivos e o seu impacto medioambiental mediante un rigoroso estudo bibliográfico
- Facer unha revisión crítica da bibliografía científico-técnica recente sobre o uso de materiais poliméricos nos dispositivos 'Energy Harvesting', que inclúa unha descrición profunda dos polímeros ou compostos poliméricos máis utilizados, as súas características técnicas, vantaxes e desvantaxes fronte a outro tipo de materiais usados neste tipo de aplicacións
- Á vista da bibliografía consultada, o estudante deberá describir os obxectivos da futura investigación neste campo para ampliar o coñecemento do que se dispón actualmente

ALCANCE

Os dispositivos de 'Energy Harvesting' poden transformar enerxía residual do ambiente en enerxía eléctrica que pode ser almacenada, acondicionada e utilizada para alimentar distintos equipos. Este tipo de 'autoxeradores' xorden como resposta á necesidade de deseñar dispositivos 'auto-alimentados' (sen depender de baterías ou de subministración eléctrica) por exemplo para redes de sensores a gran escala (sistemas IoT) ou sensorización de instalacións en remoto ou con difícil acceso.

Os dispositivos de 'Energy Harvesting' clasifícanse segundo o tipo de enerxía ambiental que son capaces de aproveitar: enerxía mecánica, enerxía de radiación, de enerxía térmica, enerxía química, etc. Con características moi diferentes de densidade enerxética aproveitable.

Os polímeros intrinsecamente condutores e os compostos poliméricos condutores son materiais semicondutores con propiedades moi atractivas para a fabricación de dispositivos de 'Energy Harvesting' debido ao seu baixo peso, o seu amplo espectro de propiedades, fácil moldeo, baixa toxicidade e o seu custo, máis alcanzable que outro tipo de compostos metálicos. Con todo, o seu uso e a súa eficacia neste tipo de dispositivos dependerá da eficacia coa que o dispositivo 'Energy Harvesting' transforme a enerxía ambiental en enerxía eléctrica.

ANTECEDENTES

Introdución á Energy Harvesting

A Energy Harvesting trata o aproveitamento da enerxía residual do ambiente e a súa conversión en enerxía eléctrica. Neste traballo trátanse 4 maneiras distintas de enerxía residual do ambiente: a luz, a calor, a vibración e a RF.

Necesidade de aproveitar toda a enerxía dispoñible

O planeta Terra atópase nunha situación de Cambio Climático que implica cambios na temperatura do planeta. A temperatura sube gradualmente de tal maneira que a maioría das persoas non poden apreciarlo. Sen embargo hai claras evidencias de que este cambio estase a dar e poden tanto verse como sentirse. Unha destas evidencias poden ser as inundacións e as secas que se dan por todo o mundo recentemente (de maneira máis intensa que antes). Algúns incendios naturais e nevadas moi intensas en lugares onde non pasaba. Debido a este aumento da temperatura xa se poden apreciar concentracións máis altas de vapor de auga na atmosfera. [1]

Debido a esta alarma global todos os países deben axudar a frear o efecto do cambio climático na medida do posible. Unha gran fonte de contaminación é a xeración de enerxía eléctrica, polo que todos os novos descubrimentos e estudos relacionados con novas formas de obter enerxía non só poden ser unha gran fonte ingresos senón que están a axudar nesta loita mundial. A crecente conciencia ambiental e a escaseza de combustibles conducen á sociedade a repensar as súas políticas enerxéticas para conseguir unha transición enerxética con éxito. [2]

Nos últimos anos estase a desenvolver moi rápido o 'Internet of Things' (IoT), estes avances teñen como obxectivo que todos os dispositivos que utilizamos pódanse conectar a través de Internet. Esta tecnoloxía inclúe conexións sen necesidades de cables de ata millóns de ' cousas' e aparellos a través dunha rede de Internet ou dunha rede local co obxectivo de aumentar a súa eficiencia. [3][4][5][6][7]

Xunto con eses millóns de dispositivos electrónicos van millóns de baterías que precisan alimentación eléctrica así como un mantemento. O problema que se atopan os deseñadores é que as baterías non están tan evolucionadas como as innovacións dixitais, polo que pode limitar a expansión do IoT. Tal vez este problema sería pequeno no caso de ter que alimentar 10 ou 20 baterías pero poden ser moitos centos de millóns delas, polo que se traduce nun número enorme de gasto por mantemento das mesmas. [8]

Unha solución para que a tecnoloxía IoT siga a se desenvolver pode ser a EH xa que pode alimentar a dispositivos sen cables que requiran moi pouca enerxía como sensores [9], protocolos de redes e estándares. Polo tanto a EH é unha solución simple para alimentar facilmente a estes dispositivos remotos usando enerxía limpa [2]. Energy Harvesting abole a necesidade de utilizar baterías polo que abole o principal obstáculo que se atopaba IoT para seguir coa súa expansión. [10] Os dispositivos que aproveitan EH son pequenos sistemas que poden xerar enerxía eléctrica utilizando fontes ilimitadas de enerxía. [11]

O desenvolvemento do IoT vai ter un gran impacto na nosa sociedade grazas á evolución dos materiais semi-condutores e á tecnoloxía que funciona sen necesidades de cables. [8]

Definición da Energy Harvesting

En xeral, a recolección de enerxía é a transformación de pequenas cantidades de enerxía ambiental en enerxía eléctrica, a cal sóese almacenar nun acumulador ou nun súper-condensador. [7] As fontes desta enerxía inclúen a luz, o calor, as vibracións e a RF polo que as vantaxes que posúen son que son gratuítas e de libre dispoñibilidade. [2]

O aproveitamento da enerxía residual do ambiente cada vez cobra máis importancia no campo de investigación das fontes de enerxías alternativas ou non convencionais para aplicacións que consumen pouca potencia. A enerxía que se pode aproveitar é de magnitude de mW, polo que pode alimentar a sensores sen cables e outras aplicacións de baixa enerxía. Este tipo de enerxía é interesante aplicala como alternativa á alimentación de dispositivos electrónicos para os que non existe outra fonte de alimentación coas enerxías convencionais.

Polo tanto o estudio da Energy Harvesting (EH) vai ligado a reducir os nefastos impactos do cambio climático sobre a terra, xa que é unha maneira de promocionar tecnoloxía que aproveita enerxía que de outro modo non sería utilizada a vez que reduce as emisións de CO₂, polo que é unha tecnoloxía indispensable para poder alcanzar o próximo nivel de cidades intelixentes e sociedades sustentables. [8] Incluso se a fonte de enerxía ambiental é contaminante (como o aproveitamento do calor residual da industria) a EH produce enerxía sostible. [2]

A recolección da enerxía ambiental ten un amplo abanico de aplicacións como poden ser nodos de sensores sen cables para o monitorio da saúde (aplicacións biomédicas), mecatrónicos (como pode ser o control da presión nos pneumáticos dos automóviles), recarga de baterías de grandes sistemas, etc. [10]

A EH pódese obter en recintos Indoor ou Outdoor, por exemplo pódense integrar dispositivos que traballen coa EH dentro de oficinas, aproveitando a luz residual, dentro dun tren, aproveitando as vibracións que se producen ou en aplicacións para o exterior como na funda dun Smartphone para aproveitar o movemento ou integrado na roupa para aproveitar a calor que desprende a persoa que o leva posto. O difícil á hora de deseñar estes dispositivos é atopar unha fonte de EH que sexa adecuada para a aplicación que se vai desenvolver coa potencia xerada. Unha fonte potencial neste estudo das EH son as que proveñen dos humanos polas súas amplas aplicacións. [12]

Compoñentes principais dos dispositivos da Energy Harvesting

Na Figura 1 recóllese un esquema das partes principais dun dispositivo que usa a enerxía residual do ambiente para alimentar un sensor de maneira xeral. A enerxía pode chegar de 4 maneiras distintas e é recollida polo transdutor (específico segundo o tipo de enerxía).

A continuación a enerxía é procesada e almacenada ou xestionada segundo se requira, ao ter este procesador de enerxía non sempre serán necesarias as baterías, aínda que van cobrando importancia as baterías en estado sólido xa que son menos contaminantes que as convencionais. Unha vez se ten a enerxía procesada requírese da electrónica para controlar onde levala e un protocolo que faga un bo funcionamento de todo así como o máis óptimo, as tecnoloxías IoT (Internet of Things) permiten unha comunicación mutua entre o procesador da enerxía e o procesador que demanda a enerxía, polo que no esquema vese unha frecha de dobre dirección.

Dado que estes dispositivos de EH producen unha cantidade moi pequena de enerxía se poden alimentar pequenos sensores (poden ser de temperatura ou presión) pero tamén outros dispositivos que requiran unha pequena potencia eléctrica.

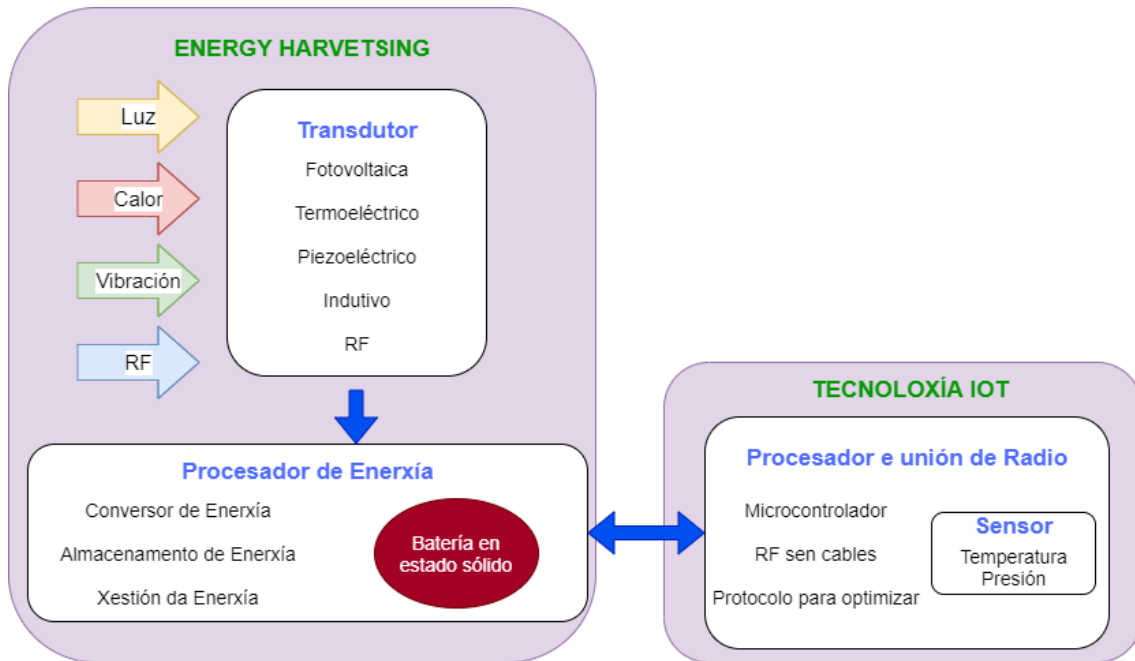


Figura 1-Sistema EH con IoT

Este esquema recollido na Figura 1 pode variar segundo o dispositivo en concreto que se queira deseñar pero en xeral recoller a maioría dos artigos publicados que se revisaron para a redacción do presente traballo.

Sistemas de Aproveitamento da Enerxía Residual do Ambiente

As técnicas de aproveitamento da enerxía residual do ambiente utilizan elementos xeradores que converten a luz (provente do sol), o calor (procesos termoeléctricos), as vibracións (enerxía mecánica de dispositivos e funcións piezoeléctricas), ou enerxía de Radio Frecuencia (como a que poden emitir as torres de telefonía) en enerxía eléctrica dunha maneira estable e eficiente. [8] [10] [6]

Aproveitamento da luz como fonte de enerxía para dispositivos EH

Unha das novas enerxías que está en continuo desenvolvemento e estudo é a enerxía solar, a cal leva tempo alimentando a pequenos dispositivos xa que é unha enerxía abundante e non dana ao medio ambiente. [13]

Os dispositivos colectores e conversores da luz do sol en electricidade teñen unha eficiencia non moi alta (os paneis fotovoltaicos teñen unha eficiencia dun 15-20% normalmente). Un gran problema que teñen os paneis é que non todos os días hai as mesmas horas de luz coa mesma intensidade polo que diminúe o seu rendemento. [8] As tecnoloxías comerciais de células solares soen ser de Silicio cristalino (c-Si) as cales adoptan un proceso de grabado básico para producir pirámides que reflicten a luz no silicio e así melloran a absorbancia. [13] Na Figura 2 se observan as lonxitudes de onda nas que traballan as principais células solares.

