



industriales
etsii

Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Industrial

Evolución histórica de las baterías aplicadas a los vehículos eléctricos de movilidad urbana. Aplicación de un caso práctico.

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

Autor: Olaia Frauca Fagoaga
Director: Isidoro José Martínez Mateo
Codirector: María Dolores Avilés
González

Cartagena, septiembre 2021



Universidad
Politécnica
de Cartagena



AGRADECIMIENTOS

A mi familia por el apoyo que me han dado siempre, a Miriam y Diego por haberme aguantado tanto, y por supuesto, a María Dolores Avilés e Isidoro José Martínez por su ayuda y ánimo con este trabajo.



ÍNDICE

1	RESUMEN	7
2	INTRODUCCIÓN	7
3	BREVE HISTORIA/EVOLUCIÓN DE LAS BATERÍAS ELÉCTRICAS	8
3.1	PRIMEROS INICIOS DE LA ELECTRICIDAD.....	8
3.2	BENJAMIN FRANKLIN Y LA BATERÍA	8
3.3	LA PILA VOLTAICA	9
3.4	LA CELDA DANIELL.....	10
3.5	PRIMERA BATERÍA RECARGABLE PLOMO-ÁCIDO	11
3.6	PRIMERAS BATERÍAS NÍQUEL-CADMIO	13
3.7	BATERÍAS DE ION-LITIO	14
4	VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.....	17
4.1	INTRODUCCIÓN.....	17
5	MOVILIDAD URBANA	20
6	LA BICICLETA ELÉCTRICA	20
6.1	HISTORIA Y DESARROLLO DE LAS BICICLETAS ELÉCTRICAS	21
6.1.1	Primeras versiones de bicicletas eléctricas.....	21
6.1.2	Finales del siglo XIX	21
6.1.3	Diseños del siglo XX.....	23
6.1.4	Siglo XXI en adelante.....	32
6.2	CLASIFICACIÓN DE LAS BICICLETAS ELÉCTRICAS COMERCIALES	37
6.3	DIFERENTES TIPOS DE FUENTES DE ENERGÍA DE LAS BICICLETAS ELÉCTRICAS	39
6.3.1	Baterías plomo-ácido	39
6.3.2	Baterías níquel-cadmio	41
6.3.3	Baterías níquel-hidruro metálico	43
6.3.4	Baterías de iones de litio	44
6.3.5	Baterías de polímero de iones de litio	46
6.4	LAS BICICLETAS ELÉCTRICAS EN LA ACTUALIDAD EN EUROPA.....	48
6.5	APLICACIÓN DE UN CASO PRÁCTICO: BICICLETAS ELÉCTRICAS PARA LA MOVILIDAD URBANA	50



6.5.1	Propuesta de implantación de bicicletas eléctricas de movilidad urbana en Cartagena.....	51
6.5.1.1	La bicicleta	51
6.5.1.2	La estación y los anclajes.....	52
6.5.1.3	¿Cómo funcionará el servicio?	54
6.5.1.4	Problemática de las baterías y su ciclo de vida útil.....	55
6.6	RECICLAJE DE BATERÍAS.....	55
6.6.1	Modelo logístico de recogida de baterías.....	56
6.6.2	Ecopilas y el reciclaje de las baterías de movilidad urbana	58
6.6.3	Proyecto Lions2Life	59
6.6.3.1	Segunda vida de las baterías	59
6.6.3.2	La prueba piloto.....	62
6.6.4	Otros procedimientos de reciclado de baterías	63
6.6.4.1	La red de reciclado	63
6.6.4.2	La economía circular.....	65
7	CONCLUSIONES	67
8	BIBLIOGRAFÍA.....	69