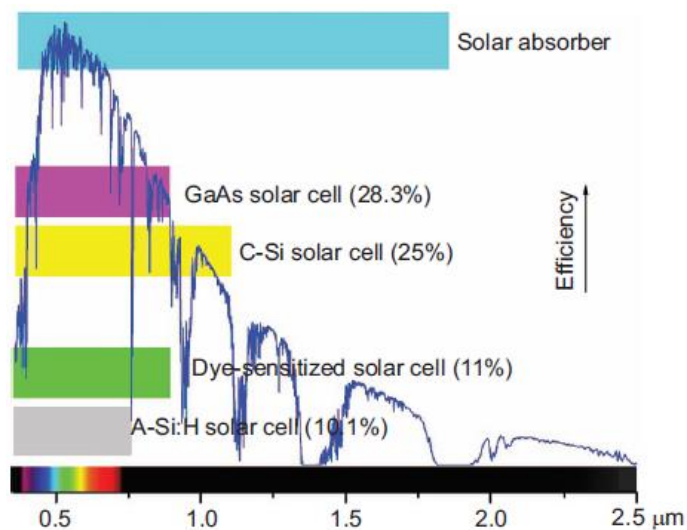


Figura 2-Funcionamento de diversas células solares (Fonte: [13])

Co obxectivo de conseguir dispositivos captadoras da enerxía residual do sol, estanse a investigar novos polímeros que poidan imitar a fotosíntese que realizan as plantas ou aproveitar o calor do sol. Nestes materiais o proceso máis crítico é a elección dos cromóforos (parte da molécula que absorbe a luz e polo tanto é a responsable da súa cor). A localización dos cromóforos así como a tacticidade do polímero son moi importantes na súa síntese.

A día de hoxe moitos materiais poliméricos úsanse nas áreas de imaxes non baseadas en prata, almacenamento de información, sensores por control remoto, materiais para dispositivos que

responda electronicamente e outros. Sen embargo no 1969 Fox y Cozzens concluíron que ningún material podería asemellarse á eficiencia que teñen os materiais naturais para a recolección de fotóns con aras a facer a fotosínteses. [14]

Ademais destes materiais tamén estanse a investigar algúns máis accesibles e cunha maior facilidade na súa elaboración que inclúen residuos orgánicos. Como exemplo no 2020 Gaur, Anupama e os seus colaboradores publicaron un experimento dun híbrido de casca de laranxa e polímero para un eficiente aproveitamento da enerxía residual do ambiente en forma de luz. O polímero utilizado é o poli fluoruro de vinilideno. As cascas de laranxa son un composto de celulosa e distintos tipos de proteínas, responsables do efecto fotoeléctrico. [15]

Todos os sistemas fotosintéticos naturais conteñen compoñentes colectores de luz. Estes sistemas non se involucran directamente na separación de carga pero canaliza a súa excitación de enerxía aos centros de reacción e separación de carga, polo que aumentan moito a conversión de luz en enerxía. [16]

Aproveitamento da calor como fonte de enerxía para dispositivos EH

O aproveitamento da enerxía residual térmica ou de pequenos gradientes de temperatura pode alimentar circuitos de pequena potencia durante anos sen a necesidade dunha batería por medio de xeradores termoeléctricos. Nesta aplicación entran en xogo os efectos 'Peltier' e 'Seebeck'. O primeiro crea unha diferenza de temperatura mediante a aplicación dunha tensión entre dous eléctrodos e o segundo fai o contrario. [2]

Para comprender o efecto termoeléctrico está a figura de mérito $ZT = S^2 * \theta * T/k$ onde S é o coeficiente de Seebeck, θ a conductividade eléctrica, k representa á conductividade térmica e T á temperatura. A maior ZT máis eficiencia, polo que máis se acerca o comportamento do sistema ao ideal de Carnot. [4] [17][5][18]

Espérase que a enerxía termoeléctrica, e máis concretamente a conversión da calor en estado sólido a electricidade sexa unha tecnoloxía clave para alimentar sensores e dispositivos portátiles nun futuro próximo. [4]

Unha aplicación potencial é o aproveitamento da calor do corpo humano para alimentar dispositivos portátiles mediante roupa termoeléctrica. [4][17][5] Xa que o corpo humano pode ser unha fonte de enerxía producida a través de actividades do día a día como camiñar, correr, nadar ou calquera outra forma de disipación de calor. [5] Outro punto de vista deste tipo de EH da calor é o industrial, xa que nunha fábrica as bombas e os motores das máquinas teñen moito calor residual o cal pode ser aproveitado mediante dispositivos que o requiran. [8]

Comparando os materiais inorgánicos convencionais cos polímeros semicondutores, a pesar de que os polímeros teñen unha condutividade térmica máis baixa, a súa condutividade eléctrica pode chegar ata os 100S/cm, polo que é un potencial candidato para aplicacións termoeléctricas. Ademais os polímeros teñen as vantaxes de ser imprimibles, lixeiros, flexibles e teñen unha alta flexibilidade mecánica, polo que se adaptan ao molde, non coma os ríxidos materiais inorgánicos. [4] Ata agora os materiais inorgánicos semicristalinos dominaban o campo dos materiais termoeléctricos pero as súas aplicacións prácticas están limitadas pola súa fragilidade intrínseca e a súa alta toxicidade (2019). [17]

Co obxectivo de seguir a mellorar os dispositivos, estanse a integrar os polímeros orgánicos con partículas inorgánicas para mellorar o rendemento termoeléctrico do polímero de tal maneira que combina as vantaxes de ambos compoñentes á vez que se mostran fenómenos de transporte entre os polímeros orgánicos e as partículas inorgánicas. [17]

Os materiais inorgánicos comunmente utilizados para aplicacións termoeléctricas son o SnSe, PbTe, CuS, PbS, PbSe, Bi₂Te₃, Te, BiSbTe e SnTe. Os seus homólogos en orgánicos recóllense na Figura 3.

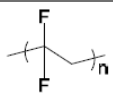
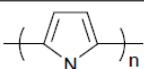
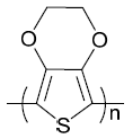
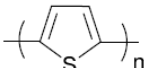
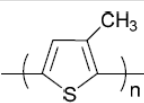
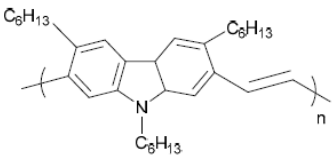
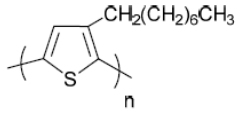
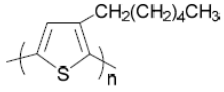
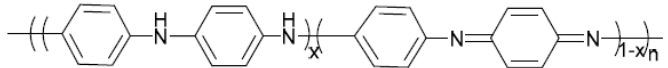
Materials	Chemical Structures
Poly(vinylidene fluoride)	
Polypyrrole	
Poly(3,4-ethylenedioxythiophene)	
Polythiophene	
Poly(3-methylthiophene)	
Poly(2,7-Carbazolylenevinylene)	
Poly(3-octylthiophene)	
poly(3-hexylthiophene)	
Polyaniline	

Figura 3-Estrutura química dos principais polímeros orgánicos semiconductores (Fonte: [17])

Na Figura 4 pódese ver un dispositivo termoeléctrico de polímero impreso por medio da técnica R2R dunha solución polimérica tipo p e tipo n. A continuación a estrutura 2D pódese dobrar para facer unhas estruturas 3D flexibles e lixeiras con aplicacións portátiles, como a súa integración na roupa.

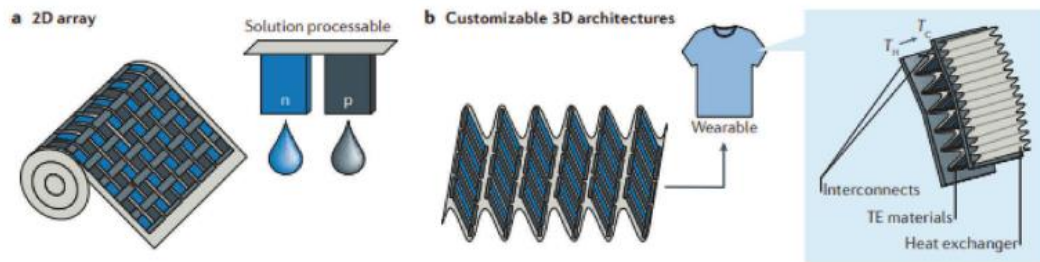


Figura 4-Recolección da calor mediante EH (Fonte: [4])

Aproveitamento das vibracións como fonte de enerxía para dispositivos EH

A enerxía cinética pode transformarse en electricidade mediante o efecto piezoeléctrico, deformando mecanicamente un cristal piezoeléctrico: con presión ou cunha carga eléctrica xérase unha carga eléctrica. [8] O principio detrás da recolección da enerxía ambiental mecánica soe ser unha operación de resonancia dunha masa oscilante coa posterior conversión electromagnética da enerxía cinética en enerxía eléctrica. [10] Dende o punto de vista teórico, os efectos que se producen nesta conversión son o electromagnético, electrostático e piezoeléctrico. [6]

Os sistemas que recollen e transforman as vibracións xeran enerxía eléctrica alterna (AC). Esta AC convértese en corrente continua (DC) para alimentar dispositivos IoT sen cables ou para recargar unha batería. Os transdutores de enerxía piezoeléctrica funcionan cando a fonte de vibración funciona á máxima frecuencia de resonancia e cando a máquina está deseñada para igualar a impedancia de saída piezoeléctrica. [8]

Un dispositivo moi utilizado no aproveitamento das vibracións son os xeradores de elastómeros dieléctricos (DEG) debido á súa capacitancia variable baixo a aplicación dunha tensión, polo que é un sistema que está sendo moi estudado para a súa mellora.

O DEG pode ser usado para converter enerxía natural de diversas fontes de movemento como as pegadas, as olas, a reciprocidade mecánica etc. en enerxía eléctrica. Ademais ten unhas atractivas vantaxes sobre os xeradores tradicionais, xa que non requiren dun gran volume nin dunha estrutura complexa, posúen unha alta densidade de enerxía, un peso moi lixeiro, a súa estrutura é modificable, ten unha boa resistencia ao impacto, etc.

En canto ao seu funcionamento, é similar aos nano-xeradores triboeléctricos e piezoeléctricos, xa que baséase na separación de carga e posterior transferencia da mesma a nanoescala para a recolección da enerxía eléctrica, polo que tamén poden ser considerados nano-xeradores. [19]

Na Figura 5 recóllese o funcionamento do mecanismo DEG. Á esquerda vese unha película DE (Dielectric Elastomer) en forma de sándwich entre electrodos flexibles, esta estrutura é estirada en primeiro lugar e cargada a continuación con unha baixa voltaxe de excitación. Unha vez se libera a DE (imaxe da dereita) a área do DEG diminúe, o que da lugar a unha mellora na densidade de carga e na densidade de enerxía que soporta o material.

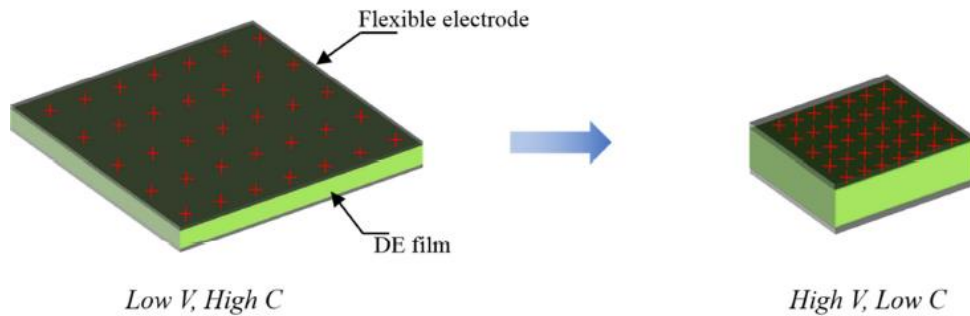


Figura 5-Funcionamento esquemático do mecanismo DEG (Fonte: [19])

No ano 2020, Xie Jianbing e os seus colaboradores fixeron uns experimentos coa novidade de que os eléctrodos están constituídos por aleacións de metais líquidos. A súa proposta son eléctrodos de galio líquidos e películas de etileno propileno fluorado (FEP). Este material atópase facilmente no mercado.

Os metais líquidos son os condutores eléctricos máis flexibles e deformables debido á fluidez do líquido. Son intrinsecamente deformables e altamente condutivos e ademais demostrouse que non perden a súa condutividade metálica ata un 700% de deformación. Estes materiais poden ser impresos en 3D, moldeados ou inxectados en cavidades selladas. Por todo isto son altamente usados no campo dos dispositivos electrónicos flexibles como en eléctrodos suaves, interconectores, microfluidos, sensores e e-skin. [20] O esquema deste material pódese ver na Figura 6.

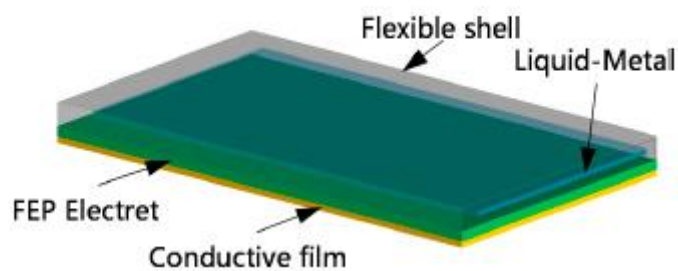


Figura 6-Dispositivo EH de movemento flexible e elástico baseada nunha aleación de metal de Galio líquido (Fonte: [20])

O aproveitamento do movemento como EH é moi aplicable na roupa, xa que aproveita os movementos das persoas para xerar enerxía. Un exemplo poden ser os dispositivos que se inclúen nos calcetíns para aproveitar a enerxía das pegadas, este dispositivo consiste nun complexo mecatrónico cunha parte mecánica, un conversor electromagnético, unha parte de electrónica de potencia (xestión da potencia xerada) e unha carga (por exemplo un sensor sen cables). [10]

Aproveitamento da Radio Frecuencia residual como fonte de enerxía para dispositivos EH

Debido ao exponencial aumento de uso de dispositivos de comunicación sen cables na poboación e o asociado aumento de transmisores de radio, sobre todo de estacións base para móbiles hai moita enerxía 'liberada' de RF ao noso arredor. [8] A primeira demostración de transmisión sen cables xa foi demostrada por Nikola Tesla en 1890 baseándose a técnica de propagación de ondas electromagnéticas de Hienrich Hertz pero nos últimos anos empezou a ser un tópico de moda ascendente. [21]

Ademais das redes WiFi, os investigadores atoparon enerxía provinte de tecnoloxías sen cables de corto alcance como Bluetooth e ZigBee e servizos de celulares de longo alcance. Hai moitas sinais de distintas frecuencias no entorno que poden ser utilizadas. Aínda que estas sinais leven unha pequena cantidade de enerxía, a posibilidade de utilizalas pode ser moi eficaz á hora de cargar ou executar un microchip.[11]

A EH de RF é un proceso no cal a enerxía contida nas ondas electromagnéticas convértese en enerxía eléctrica útil que valerá para alimentar sensores que actúen permanentemente na súa reposición de enerxía e no seu deseño de protocolo. Os sensores de recolección de enerxía de RF poden alcanzar as características desexables do deseño do sensor, a vida útil requirida e un bo rendemento da rede. Este é un método moi atractivo polo tanto para superar as limitacións da tecnoloxía sen cables convencionais que alimenta aos dispositivos con baterías. [22]

A enerxía de RF é un recurso perpetuo que está moi presente tanto en interiores (por exemplo a sinal WiFi dende un enrutador sen cables) como ao aire libre (como a sinal dos celulares). [23]

Na Figura 7 obsérvase o funcionamento dos dispositivos que se basean na EH da RF.[8] O reto da Energy Harvesting de RF é maximizar a saída do transdutor segundo o nivel de enerxía ambiental que haxa no momento.

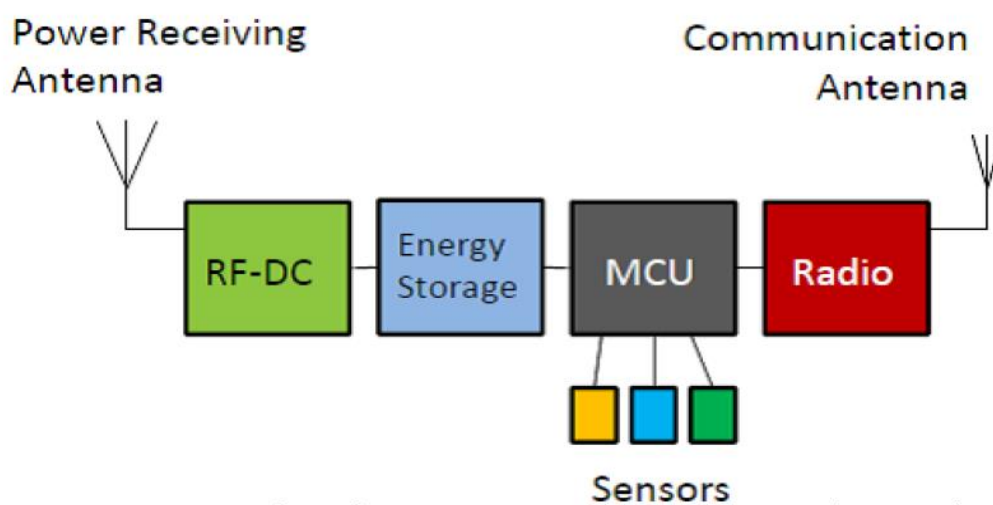


Figura 7-Esquema dispositivos EH RF (Fonte: [8])

Á hora de deseñar un dispositivo de EH por RF un importante parámetro é o espectro que se pode aproveitar. Os espectros teñen características distintas segundo a área na que se atope. Por exemplo a humidade da localización e a distancia da sinal aos transmisores afectará aos resultados das medicións do espectro. A maioría dos investigadores e fabricantes dividen as áreas en dúas rexións:

- Zona 1: urbanizada, como pode ser unha cidade
- Zona 2: área menos poboada, como o campo ou o deserto.

Para inspeccionar polo tanto o nivel de RF de baixa intensidade nunha área precísase dos aparellos correspondentes para realizar medicións como poden ser un analizador de espectro e unha antena dipolo. [11]

Unha aplicación moi útil destes dispositivos son os sistemas RF-EHWC nos que se combina a recolección de enerxía de RF e a transmisión sen cables de diversas técnicas de información. Na Figura 8 obsérvase un exemplo dun sistema RF-EHWC, as liñas vermellas mostran o fluxo de recolección da enerxía para cargar os compoñentes do módulo de comunicación. [23]

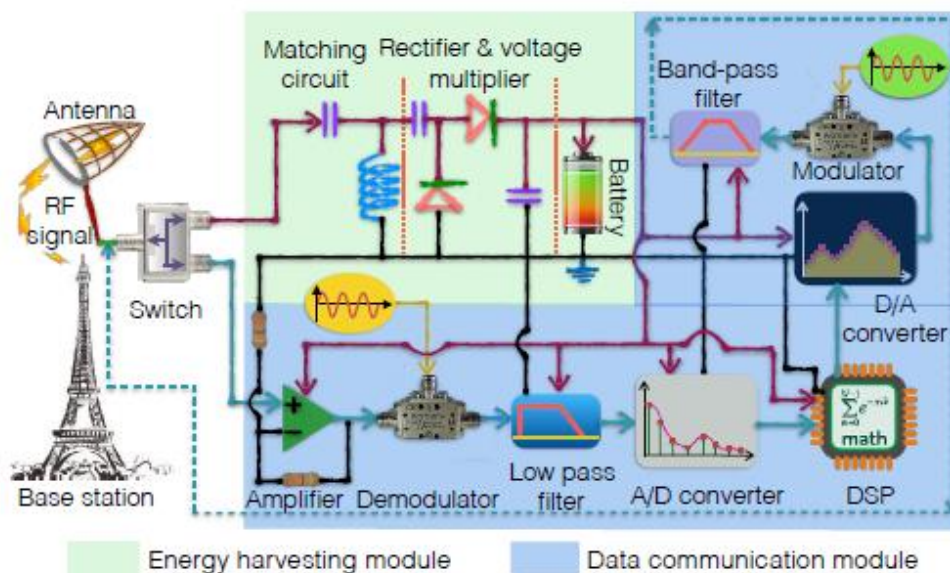


Figura 8-Exemplo de sistema RF-EHWC (Fonte: [23])

NORMAS E REFERENCIAS

Disposicións legais e normas aplicadas

ISO/IEC 14543-3-10: 2012 Information technology- Home electronic systems (HES) architecture — Part 3-10: Wireless short-packet (WSP) protocol optimised for energy harvesting- Architecture and lower layer protocols

ISO/IEC 14543-3-10: 2020 Information technology- Home electronic systems (HES) architecture — Part 3-10: Wireless short-packet (WSP) protocol optimised for energy harvesting- Architecture and lower layer protocols

ISO/IEC 14543-3-11: 2016 Information technology — Home electronic system (HES) architecture — Part 3-11: Frequency modulated wireless short-packet (FMWSP) protocol optimised for energy harvesting — Architecture and lower layer protocols

Bibliografía

- [1] G. T. Farmer and J. Cook, *Climate Change Science: A Modern Synthesis*. 2013.
- [2] M. Nesarajah and G. Frey, "Optimized design of thermoelectric energy harvesting systems for waste heat recovery from exhaust pipes," *Appl. Sci.*, vol. 7, no. 6, 2017, doi: 10.3390/app7060634.
- [3] M. Watanabe, A. Nakamura, A. Kunii, K. Kusano, and M. Futagawa, "Fabrication of Scalable Indoor Light Energy Harvester and Study for Agricultural IoT Applications," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 660, no. 1, 2015, doi: 10.1088/1742-6596/660/1/012110.
- [4] I. Petsagkourakis, K. Tybrandt, X. Crispin, I. Ohkubo, N. Satoh, and T. Mori, "Thermoelectric materials and applications for energy harvesting power generation," *Sci. Technol. Adv. Mater.*, vol. 19, no. 1, pp. 836–862, 2018, doi: 10.1080/14686996.2018.1530938.
- [5] A. Nozariasbmarz *et al.*, "Review of wearable thermoelectric energy harvesting: From body temperature to electronic systems," *Appl. Energy*, vol. 258, no. April 2019, p. 114069, 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.114069.
- [6] A. Abdelkefi, "Aeroelastic energy harvesting: A review," *Int. J. Eng. Sci.*, vol. 100, pp. 112–135, 2016, doi: 10.1016/j.ijengsci.2015.10.006.
- [7] K. Dervojeda, D. Verzijl, and E. Rouwmaat, "Clean Technologies, Energy Harvesting - European Commission Business Innovation Observatory Contract No 190/PP/ENT/CIP/12/C/N03C01," p. Contract No 190/PP/ENT/CIP/12/C/N03C01, 2014, [Online]. Available: <http://ec.europa.eu/enterprise/policies/innovation/policy/business-innovation-observatory/files/case-studies/32-clt-energy-harvesting.pdf>.
- [8] A. Pop-Vadean, P. P. Pop, T. Latinovic, C. Barz, and C. Lung, "Harvesting energy an sustainable power source, replace batteries for powering WSN and devices on the IoT," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 200, no. 1, 2017, doi: 10.1088/1757-

899X/200/1/012043.