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Botella de Leyden	9
Figura 2. Experimento de Galvani	9
Figura 3. Primera pila eléctrica hecha por Alessandro Volta en 1800	10
Figura 4. Batería recargable plomo-ácido	11
Figura 5. Portada de Recherches sur l'Électricité: el libro de Planté sobre baterías secundarias y fenómenos relacionados con las fuentes de energía de alto voltaje.	12
Figura 6. Celdas de batería de almacenamiento realizadas por Edison.	14
Figura 7. Tipos de baterías.....	15
Figura 8. Primeras pruebas de seguridad con una batería de iones de litio en 1986. a) El momento en que un trozo de hierro choca con una batería. b) Prototipo de batería de iones de litio después de la colisión. c) Batería de litio metálica después de una colisión. Fuente: "The birth of the lithium-ion battery." A. Yoshino.	16
Figura 9. Expansión prevista de la demanda de baterías de iones de litio. Fuente: "The birth of lithium-ion battery."	17
Figura 10. Ejemplo de mecanismos de apoyo y objetivos nacionales en todo el mundo para la implantación de VE. Fuente: "Long-term electric vehicles outlook and their potential impact on electric grid"	18
Figura 11. Evolución de turismos matriculados en los últimos años por tipo de carburante en España. Fuente: epdata	19
Figura 12. Patente bicicleta eléctrica Ogden Bolton 1895	21
Figura 13. Bicicleta eléctrica patentada por H. W. Libbey 1897	22
Figura 14. Velocípedo patentado por Gordon J. Scott en 1898.....	23
Figura 15. Mejora en bicicletas patentada por John Schnepf en 1899.....	23
Figura 16. Patente registrada por Albert Hänsel en 1900.....	24
Figura 17. Bicicleta eléctrica patentada por Thomas M. McDonald en 1938.	24
Figura 18. Bicicleta patentada por Stefanos Argyris en 1946.	25
Figura 19. Diseño de bicicleta patentada por Augustus B. Kinzel en 1974.	26
Figura 20. Diseño de la bicicleta de pedales asistida en 1976.	26
Figura 21. Boceto de bicicleta asistida eléctricamente por Lawrence en 1978...	27
Figura 22. Bicicleta diseñada por Henry M. Gannon en 1993.....	28
Figura 23. Bicicleta diseñada por Wen-Cheng Chou en 1994.	28
Figura 24. Diseño de un grupo de inventores japoneses en 1995.	29
Figura 25. Bicicleta eléctrica diseñada por Seiji Murakami y Hideaki Aoki en 1997.	30
Figura 26. Bicicleta ideada por Ronald W. Whittaker en 1998.	30
Figura 27. Bicicleta ideada por Chin-Yu Chao; Chih-Jin Wang, Yin-Jao Luo y Yuh-Wen Hwang en 1998.	31
Figura 28. Bicicleta inventada por James R. Turner en 1999.	31



Figura 29. Bicicleta diseñada por Tun-I Chen en 1999	32
Figura 30. Bicicleta eléctrica plegable ideada por Lii- Ju Lin en 2004.	33
Figura 31. Bicicleta plegable ideada por estadounidenses en 2010.	34
Figura 32. Bicicleta diseñada por Mark R. Huber en 2012.	34
Figura 33. Bicicleta eléctrica diseñada por Li-Ho Yao en 2013.	35
Figura 34. Bicicleta eléctrica diseñada por Wen - Sung Lee en 2017.....	36
Figura 35. Bicicleta eléctrica MG-20 de Ducati en 2021.	37
Figura 36. Bicicleta eléctrica MG-20 plegada.	37
Figura 37. E-bike o bicicleta eléctrica.	38
Figura 38. Pedelec o bicicleta asistida por motor.	38
Figura 39. Bicicleta con ambos modos.	39
Figura 40. Funcionamiento batería plomo-ácido.	40
Figura 41. Ventajas y desventajas de las baterías ácido-plomo.	41
Figura 42. Estructura interna pila níquel-cadmio. Fuente: google imágenes	41
Figura 43. Estructura interna batería níquel-cadmio.	42
Figura 44. Ventajas y desventajas de las baterías níquel-cadmio.....	43
Figura 45. Diagrama batería Ni-MH.....	44
Figura 46. Ventajas y desventajas de las baterías de níquel-hidruro metálico. ..	44
Figura 47. Diagrama de funcionamiento de una batería de ion-litio. Fuente: https://blogs.cdecomunicacion.es/ignacio/2019/02/21/funcionamiento-de-una-bateria-de-ion-litio-pros-y-contras/	45
Figura 48. Ventajas y desventajas de las baterías de iones de litio.	46
Figura 49. Diagrama de batería de polímero de iones de litio.....	47
Figura 50. Ventajas y desventajas de las baterías de polímero de iones de litio.	48
Figura 51. Empleo en la industria de la bicicleta en Europa. Fuente: European mobility atlas. 2021.	49
Figura 52. Cifras de ventas de ciclos asistidos eléctricamente (EPAC) en comparación con las matriculaciones de vehículos de pasajeros nuevos de vehículos de propulsión alternativa (APV) en la EU-28, 2017, 2018 y 2019, en 1000 unidades. Fuente: European mobility atlas. 2021.	50
Figura 53. Posible servicio disponible por BiciCT.	51
Figura 54. Bicicleta Goccia Grace propuesta para el servicio BiciCT.....	52
Figura 55. Ficha técnica bicicleta Goccia Grace.....	52
Figura 56. Foto de una estación de bicicletas eléctricas.	53
Figura 57. Plano de Cartagena con propuesta de estaciones de BiciCT.	54
Figura 58. Tarifas y formas de pago del servicio BiciCT.	55
Figura 59. Ciclo de vida de pilas y baterías.....	56
Figura 60. Modelo logístico recogida y reciclaje de baterías.	57
Figura 61. Cifras de baterías eléctricas recogidas en 2020 por ecopilas.	58