- [9] B. Sümer, E. K. San, and K. Sancakdar, "Design of a Thermoelectric Energy Harvesting Module for a Wireless Pressure Measurement in Vehicles," *Procedia Eng.*, vol. 168, pp. 63–66, 2016, doi: 10.1016/j.proeng.2016.11.148.
- [10] Z. Hadas, V. Vetiska, V. Singule, O. Andrs, J. Kovar, and J. Vetiska, "Energy harvesting from mechanical shocks using a sensitive vibration energy harvester," *Int. J. Adv. Robot. Syst.*, vol. 9, pp. 1–7, 2012, doi: 10.5772/53948.
- [11] L. Albasha, S. Heydari Nasab, M. Asefi, and N. Qaddoumi, "Investigation of RF signal energy harvesting," *Act. Passiv. Electron. Components*, vol. 2010, 2010, doi: 10.1155/2010/591640.
- [12] "Energy Harvesting | Energy Harvesting | AdaptivEnergy," p. 11, 2011, [Online]. Available: <http://www.adaptivenergy.com/posts/energy-harvesting/>.
- [13] C. F. Guo, T. Sun, F. Cao, Q. Liu, and Z. Ren, "Metallic nanostructures for light trapping in energy-harvesting devices," *Light Sci. Appl.*, vol. 3, no. 11, pp. 1–12, 2014, doi: 10.1038/lssa.2014.42.
- [14] J. W. Kennedy, *Principles of Polymer Chemistry*, vol. 76, no. 10. 1954.
- [15] A. Gaur, S. Tiwari, C. Kumar, and P. Maiti, "Bio-waste orange peel and polymer hybrid for efficient energy harvesting," *Energy Reports*, vol. 6, pp. 490–496, 2020, doi: 10.1016/j.egy.2020.02.020.
- [16] M. Werwie, X. Xu, M. Haase, T. Basché, and H. Paulsen, "Bio serves nano: Biological light-harvesting complex as energy donor for semiconductor quantum dots," *Langmuir*, vol. 28, no. 13, pp. 5810–5818, 2012, doi: 10.1021/la204970a.
- [17] Y. Zhang and S. J. Park, "Flexible organic thermoelectric materials and devices for wearable green energy harvesting," *Polymers (Basel)*, vol. 11, no. 5, 2019, doi: 10.3390/polym11050909.
- [18] J. Subramanyam, G. B. Reddy, N. Raghavendra, and B. G. V. Reddy, "Experimental study of Thermoelectric Energy Harvesting," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1473, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1473/1/012019.
- [19] Y. Jiang, S. Liu, M. Zhong, L. Zhang, N. Ning, and M. Tian, "Optimizing energy harvesting performance of cone dielectric elastomer generator based on VHB elastomer," *Nano Energy*, vol. 71, p. 104606, 2020, doi: 10.1016/j.nanoen.2020.104606.
- [20] J. Xie, Y. Wang, R. Dong, and K. Tao, "Wearable device oriented flexible and stretchable energy harvester based on embedded liquid-metal electrodes and FEP electret film," *Sensors (Switzerland)*, vol. 20, no. 2, 2020, doi: 10.3390/s20020458.
- [21] E. Khansalee, K. Nuanyai, and Y. Zhao, "A dual-band rectifier for RF energy harvesting," *Eng. J.*, vol. 19, no. 5, pp. 189–197, 2015, doi: 10.4186/ej.2015.19.5.189.
- [22] P. Nintanavongsa, "A survey on RF energy harvesting: Circuits and protocols," *Energy Procedia*, vol. 56, no. C, pp. 414–422, 2014, doi: 10.1016/j.egypro.2014.07.174.
- [23] Y. Luo, L. Pu, G. Wang, and Y. Zhao, "RF energy harvesting wireless communications: Rf environment, device hardware and practical issues," *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 13, 2019, doi: 10.3390/s19133010.
- [24] A. P. Sunitha, K. Sandeep, P. Praveen, and K. J. Saji, "Materials Today : Proceedings

- Upconverting carbon quantum dots : An eco-friendly material for light energy harvesting and bio-imaging,” *Mater. Today Proc.*, no. xxxx, pp. 2019–2021, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.03.822.
- [25] M. Otsuka *et al.*, “Silicon nanocrystal hybrid photovoltaic devices for indoor light energy harvesting,” *RSC Adv.*, vol. 10, no. 21, pp. 12611–12618, 2020, doi: 10.1039/d0ra00804d.
- [26] T. A. Manvelova, S. A. Tarasov, and N. N. Ivanov, “Polymer Optoelectronic Bus for High-Speed Data Transmission Systems,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1400, no. 6, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1400/6/066051.
- [27] D. Braun, H. Cherdrón, M. Rehahn, H. Ritter, and B. Voit, *Polymer synthesis: Theory and practice: Fundamentals, methods, experiments, fifth edition*. 2013.
- [28] W. Song *et al.*, “Over 14% Efficiency Folding-Flexible ITO-free Organic Solar Cells Enabled by Eco-friendly Acid-Processed Electrodes,” *iScience*, vol. 23, no. 4, p. 100981, 2020, doi: 10.1016/j.isci.2020.100981.
- [29] M. A. Abood, F. I. Mustafa Alattar, and M. S. Badri, “Fabrication Flexible Solar Cells by Organic Semiconductors,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 757, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/757/1/012007.
- [30] J.-H. Kwon and R. Pode, “High Efficiency Red Phosphorescent Organic Light-Emitting Diodes with Simple Structure,” *Org. Light Emit. Diode - Mater. Process Devices*, no. June 2014, 2011, doi: 10.5772/18521.
- [31] A. Raj, M. Gupta, and D. Suman, “Simulation of multilayer energy efficient OLEDs for flexible electronics applications,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 152, pp. 301–308, 2019, doi: 10.1016/j.procs.2019.05.013.
- [32] C. Xue *et al.*, “Recent advances in thermally activated delayed fluorescence for white OLEDs applications,” *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, vol. 31, no. 6, pp. 4444–4462, 2020, doi: 10.1007/s10854-020-03060-z.
- [33] Z. Chai *et al.*, “Tailorable and Wearable Textile Devices for Solar Energy Harvesting and Simultaneous Storage,” *ACS Nano*, vol. 10, no. 10, pp. 9201–9207, 2016, doi: 10.1021/acsnano.6b05293.
- [34] H. Hu, F. Zhang, S. Luo, W. Chang, J. Yue, and C.-H. Wang, “Recent advances in rational design of polymer nanocomposite dielectrics for energy storage,” *Nano Energy*, vol. 74, no. January, p. 104844, 2020, doi: 10.1016/j.nanoen.2020.104844.

Ferramentas bibliográficas

MEDELEY: é unha ferramenta informática para a xestión das referencias bibliográficas nun documento de texto. Versión gratuíta.

SCOPUS: base de datos de artigos de investigación en revistas indexados con índices de calidade

SCIENCE DIRECT: base de datos de artigos científicos da editorial Elsevier

DEFINICIÓNS E ABREVIATURAS

AC: Corrente alterna

EH: Energy Harvesting

DC: Corrente continua

IA: intelixencia artificial

OLEDs: Organic Light Emitting Diode (diodo emisor de luz orgánico)

OSC: Organic Solar Cell (célula solar orgánica)

R2R: Roll to roll

RF: Radio Frecuencia

WOLED: White OLED

REQUISITOS DE DESEÑO

Para ter unha vista do futuro que teñen estes sistemas na Táboa 1 se recollen uns datos da EH que hai presente en cada un dos apartados segundo a clasificación que se ten en conta no presente traballo. A táboa en cuestión é unha aproximación da potencia máxima por superficie que se podería aproveitar nos dispositivos de EH segundo a fonte de enerxía elixida e segundo un subapartado característico en cada un de eles (como interior e exterior no caso da luz).

Se observa que as vibracións nas industrias xeran unha gran cantidade de enerxía residual, que a EH da RF é moi pouca e que o resto das enerxías son máis ou menos do mesmo orde. Para centrar este traballo nun ámbito en concreto da EH se ten en conta que o aproveitamento da luz é bastante interesante xa que ten unha cifra de $10\mu\text{W}/\text{cm}^2$ tanto no interior como no exterior.

Fonte de Enerxía	Enerxía Residual no Ambiente
Luz	
No interior	$10\mu\text{W}/\text{cm}^2$
No exterior	$10\mu\text{W}/\text{cm}^2$
Calor	
Humanos	$25\mu\text{W}/\text{cm}^2$
Industria	$1-10\text{mW}/\text{cm}^2$
Vibración	
Humanos	$4\mu\text{W}/\text{cm}^2$
Industria	$100\mu\text{W}/\text{cm}^2$
RF	
GSM	$0,1\mu\text{W}/\text{cm}^2$
WiFi	$0,001\text{ mW}/\text{cm}^2$

Táboa 1-Datos aproveitamento das distintas formas de EH (Fonte: [8])

Polo tanto se comezará cunha análise dos materiais dispoñibles para o aproveitamento da luz mediante EH e a continuación os dispositivos que actualmente estanse a desenvolver para esta aplicación. Por último faranse uns resultados finais nos que se propón un tema de estudo para seguir avanzado na EH da luz.

ANÁLISE DE SOLUCIÓNS

Materiais dispoñibles para o aproveitamento mediante EH da Luz

Neste apartado faise fai un barrido por algúns tipos de materiais utilizados na recolección da enerxía ambiental en forma de luz, comezando polos QDs, QDs orgánicos (CQDs), nanoestructuras metálicas e as nanoestructuras non metálicas.

Quantum Dots de Nanocristais Semicristalinos (QDs)

Un tipo de material que está a gañar puntos en aplicacións de aproveitamento da luz residual do ambiente é o formado por Quantum Dots de Nanocristais Semicondutores (QDs) debido ás súas propiedades de estabilidade óptica e electrónica dependentes do seu tamaño e forma.

Os QDs consisten nunha estrutura de núcleo e cuberta e poden ser clasificados en tres tipos, sendo o terceiro capaz de separar orificios para os electróns e osos para a luz no núcleo e na cuberta, polo tanto estes son moi interesantes para aplicacións de separacións de cargas. Demostrouse que os QDs son uns excelentes doantes de enerxía de excitación en transferencia de enerxía de resonancia de fluorescencia (FRET). Ademais os QDs fotoluminiscentes serven como donantes de enerxía para procesos de fotosínteses en bacterias moradas. Sen embargo non hai moitas aplicacións dos QDs como aceptores de enerxía. [16]

Na Figura 9 se observa un esquema de como as unha folla produce enerxía coa luz ambiental mediante excitación e a continuación a doa por medio de FRET. Os sistemas artificiais tratan de imitar este principio de funcionamento.

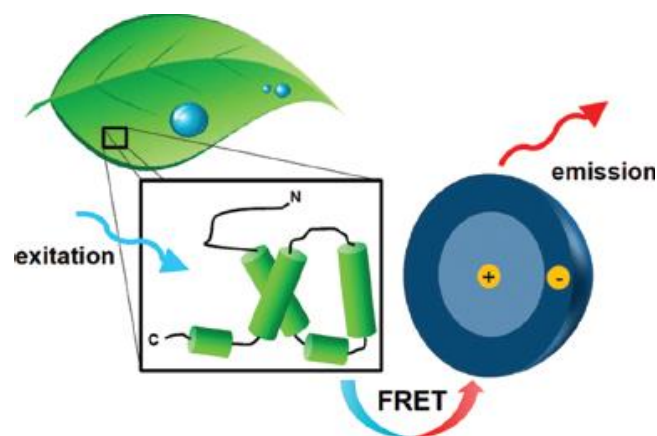


Figura 9-Fotosínteses con FRET (Fonte: [16])

Un exemplo destes materiais pode ser o LHCII (light harvesting chlorophyll a/b complex II, o máis abundante nas plantas grandes), ao cal se lle engaden uns pigmentos biolóxicos para mellorar a excitación sobre todo o espectro visible. Un tipo concreto de semiconductor naocrystalino inorgánico é o CdSe/ZnS como doador en cloroformo.

Na Figura 10 recóllense as curvas de absorción e fluorescencia do LHCII e de CdTe/CdSe/ZnS-DHLA. En cada diagrama pódense ver as curvas dos QDs sos, do LHCII so e dun híbrido da combinación dos dous. Nas curvas de absorción funciona mellor o híbrido en todo o espectro visible, seguido do LHCII e por último os QDs. No caso da fluorescencia o mellor é o LHCII seguido do LHCII cos QDs ata unha lonxitude de onda de 700 λ /nm, para valores maiores ten un mellor rendemento o híbrido LHCII+QD.