Figura 62. Ejemplo de desmontaje de una batería de iones de litio 10S4P de bicicleta eléctrica. a) Caja y paquete de batería de bicicleta eléctrica; b) BMS; c) y d) Detalle de una tira de níquel antes y después de retirarlo, respectivamente; e) Celdas sin contactos de níquel y soporte de plástico; f) Detalle de una celda Li-Ion LG MH1 18650. Fuente: Lions2Life: De baterías usadas al almacenamiento distribuido y sostenible de energía.61

Figura 63. Estado de salud de las celdas probadas tomadas de diferentes baterías de bicicletas eléctricas. Fuente: Lions2Life: De baterías usadas al almacenamiento distribuido y sostenible de energía.62

Figura 64. Actual sistema de reciclaje y flujo de baterías gastadas de Xuzhou. Fuente: Enhanced recycling network for spent e-bicycle batteries: A case study in Xuzhou, China.64

Figura 65. Sistema de red de reciclaje inverso mejorado para baterías gastadas en Xuzhou. Fuente: Enhanced recycling network for spent e-bicycle batteries: A case study in Xuzhou, China.65

Figura 66. Alcance y límite de la evaluación del ciclo de vida de las baterías. Fuente: Life cycle assessment of power batteries used in electric bicycles in China.66



1 RESUMEN

La necesidad de reducir las emisiones de los vehículos de combustión interna y los gases de efecto invernadero ha llevado al desarrollo de vehículos eléctricos, más respetuosos con el medio ambiente y mucho más eficientes, un claro ejemplo de ellos son las bicicletas eléctricas para movilidad urbana.

En este trabajo se pretende realizar una revisión de la historia de las baterías, sus diferentes usos y materiales empleados a lo largo de los años, centrándonos después en la historia, desarrollo y diseño de las bicicletas eléctricas. Además, se va a comentar la problemática que hay hoy en día con la gestión de las baterías usadas y con su reciclado.

2 INTRODUCCIÓN

Debido al cambio climático y la búsqueda de nuevos recursos energéticos se han empezado a estudiar nuevas alternativas, como la de los vehículos eléctricos, para la sustitución de los vehículos de combustión. De hecho, los vehículos eléctricos son considerados el nuevo paradigma para las necesidades futuras en el transporte debido a su mayor eficiencia y menores emisiones en comparación con los vehículos de combustión interna tradicionales. Aunque las pérdidas de energía debidas al frenado o la aerodinámica son inherentes a los vehículos eléctricos [1], las pérdidas energéticas por calor y rozamiento se reducen notablemente en el caso de emplear vehículos eléctricos en comparación con los vehículos de combustión [2].

Los vehículos de movilidad urbana están teniendo un gran auge debido a sus numerosos beneficios ambientales como económicos, entre otros. En este grupo se encuentran las bicicletas eléctricas que están tomando una gran importancia [3]. Las bicicletas eléctricas suelen ser vehículos más pequeños, que permiten gran movilidad y son más baratos que otro tipo de vehículos eléctricos, siendo más asequibles [4]. El auge de estos vehículos ha motivado la investigación y desarrollo de los diferentes tipos de materiales empleados en las baterías. El uso de las baterías de litio en ciertas aplicaciones ha llevado a la preocupación por la seguridad de dichas baterías, así como los recursos limitados del litio y del cobalto han impulsado la necesidad de desarrollar nuevas alternativas que sean más seguras y económicas empleando metales más abundantes como el calcio, aluminio, sodio y magnesio [5].

Por tanto, con el presente trabajo se pretende estudiar el estado del arte de las baterías eléctricas, así como la implementación de las baterías en bicicletas eléctricas y los materiales empleados en las baterías de dichos vehículos. También se estudiarán los beneficios ambientales y económicos de estos



vehículos. Y se expondrá la problemática actual con el reciclaje de las baterías usadas de las bicicletas eléctricas con algunos de los proyectos para su reutilización.

3 BREVE HISTORIA/EVOLUCIÓN DE LAS BATERÍAS ELÉCTRICAS

3.1 PRIMEROS INICIOS DE LA ELECTRICIDAD.

La capacidad de utilizar y almacenar energía eléctrica es uno de los mayores logros de la historia [6].

El término electricidad era ya conocido desde la antigua Grecia. El nombre griego del ámbar, “elektron”, estaba relacionado con el dios del sol Helios (“brillante”, “sol radiante”). Según el mito, cuando Faetón, hijo de Helios, fue asesinado, sus hermanas las helíades, muy apenadas se convirtieron en álamos y sus lágrimas en “elektron” (ámbar). De las propiedades electrostáticas del ámbar se derivan las palabras modernas “electricidad” y “electrón”. El ámbar se carga electrostáticamente cuando se frota con lana y puede atraer pequeñas partículas [7].

3.2 BENJAMIN FRANKLIN Y LA BATERÍA

Benjamin Franklin (1706-1790) hizo importantes contribuciones a la ciencia eléctrica a mediados del siglo XVIII [8]. Alrededor de 1750, Benjamin Franklin empezó a utilizar el término “batería” aplicado al mundo de la electricidad en sus experimentos. Además propuso expresar los números con signos opuestos, usando los términos electricidad positiva y electricidad negativa, como todavía lo hacemos hoy en día [9].

En 1745, se inventó por casualidad el primer condensador de electricidad por el noble alemán Ewald Georg von Kleist (1700-1748) y unos meses más tarde en Leiden, Holanda, por físicos holandeses. La botella de Kleist pasó casi desapercibida, sin embargo, la versión holandesa ganó mucho más impulso y el dispositivo se conoció como [9] la botella de Leyden [8], nombre que le dio el científico y jurista francés Jean-Antoine Nollet (1700-1770). Consistía en una botella de vidrio colocada entre dos conductores: agua o alcohol en el interior y un soporte en el exterior, que inicialmente era la mano de un hombre. Pronto se cambió a un elemento diferente después de que el experimentador recibió una descarga poderosa y dañina. Se fue perfeccionando a lo largo de los años, permitiendo la realización de una amplia gama de experimentos sobre descargas [9].



Figura 1. Botella de Leyden

Benjamin Franklin en su investigación eléctrica [9] utilizó las botellas de Leyden y cuadrados Franklin (condensadores de placas paralelas) que se podían desmontar y volver a montar. Estos dispositivos más tarde se conocieron como condensadores diseccionables. Uno de los resultados más interesantes que obtuvo Franklin fue que se podía desmontar un condensador electrificado que contenía un dieléctrico, descargar los electrodos y volver a montar el condensador sin sacrificar su capacidad para producir chispas y descargas [8].

3.3 LA PILA VOLTAICA

En 1775 Alessandro Volta mejoró y popularizó el electróforo, un dispositivo que produce una carga eléctrica estática [10]. Consiste en un disco de un material conductor con un mango aislante, cuando está cargado si tocamos un objeto aislado con él se carga.

Cerca de 1780, Luigi Galvani en la facultad de medicina de Bolonia empezó a estudiar el efecto de la electricidad en los sistemas biológicos usando ranas [11]. Descubrió la naturaleza del impulso nervioso, al comprobar que las contracciones se podían provocar al tocar a una rana mediante el uso de un arco mono metálico, y conectando el nervio y músculo a través de un trozo de tejido cortado [12]. Galvani consideró que había descubierto la “electricidad animal” [11].

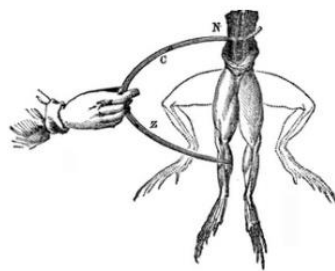


Figura 2. Experimento de Galvani



Volta, en 1791 en la facultad de Pavía, era ya un experto en electricidad cuando se enteró del trabajo de Galvani [11] y empezó a experimentar solo con metales [12]. Más adelante cerca de 1800 presentó por carta [13] la “pila voltaica” al presidente de la Royal Society londinense. Este descubrimiento marcó el nacimiento de una nueva era en el desarrollo de la física moderna y propició importantes cambios en el modo de vida [14].