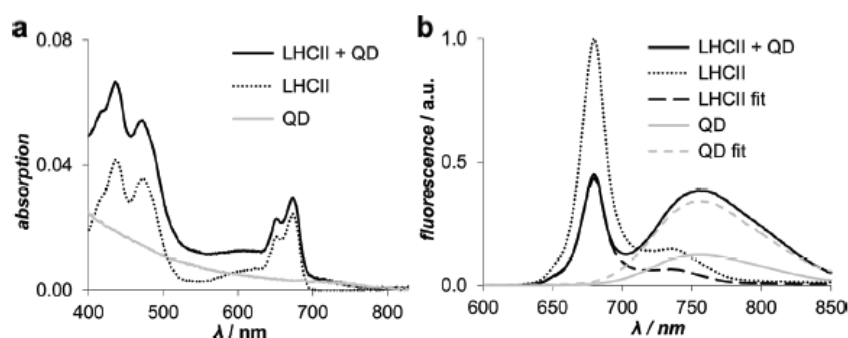


Figura 10-Curvas rendementos absorción e fluorescencia QDs (Fonte: [16])

QDs orgánicos ou baseados en Carbono (CQDs)

Unha opción orgánica e amigable co medio ambiente son os QDs Orgánicos (CQD) sintetizados por conversión ascendente de carbonos. Os puntos cuánticos de Carbono (CQD) ecolóxicos están a atopar moitas aplicacións no campo da detección química, aplicacións fotocatalíticas e fotovoltaicas. A diferenza dos QDs, os baseados en carbono non son tóxicos polo que son adecuados para un maior número de aplicacións na ciencia e na tecnoloxía.

A conversión ascendente é un proceso óptico que implica a conversión de fotóns de baixa enerxía en fotóns de alta enerxía. Esta emisión de fotóns de alta enerxía lógrase mediante a absorción de múltiples (normalmente dous ou tres) fotóns por cada fotón emitido. A absorción de dous fotóns (TPA) é un dos métodos máis importantes para lograr a fluorescencia por conversión ascendente. Por tanto TPA implica a absorción simultánea de dous fotóns de menor enerxía para producir unha maior emisión de enerxía. TPA é directamente proporcional ao cadrado da intensidade de luz mentres que a absorción dun fotón depende linealmente da intensidade da luz.

O rendemento da emisión dos CQDs é do 11.2% e, a diferenza dos semicondutores habituais, este material mostra unha fotoluminiscencia ascendente: ao excitar cunha lonxitude de onda de luz de 695nm se observa unha emisión convertida para arriba centrada a 438nm. Para a conversión ascendente, como a lonxitude de excitación está na enerxía máis baixa, a foto descomposición será mínima. [24]

Nanoestruturas metálicas

Os últimos avances en nanotecnoloxía e nos métodos de fabricación deron como resultado un emerxente campo de plasma sónicos mediante a adecuada produción de nanoestruturas Metálicas para manipular a luz. Estes materiais permiten capturar a luz en capas activas mellorando así o rendemento dos dispositivos de recolección de enerxía.

O efecto de captura da luz nestes materiais permite que o grosor do material sexa máis pequeno polo que diminúe o custo das células solares. Ademais un grosor menor beneficia a recolección da enerxía cando a lonxitude de difusión do portador na capa activa non é suficientemente longa. As aplicacións que se lle atribúen á nanotecnoloxía son tanto de recolección de luz como da calor, de feito a eficiencia da conversión en dispositivos de calor é moito maior que nos de luz pero actualmente préstaselle máis atención e invéstigase máis nos dispositivos que aproveitan luz.

O campo dos plasma sónicos ofrecen mellorar as eficiencias das células solares finas. Actualmente estanse a estudar e utilizar tres estruturas distintas para atrapar a luz en dispositivos delgados que diminúen notablemente o grosor do dispositivo ao mesmo tempo que manteñen unha boa absorbancia. Na Figura 11 se poden ver os tres métodos: deposición, incrustación e moldeado. A capa azul é a ARC (Antireflective Coating), a laranxa a capa activa e a gris o metal.

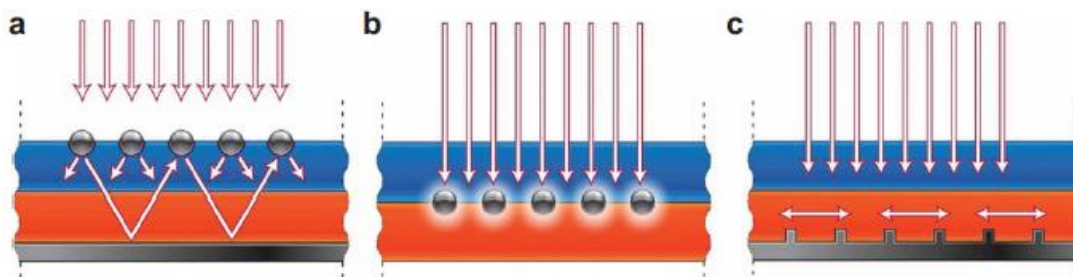


Figura 11-Esquema das nanoestruturas metálicas plasmónicas (Fonte: [13])

O primeiro (a) dispóñense nanopartículas metálicas enriba dunha célula solar de maneira que pode dispersar unha ampla gama de luz e atrapa as ondas planas que se propagan libremente na película delgada dobrando a luz nunha capa fina absorbente. Neste caso, a redistribución angular da luz e o reflexo do contacto posterior tamén aumentan a lonxitude do camiño óptico e, polo tanto, contribúen á captura da luz.

Na segunda estrutura (b) as nanopartículas incrustanse polo que pódense usar como lonxitude de subondas de antenas para as cales xúntanse os plasmones de superficies localizados excitados co semiconductor, aumentando a súa sección transversal de absorción efectiva.

A terceira (c) trátase dun modelado con contacto posterior metálico dunha capa absorbente fotovoltaica delgada que pode acoller a luz coa superficie plasma sónica polarizada (Solar Plasmasonic Polariton). [13]

Nanoestuturas non metálicas

Tamén se utilizan Nanoestructuras Non Metálicas, como pode ser o híbrido de nanocristais de Silicio (Munehika Otsuka, 2015). Os nanomateriais con tamaños de ata un só nano-orde posúen unhas boas propiedades ópticas e eléctricas que dependen do seu tamaño as cales distan das súas propiedades en materiais que non sexan nanomateriais.

Entre estes materiais destacan os nanocristais de silicio (SiNCs) xa que son semicondutores abundante e non son tóxicos, polo que se amplían as súas aplicacións respecto aos anteriores. Este material permite a expansión da flexibilidade do dispositivo que conforma e proporciona un mellor rendemento. Este material consegue un rendemento dun 3.6% baixo unha radicación estándar e a súa capacidade de foto absorbanza vai dende o infravermello ata cerca do ultravioleta pero demostrouse que estes materiais funcionan mellor con aplicacións Indoor xa que as súas propiedades case non varían se a luz dispoñible está dentro do espectro visible.

Os SiNC sintetízanse mediante CVD plasmática non térmica. O material que se usa como precursor é o SiCl_4 porque é abundante, económico e non é tóxico. Para produci-lo introdúcese nun reactor tubular de cuarzo o SiCl_4 , H_2 e Ar de maneira que acóllense capacitivamente. O plasma non térmico non precisa unha frecuencia moi alta na fonte de alimentación (70MHz). O H_2 activado polo plasma extrae o cloro do SiCl_4 o que produce unha nucleación e o posterior crecemento do SiNCs. [25]

Para comprender o seu comportamento fronte a luz solar, na Figura 12 recóllense os resultados de experimentos de diversos dispositivos formados por híbridos de SiNC baixo a iluminación dun sol ($100\text{mW}/\text{cm}^2$) no que se utiliza o PTB7 como polímero semiconductor de tipo p. Para cada composto se recollen os datos de Eficiencia de Conversión de Enerxía (PCE), densidade de corrente de curto-circuíto (J_{sc}), a voltaxe de circuíto aberto (V_{oc}) e o Factor de Forma (FF) en porcentaxe.

Device configuration	J_{sc} [mA cm^{-2}]	V_{oc} [V]	FF [%]	PCE [%]
As-H:SiNCs/PTB7	9.39	0.67	38.99	2.44
H:SiNCs (200 °C)/PTB7	8.24	0.67	35.37	1.96
H:SiNCs (400 °C)/PTB7	0.24	0.51	28.97	0.03
TiO ₂ -NCs/PTB7	0.57	0.19	33.94	0.04
As-H:SiNCs/PTB7-Th	9.70	0.66	46.71	3.01

Figura 12-Híbridos de SiNC para EH da luz (Fonte: [25])

A disociación dos excitóns foto xerados ocorre de maneira eficaz nas interfaces do SiNC co polímero, sen embargo, o transporte dos electróns a través das partículas pode ser alterado se non se crea o transporte por medio dunha vía por percolación.

Dispositivos EH para o aproveitamento da luz

Dispositivos Indoor vs dispositivos Outdoor

Ao falar de tecnoloxías con usos Indoor hai que ter en conta que a iluminancia dispoñible está por debaixo dos 100 luxes, o que soen ser ambientes de oficinas, interiores das casas ou ambientes en xeral de calquera recinto de interior.

Nos últimos anos, debido ao rápido desenvolvemento da tecnoloxía relacionada co IoT (Internet of Things), a cantidade de dispositivos IoT aumentou moito. Para alimentar estes dispositivos estanse a crear dispositivos fotovoltaicos imprimibles, células solares sensibilizadas con colorantes e perskovitas solares para aplicacións de interior. [25] Estes dispositivos pretenden alimentar con pequenas potencias sensores de tecnoloxías relacionadas co IoT.

Un exemplo destes dispositivos son os formados por híbridos de nanocristais de silicio (introducidos anteriormente). Na Figura 13 recóllese o comportamento de absorbancia no rango de lonxitude de ondas de 360 a 950nm. Na gráfica se observan os comportamentos para o SiNC e diversos compostos co polímero PTB₇, pódese concluír que para as aplicacións Indoor o mellor é utilizar un composto das nanoestructuras non metálicas co polímero semiconductor.

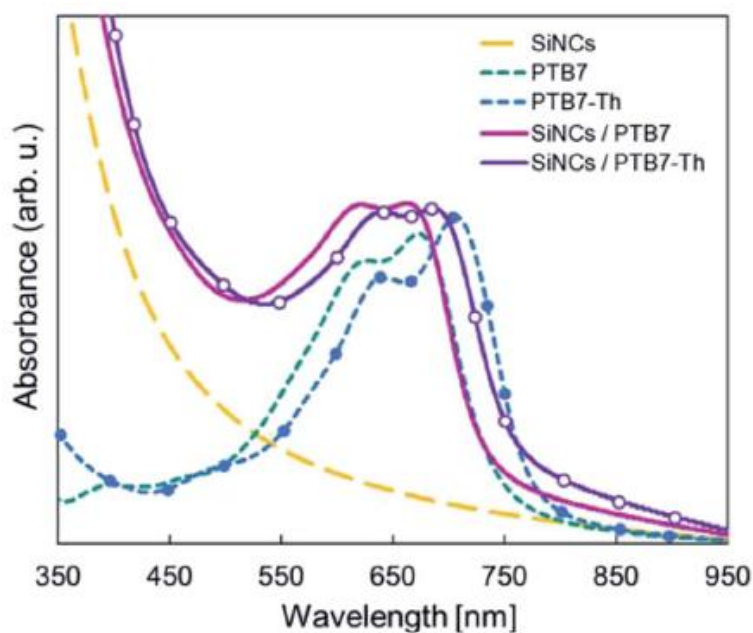


Figura 13-Comportamento Indoor SiNCs con polímero (Fonte: [25])

Dispositivos con tecnoloxía Opto electrónica

Os materiais semicondutores orgánicos de alto rendemento con capacidades de absorción da luz están sendo estudados co obxectivo de mellorar a enerxía fotovoltaica con dispositivos orgánicos (OSCs) co que ten un papel importante no desenvolvemento da recolección de enerxía ambiental en forma de luz. As vantaxes que teñen estes dispositivos orgánicos fronte ás células convencionais (inorgánicas) son as súas propiedades de adaptabilidade, conseguindo unhas

formas e tamaños concretos, a transparencia e a optimización na que se traducen estas propiedades. [25]

A opto electrónica dedícase ao estudo e a posterior aplicación de dispositivos que detectan, controlan e xeran luz para transformala en electricidade e viceversa. Polo tanto a opto electrónica relaciona á electrónica coa luz transformando enerxía electromagnética en eléctrica e ao revés. [26]

Esta tecnoloxía baséase nos efectos cuánticos que a luz xera nos materiais electrónicos, cobrando moita importancia polo tanto os materiais semicondutores. Na Figura 14 obsérvanse os polímeros intrinsecamente semicondutores máis comúns nas tecnoloxías que aproveitan a luz a pequena escala para a produción de enerxía.

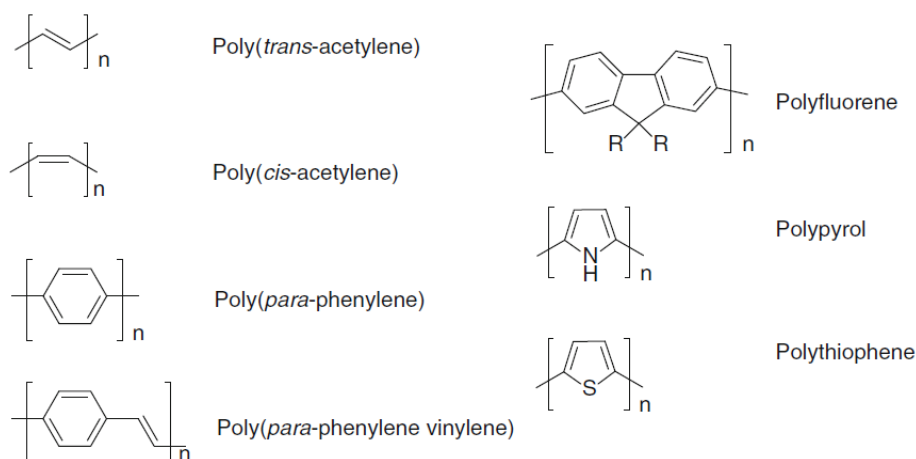


Figura 14-Polímeros semicondutores para opto electrónica (Fonte: [27])

Os polímeros orgánicos semicondutores posúen unhas propiedades electrónicas e ópticas únicas. Ademais ao tratarse de materiais orgánicos caracterízanse con todas as propiedades relacionadas con este tipo de materiais. As propiedades electrónicas son posibles grazas á súa estrutura, xa que, a diferenza dos materiais inorgánicos semicondutores, estes non precisan cristalizar de maneira altamente ordenada, co que a súa sínteses resulta moito máis sinxela (por deposición de disolucións por exemplo).

Unha parte importante destas tecnoloxías son os eléctrodos. O seu material de fabricación por excelencia é o óxido de Indio dopado con dióxido de Estaño (ITO) que presenta unha transmitancia óptica balanceada e unha excelente condutividade eléctrica. Con todo a escaseza de Indio provoca que a súa fabricación sexa moi custosa. Súmase o problema de que o ITO degrádase baixo certas tensións de deformación polo que pode diminuír o rendemento do dispositivo.

Unha solución a estes problemas podería ser a investigación en dispositivos opto electrónicos cos seus correspondentes materiais máis útiles para a fabricación masiva, sempre perseguindo as propiedades de condutividade, transparencia e flexibilidade mecánica. [28]

Actualmente contéplanse tres opcións aos materiais ITO:

- Materiais baseados no carbono: nanotubos de carbono, grafeno e polímeros condutores

- Materiais electrónicos transparentes baseados en metais: nanocables metálicos, rexas metálicas e metal ultra lixeiro
- Estruturas híbridas: unha combinación das dous anteriores

OSCs

No mercado das células solares orgánicas van gañando importancia as OSC flexibles como fonte de enerxía limpa, especialmente en aplicacións de dispositivos en roupa e en auto-alimentación de pequenos dispositivos electrónicos flexibles.

No caso dunha célula solar os procesos son inversos aos que ocorren nas OLEDs, na Figura 15 obsérvanse os procesos principais que teñen lugar nestes dispositivos e as súas capas fundamentais.

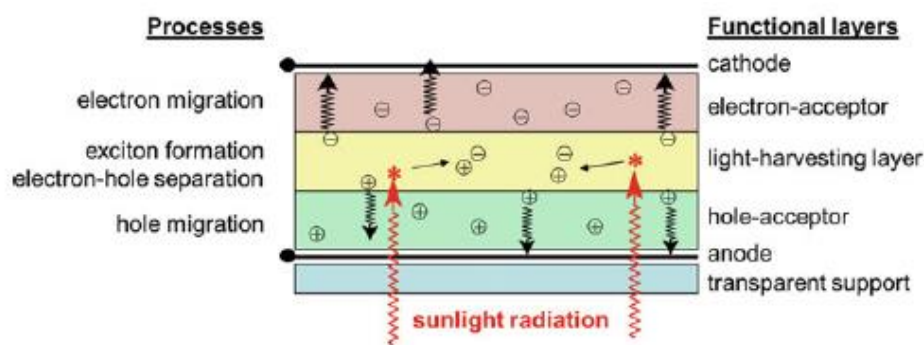


Figura 15-Arquitectura fundamental da OSC e procesos principais de funcionamento (Fonte:[27])

Tras a absorción da luz, unha unidade cromática do polímero funcional (ou un tinto incrustado na matriz polimérica) migra dende a súa base ata un estado excitado. É dicir, o electrón móvese dende o orbital molecular ocupado máis alto (HOMO) da entidade absorbente ao oco que hai no orbital máis baixo (LUMO).

Desta maneira fórmase un estado excitado (excitón) que poderase relaxar por medio dunha vía radiante ou non radiante, que darán como resultado unha emisión dunha fluorescencia cuántica (fotoluminiscencia) ou un quecemento (excitación en forma de vibración).

Paralelamente ao proceso anterior o excitón fai uso do pares electrón-oco que posúe, e sepáraos nun electrón illado e un oco illado que se situarán en distintos sitios.

Unha vez sepárase o par o electrón e o oco móvense en direccións opostas aos seus respectivos eléctrodos. Con aras de minimizar posibles procesos de recombinación e desactivación o proceso de migración debe darse a través de vías diferentes para ocos e electróns.

Na Figura 16 obsérvase un esquema dunha célula solar cos materiais máis comúns con ITO. Estes dispositivos son moi lixeiros, flexibles e permiten unha fácil integración con outros dispositivos mediante deposición por técnicas de R2R.



Figura 16-Materiais orgánicos para células solares (Fonte: [28])

Outra opción de células solares son as que non conteñen ITO, xa se comentou anteriormente o por que desta necesidade de abolir o ITO. Na Figura 17 pódese ver un exemplo sen este material.

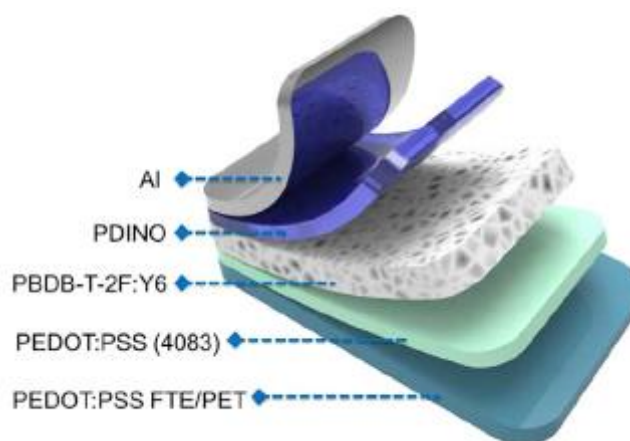


Figura 17-Estructura dunha OSC sen ITO (Fonte: [29])

Un dispositivo de emisión de enerxía moi utilizados xunto coas células solares orgánicas son os OLEDs. Os OLEDs foron inventados no 1980, despertando o interese entre os investigadores debido ao seu pouco consumo de enerxía, a súa alta eficiencia, a súa lixeireza e as súas características que lle outorgan flexibilidade. Por tanto ao longo dos últimos anos búscanse novos materiais na gama dos OLEDs que dean mellores eficiencias nas cores e cunha vida útil mellor. Os últimos estudos indican que para conseguir estes obxectivos hai que perseguir os OLEDs de luz branca xa que son os materiais con mellor reprodución cromática (High CRI). [30]

Os dispositivos de emisión de luz orgánicos (OLEDs) basean o seu traballo nos principios da luminescencia, pódense atopar á venda comercial e se usan en dispositivos que requiran moi pouca potencia. O seu estudo actual baséase en mellorar a súa eficiencia enerxética, tanto dende o punto de vista electrónico como do óptico. [31] Na Figura 18 obsérvanse tanto os principais procesos que teñen lugar nunha OLED como as súas capas principais.

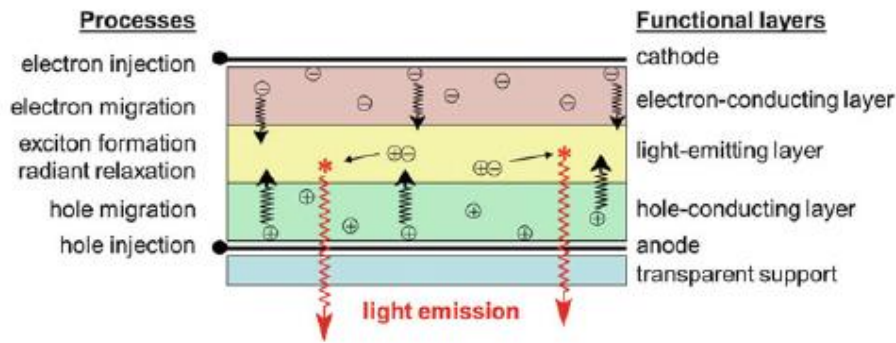


Figura 18-Arquitectura fundamental dunha OLED e principais procesos de funcionamento (Fonte: [27])

Nun dispositivo OLED en funcionamento, os electróns retíranse da composición do polímero na súa interface co ánodo no momento que a voltaxe aplicada é suficientemente alta. Dende o punto de vista químico, o polímero oxidase, polo que se lle 'inxecta' un oco (é dicir aparece unha deficiencia de electrón nese lugar ao que se lle denomina oco) que formalmente xeneralízase por unha carga positiva. Polo tanto a este proceso denomínaselle 'inxección de ocos' (este proceso ten lugar no ánodo). Paralelamente a este proceso no cátodo inxéctanse electróns no material funcional, polo que o polímero sofre un proceso de redución e un portador de carga negativa (chamado electrón) aparece na interface.

Os portadores de carga inxectados son impulsados polo campo eléctrico producindo a súa migración cara ao oco do polímero, polo tanto móvense un cara ao outro dende las interfaces opostas.

Unha vez dentro da capa orgánica os electróns atópanse cos ocos e combínanse, isto quere dicir que se forma un par electrón-oco, o que indica un estado excitado electronicamente (excitación). A continuación a excitación reláxase no estado fundamental electrónico mediante a emisión de luz (relaxación radiante, a miúdo chamada 'electro-luminescencia').

Como comentábase anteriormente as OLEDs máis efectivas son as brancas (**WOLEDs**) cunhas eficiencias de Lm/W. Para esta aplicación das OLED realizáronse estudos con materiais de activación térmica con atraso (TADF) xa que poden aproveitar todos os excitóns sen necesidade de metais nobres para emitir luz. Por esta razón crese que serán a seguinte xeración de materiais orgánicos para a emisión de luz (ano 2019). O deseño e a aplicación de materiais TADF en dispositivos WOLED experimentou un rápido desenvolvemento en campos fundamentais da ciencia e a tecnoloxía industrial. [32] Na Figura 19 recóllense os principais materiais utilizados para as WOLED, todos eles teñen unha boa eficiencia debido ao seu alto LUMU e o seu profundo HOMO.

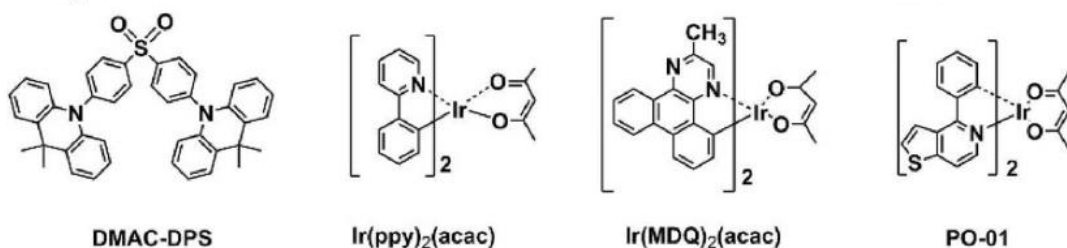


Figura 19-Materias das WOLED (Fonte: [32])

Dispositivos de EH na roupa

A era dos dispositivos electrónicos que se poñen no corpo chegou xa e pódese ver cos reloxs intelixentes, os teléfonos intelixentes ou as aplicacións biomédicas dos dispositivos electrónicos. A busca dunha boa combinación entra a tecnoloxía e a moda apuntan directamente ao desenvolvemento de prendas intelixentes.

Un desafío que se atopan estes dispositivos é o como facer para alimentalos con enerxías renovables, ademais de necesitar algún sistema de almacenaxe. Recentemente estase a considerar a posibilidade de que os dispositivos poidan alimentarse e almacenar a enerxía ao mesmo tempo con sistemas de Energy Harvesting, polo que a tecnoloxía de dispositivos enerxéticos en forma de fibra é moi interesante neste caso. [33]

Na Figura 20 recóllese o proceso de fabricación destas prendas de maneira esquemática. No apartado a vese a fabricación a gran escala dos foto ánodos (DSSC) e das fibras supercapacitoras (FSC), que se poden partir en segmentos unha vez sintetizadas. No seguinte apartado fábrase o tecido que a continuación sofre os procesos de confección e costura nos que se integran os FSC e DSSC. Estes tecidos acaban por ser roupa para as persoas que poden usala para cargar dispositivos que requiran unha pequena potencia como se pode ver no apartado c que a persoa está a cargar unha Tablet co seu xersei.

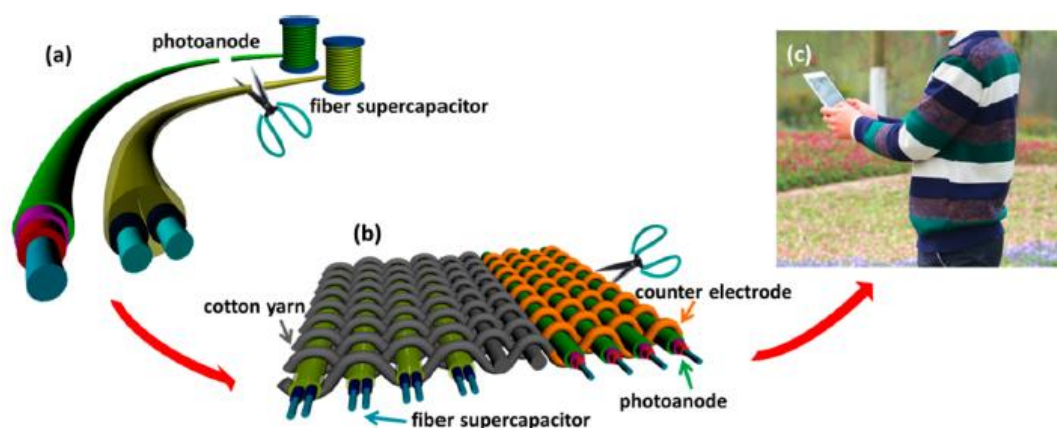


Figura 20-Esquema da composición e estrutura das prendas intelixentes (Fonte: [33])

Para comprender o funcionamento destas prendas na Figura 21 obsérvase o tecido de enerxía de carga lixeira (unidade DSSCs-FSC) fabricada con fíos de algodón. Pódese ver na figura da esquerda a alta adaptabilidade que ten este tecido, o seu funcionamento equivalente nun circuito móstrase na segunda imaxe na que os dos fíos paralelos de TiN (FSCs) terían unha lonxitude de 4 cm e se usan como almacenaxe da enerxía. Polo tanto ao ser exposto á luz, os DSSCs xeran enerxía a cal se almacena nos súper condensadores. Cando hai iluminación solar o módulo FSC carga ata 1.2V en 17s, máis adiante, cando se demanda a enerxía, esta pode ser descargada en 0.4mA (20s), 0.2mA (40s) ou 0.1mA (78s) como se recolle na gráfica.

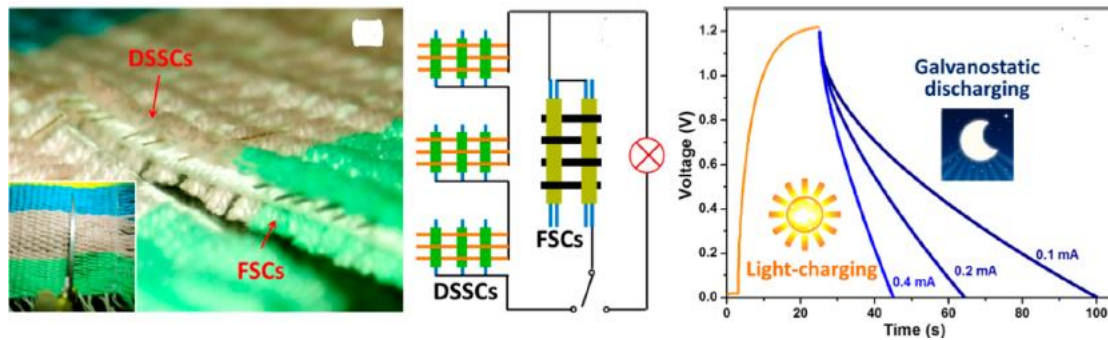


Figura 21-funcionamento do tecido solar (Fonte: [33])

Co desenvolvemento dos dispositivos electrónicos na roupa, nos últimos anos estanse a descubrir novos materiais como nanomateriais con elastómeros flexibles e elásticos. Para mellorar a capacidade de estirarse engádense partículas condutoras como nanopartículas, nanotubos de carbono, nanocables de prata e grafeno, normalmente cóbrense ou se incorporan nun elastómero brando como o polidimetilsiloxano (PDMS), o Ecoflex, elastómeros de silicona, caucho ou elastómeros de pel de dragón. O material a utilizar dependerá do uso que se lle queira dar ao dispositivo (o que se alimente) e da maneira coa que se pretenda absorber a enerxía. [20]

Un problema dos materiais é que danan ao medio ambiente, polo que nos estudos máis recentes tratan de solventalo. Tamén se trata de alargar a súa vida útil xa que soe ser bastante curta.

Un eléctrodo utilizado nesta tecnoloxía é o TiN NWs recuberto de Carbono, na Figura 22 se recolle o esquema de súa fabricación. Os tres procesos aos que se lle somete son un intercambio de ións hidrotérmicos alcalinos, a continuación reacciona con Nitróxeno e por último se lle aplica unha carbonización hidrotérmal para a súa cobertura.

Estes FSC simétricos baseados en nanocables de TiN teñen unha boa capacidade de adaptación ao tecido, cargan moi rápido e as súas propiedades de flexión son moi altas.

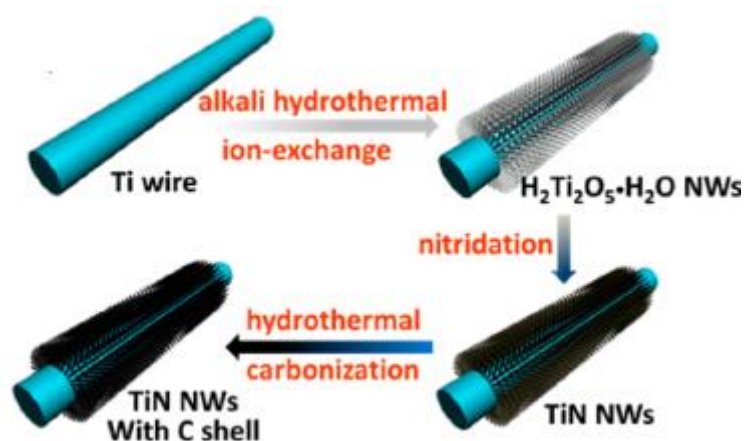


Figura 22-fabricación do TiN NWs (Fonte: [33])

RESULTADOS FINAIS

Unha maneira de avanzar na recolección da enerxía ambiental pode ser mellorando os circuitos de administración da enerxía, xa que coa súa optimización pódense alcanzar maiores rendementos para certas aplicacións. Tamén mellora o rendemento a utilización de novos materiais para a almacenaxe da enerxía, [10] polo que son potenciais campos de estudo coa finalidade de mellorar os dispositivos de EH. Un campo moi interesante polo que se viu anteriormente son os dispositivos (como células solares) de EH incorporados en prendas téxtiles que poden almacenar a enerxía eléctrica.

Os compostos de polímeros semicondutores atraeron unha atención crecente para aplicacións de almacenamento de enerxía eléctricas nos últimos anos debido ao seu realzado rendemento dieléctrico por combinación de nanopartículas coa forza de desagregación eléctrica alta da matriz polimérica. Grazas á aplicación de IA co Machine Learning xunto cos modelos analíticos, xorden novos deseños. [34]

Por todo isto neste traballo propónse o desenvolvemento dun novo proxecto de investigación sobre novos materiais para a almacenaxe da enerxía. No presente traballo cítanse diversos materiais para dispositivos de EH na roupa como son os fíos paralelos de TiN (fibras supercapacitoas, FSCs). Sen embargo quérese avanzar na dirección dos materiais de baixo impacto medioambiental (como poden ser os biopolímeros) máis amigables co medio ambiente con aras dunha redución do impacto dos téxtiles actuais.

O obxectivo xeral do proxecto de investigación será o estudo de novos compostos formados por matrices bioplásticas e distintas cargas condutoras como poden ser CNT, grafeno, IPC (polímeros intrinsecamente condutores como o PANI ou o PEDOT) que teñan propiedades eléctricas útiles para o almacenamento de enerxía.

Estudarse a viabilidade destes compostos poliméricos condutores na fabricación de fibras téxtiles con aplicacións de almacenaxe de enerxía.

O obxectivo desta busca de materias non é outra que conseguir un desenvolvemento escalable co mellor ratio de prezo/ propiedades posible.

Plan de traballo e metodoloxía

Para a consecución dos obxectivos do proxecto propónse a execución das seguintes tarefas:

TAREFA 0: Revisión bibliográfica

Buscarase a bibliografía científica mas recente no campo de biopolímeros, polímeros e cargas condutoras así coma desenvolvementos en novos compostos condutores para almacenaxe de enerxía eléctrica.

TAREFA 1: Desenvolvemento da formulación de novos nano-compostos de matriz polimérica termoplástica, (Biopolímeros) e nano-recheos condutores.

O obxecto desta primeira tarefa é o desenvolvemento de novas fórmulas poliméricas (especialmente baseadas en biopolímeros) para a obtención de novos produtos con propiedades diferenciadas.

Subtarefa 1.a: Selección do biopolímero, cargas condutoras e aditivos

Baseándose nas características buscadas para os novos materiais compostos, seleccionarase a matriz ou as matrices plásticas non condutoras que en principio mellor se adecúen ás necesidades do novo produto, sobre todo no que se refire ás propiedades físicas, xa que actuarán como matriz do material composto condutor. As opcións máis probables serán PLA, PHBV, etc.

Como carga condutora estudarase a incorporación de nanotubos de carbono (CNT) e un polímero intrinsecamente condutor coma a polianilina (PANI) en forma de nanofibras.

Por outra parte seleccionaranse os aditivos necesarios para a formulación tendo en conta as propiedades finais das fibras (estabilizantes, dispersantes, etc).

Subtarefa 1.b: Formulación dos materiais nano-compostos condutores

Nesta etapa probaranse distintos métodos para a preparación dos nano-compostos condutores no laboratorio. En particular para o caso dos compostos con nanocargas condutoras (nanotubos de carbono (CNT), nanofibras de PANI), existen fundamentalmente dous métodos: o mesturado directo coa matriz plástica mediante extrusión ou ben disolver primeiro os CNT e posteriormente mesturar a disolución coa matriz.

As propiedades finais do nano-composto dependerán directamente da dispersión e homoxeneidade da nanocarga dentro da matriz. É dicir, de pouco serve ter un contido moi alto de nanocarga se non se lle consegue unha boa dispersión dentro da matriz. Nesta fase é moi importante estudar o efecto dos parámetros de procesado da morfoloxía obtida no material. Para iso utilizarase primeiro unha microextrusora que permite ensaiar distintos parámetros reolóxicos (temperatura de mestura, velocidade de cizalla, etc) con cantidades moi pequenas de mostra, para despois poder ensaiar o procesado nunha extrusora de dobre parafuso maior (pero en escala laboratorio), e obter mostras dos nano-compostos que permita a súa caracterización física. A continuación determinase a cantidade ou cantidades de cargas e/ou aditivos máis adecuadas para incorporar á matriz.

Subtarefa 1.c: Estudo da compatibilidade das nanocargas coas matrices plásticas

Moitas veces para mellorar este aspecto, as nanocargas se funcionalizan mediante un proceso químico anterior ao mesturado que permite aumentar a compatibilidade coa matriz e mellorar a dispersión. Analizarase se é necesario este paso previo antes do mesturado por extrusión ou mesmo, se existen no mercado nanopartículas xa funcionalizadas que se poidan utilizar directamente.

Subtarefa 1.d: Caracterización dos nano-compostos en forma de granza

A partir da información obtida na tarefa anterior, fabricaranse distintas probetas de polímeros coas cargas e aditivos preseleccionados, para obter as propiedades mecánicas/físicas baixo os mesmos parámetros de ensaio e poder realizar unha análise comparativa entre os distintos materiais.

Mediante o uso dunha amasadora ou ben unha extrusora de dobre parafuso de laboratorio obtéranse as distintas formulacións, desta forma obtérase un material en forma de granza que se someterá a moldeado mediante inxección ou compresión para a obtención das probetas estándar para os ensaios de caracterización. Para a caracterización dos materiais se levarán a cabo os seguintes ensaios:

- **Caracterización mecánica:** Analizarase o comportamento mecánico dos diferentes materiais a través de ensaios de tracción mecánica. De ser necesario, avaliarase o efecto da temperatura de uso na resistencia mecánica do material.
- **Caracterización física:** Determinación da densidade dos materiais, temperatura máxima de utilización (VICAT -HDT) e propiedades térmicas mediante calorimetría diferencial de varrido (DSC). Analizarase tamén a degradación térmica do material mediante análise termo-gravimétrico (TGA), esta información é necesaria para establecer a temperatura máxima de transformación dos materiais.

Subtarefa 1.e: Propiedades eléctricas/ dieléctricas dos nanocomposites

Medirase a condutividade eléctrica e/ou propiedades dieléctricas en función da composición do nano-composto, para iso utilizarase un analizador para medir a resistividade superficial (polo método das 4 puntas) e un analizador dieléctrico para avaliar a constante dieléctrica en función da frecuencia. A análise destas propiedades permitirá seleccionar as formulacións que mellores propiedades eléctricas/dieléctricas presenten para o seu estudo posterior en forma de fibra.

TAREFA 2: Estudo da procesabilidade dos compostos en forma de fibra por extrusión

Subtarefa 2.a: Procesabilidade dos nano-compostos en forma de granza

Primeiro analizarase a procesabilidade por extrusión dos materiais condutores en forma de granza. Para iso, será necesario a análise das propiedades reolóxicas dos materiais, establecer a súa xanela de procesado (rango de temperaturas no que se pode procesar sen sufrir degradación térmica), a necesidade de utilizar mais dun alimentador para dosificar os polímeros e aditivos segundo a formulación desexada, tratamento necesarios previos á extrusión (curvas de secado, modificación superficial de nanocargas para mellorar a dispersión, etc), configuración dos prtafusos para obter mellor dispersión e maior homoxeneidade, etc.

Subtarefa 2.b: Procesabilidade dos nano-compostos en forma de fibra

En segundo lugar utilizarase unha extrusora de filamento para extrusionar o material en forma de fibra. Avaliarase as características da fibra obtida (homoxeneidade no diámetro, aspecto superficial, etc) en función dos parámetros de traballo (velocidade de extrusión, cociente de alongamento, perfil de temperaturas, composición do material, etc)

TAREFA 3: Caracterización das biofibras poliméricas téxtiles

Mediranse as súas propiedades térmicas mediante calorimetría diferencial de varrido (DSC), propiedades mecánicas (tracción en función da velocidade de alongamento e a temperatura) e analizarase a súa morfoloxía en función da súa composición mediante microscopía electrónica (SEM ou TEM).

TAREFA 4: Avaliación das propiedades eléctricas/ dieléctricas das fibras obtidas para almacenamento de enerxía eléctrica

Subtarefa 1.a: Propiedades eléctricas/ dieléctricas dos nanocomposites

Medirase a condutividade eléctrica e/ou propiedades dieléctricas en función da composición do nano-composto, para iso utilizarase un analizador para medir a resistividade superficial (polo

método das 4 puntas) e un analizador dieléctrico para avaliar a constante dieléctrica en función da frecuencia.

Subtarefa 1.b: Voltaxe de Ruptura dieléctrica

Avaliarase tamén a resistencia dieléctrica (mediante o voltaxe máximo que soporta ata a ruptura dieléctrica) dos compostos en forma de filme ou tecidos a partir das fibras obtidas. Este parámetro é crucial para obter a densidade de enerxía que pode almacenar o material.

TAREFA 5: Estudo da procesabilidade dos compostos a escala industrial

Coma tarefa final avaliarase a procesabilidade dos compostos en forma de fibra a escala industrial. O estudo teórico incluírá o cálculo dos custos totais de fabricación dos novos tecidos tendo en conta a formulación ou formulacións con mellores propiedades obtidas e menor porcentaxe de nanocarga.

Equipamento dispoñible

O proxecto levarase a cabo co material do que dispón o grupo de Polímeros que ten tres laboratorios: o Laboratorio de Polímeros na Escola Universitaria Politécnica (Ferrol), o Laboratorio de Plásticos no Centro de Investigacións Tecnolóxicas (CIT) (Ferrol) e o Laboratorio de Química tamén no CIT, coa seguinte infraestrutura dedicada á investigación en Ciencia e Tecnoloxía de Polímeros.

- Análises Térmico
 - Analizador dínamo mecánico, DMA 7 de Perkin Elmer. Dispón de sistema crioxénico externo (refrixerante N2 líquido), CCA-7 e Intracooler.
 - Analizador termo gravimétrico, TGA 7 de Perkin Elmer.
 - Calorímetro diferencial de barrido modulado, DSC 7 de Perkin Elmer. Equipado con cámara subambiente e Intracooler.
 - Calorímetro diferencial de barrido, DSC Diamont de Perkin Elmer.
 - Calorímetro diferencial de barrido, DSC de Waters
- Propiedades Mecánicas
 - Máquina universal de ensaios, Instron 5566. Preparada para ensaios de tracción, compresión e flexión en tres puntos. Dispón de cámara climática (refrixerante CO2), extensómetros de vídeo, lonxitudinal e transversal.
 - Péndulo de impacto instrumentado, Wolpert PW5. Preparado para ensaios Charpy e Izod.
 - Durómetro Wolpert DIA-TESTOR 722. Análises de durezas Rockwel, Brinell e Vickers.
 - Durómetro shore A e D
- Microscopía
 - Estereomicroscopio Nikon SMZ-U con equipo de microfotografía H-III de Nikon.
 - Analizador Micro-térmico, mTA 2990, TA Instruments. Equipo combinación de microscopía de forza atómica (AFM) con microscopía de sonda térmica de barrido (SThM).
- Procesado e Reoloxía

- Extrusora monohusillo
- Extrusora biparafusa corrotante
- Máquina de moldeo por inxección de 35 TM
- Mininectora de laboratorio
- Microextrusora biparafusa cónica contrarrotante.
- Liña de fabricación de láminas e filmes
- Liña de fabricación de tubos
- Amasadora para termoplásticos e termoestables
- Granceadora
- Prensa pneumática
- Troqueladora
- Reómetro de torsión de pratos paralelos, modelo Ares (TA Instruments)
- Cromatografía de Líquidos
 - Cromatógrafo de Líquidos con detectores de red de díodos, dispersión de luz e índice de refracción. Equipado con bomba de gradiente e inxector automático (Waters 2695), detector de rede de díodos (Waters 996), detector de dispersión de luz, detector de índice de refracción.
- Propiedades eléctricas
 - Analizador dieléctrico, DEA de Waters
 - Analizador térmico LFA447 Nanoflash
 - Analizador eléctrico LORESTA-GO MCP-T610
- Espectrofotometría
 - Espectrofotómetro infravermello por transformada de Fourier (FTIR), con accesorio Attenuated Total Reflectance (ATR) de Brucker.
 - Espectrofotómetro Portátil Konica Minolta CM-2500d

Xestión de residuos

Para a eliminación dos distintos residuos que xéranse no desenvolvemento da parte experimental do proxecto, no laboratorio dispónse de bidóns rotulados e clasificados en función do tratamento que esixe a eliminación de cada residuo.

A recollida destes bidóns a realiza periodicamente un xestor de residuos autorizado.

Táboa de desenvolvemento do proxecto

Nas Táboas 2, 3 e 4 recóllese a táboa de desenvolvemento do proxecto de investigación proposto ao longo dos 3 anos.

	2021											
Tarefa/mes	xan	feb	mar	abr	mai	xuñ	xul	ago	set	out	nov	dec
Tarefa 0												
Tarefa1												
1.a												
1.b												
1.c												
1.d												
1.e												
Tarefa2												
2.a												
2.b												
Tarefa3												
Tarefa4												
4.a												
4.b												
Tarefa 5												

Táboa 2-Desenvolvemento do proxecto no 2021

	2022											
Tarefa/mes	xan	feb	mar	abr	mai	xuñ	xul	ago	set	out	nov	dec
Tarefa 0												
Tarefa1												
1.a												
1.b												
1.c												
1.d												
1.e												
Tarefa2												
2.a												
2.b												
Tarefa3												
Tarefa4												
4.a												
4.b												
Tarefa 5												

Táboa 3-desenvolvemento do proxecto no 2022

	2023											
Tarefa/mes	xan	feb	mar	abr	mai	xuñ	xul	ago	set	out	nov	dec
Tarefa 0												
Tarefa1												
1.a												
1.b												
1.c												
1.d												
1.e												
Tarefa2												
2.a												
2.b												
Tarefa3												
Tarefa4												
4.a												
4.b												
Tarefa 5												

Táboa 4-Desenvolvemento do proxecto no 2023

Impacto de resultados

Os materiais a investigar servirán para incorporar en novos dispositivos EH que permitan aproveitar a luz coma fonte de enerxía. O seu mercado máis inmediato será téxtil pero non é o único, xa que poden ter importantes aplicacións en diferentes produtos electrónicos ou sensorización IoT.

Pódese ofrecer o material a empresas fabricantes de mochilas, fundas para móbiles, etc. Todo obxecto que unha persoa leve no día a día pódese aproveitar para recoller enerxía ambiental en forma de luz.

Presuposto

Na Táboa 5 recóllese o presuposto para a elaboración do proxecto de investigación proposto.

	Total	2021	2022	2023
Custos de persoal	60.000,00 €	20.000,00 €	20.000,00 €	20.000,00 €
Materiais funxibles	19.000,00 €	7.000,00 €	9.000,00 €	3.000,00 €
Custos de viaxes e dietas	4.500,00 €	1.000,00 €	2.000,00 €	1.500,00 €
Custos de servizos xerais da UDC	2.300,00 €	600,00 €	900,00 €	800,00 €
Custos de difusión(congresos)	5.000,00 €	0,00 €	2.500,00 €	2.500,00 €
Auditoría económica	1.200,00 €	400,00 €	400,00 €	400,00 €
Custes indirectos (21%)	19.320,00 €	6.090,00 €	7.308,00 €	5.922,00 €
Total (sen IVE)	111.320,00 €	35.090,00 €	42.108,00 €	34.122,00 €

Táboa 5-Presuposto do proxecto