La pila voltaica consistía en varios pares de discos [11] de materiales como el zinc, el cobre o la plata apilados y separados entre sí, por cartón o fieltro, impregnado en salmuera [15]. Averiguó que al apilar en serie los discos permitía que aumentase su tensión. La batería del automóvil actual se basa en este principio [11]. En 1802, Volta usó la electricidad de su batería con fines terapéuticos como el tratamiento de la sordera [14].

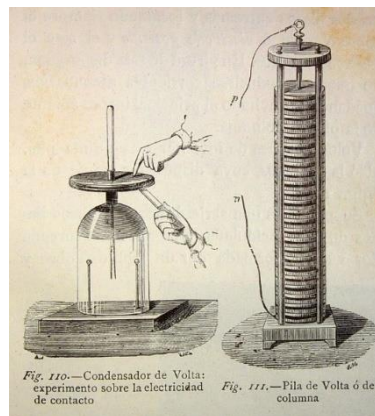


Figura 3. Primera pila eléctrica hecha por Alessandro Volta en 1800

Tras hacer público su invento de la pila, hubo un estallido de estudios relacionados con los efectos químicos de la batería [12]. Lo que llevó al desarrollo de diferentes tipos de pilas.

A pesar del avance que supuso la pila voltaica, esta tenía ciertas desventajas como la falta de capacidad para proporcionar corriente eléctrica durante un periodo de tiempo largo [16] y el importante problema de la polarización. La formación de burbujas de gas hidrógeno en el ánodo resultó en una mayor resistencia interna y una disminución de la eficiencia [17].

3.4 LA CELDA DANIELL

En 1836, John Fredric Daniell (1790-1845) inventó la celda que lleva su nombre. La celda todavía usaba electrodos de zinc y cobre, pero usaba dos electrolitos, sulfato de cobre y sulfato de zinc. El electrodo de cobre se sumergió en el sulfato de cobre y el electrodo de zinc en el sulfato de zinc. Los dos electrolitos se segregaron inicialmente mediante una vasija de cerámica sin esmaltar, pero



posteriormente se ideó una celda de gravedad que aprovechó la diferencia en la gravedad específica de los dos sulfatos. La celda Daniell resolvió con éxito el problema de la polarización [17]. Este tipo de batería fue de las primeras en tener un uso más industrial ya que se llegaron a emplear por compañías de telegrafía.

En 1844, William Robert Grove realizó numerosas contribuciones experimentales como la batería de gas o la batería de ácido nítrico entre otras. La batería de ácido nítrico era una máquina para convertir fuerzas químicas en eléctricas. En su artículo "Experimentos sobre reacción voltaica" describió algunos posibles medios de explotar la acción de su batería de ácido nítrico [18]. En este artículo sugirió que la potencia de la batería podría incrementarse agregando la fuerza polarizadora a la fuerza inicial en lugar de permitir que actúe en oposición como solía ser el caso [19].

3.5 PRIMERA BATERÍA RECARGABLE PLOMO-ÁCIDO

En marzo de 1860, Frenchman Gaston Planté presentó su batería recargable de plomo-ácido a la "Academie des Sciences", cuyo principio había elaborado el año anterior. Nueve elementos en un bastidor de madera, con los terminales conectados en paralelo, proporcionaron corrientes notablemente grandes [20].

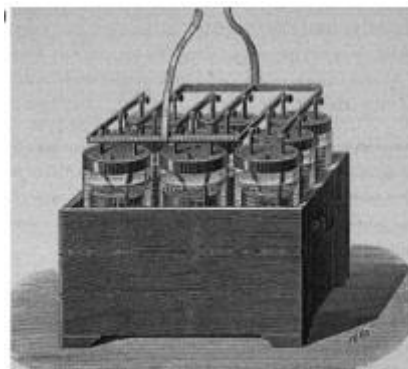


Figura 4. Batería recargable plomo-ácido

La batería recargable de plomo-ácido [21] llegó al mundo 10 años antes porque, al principio, tuvo que cargarse con células Bunsen y Daniell [20].

En 1866, Georges Leclanché (1839-1882) inventó y patentó la celda de Leclanché. Es la precursora de la celda "seca" moderna. En su forma original, una varilla de carbono (+) estaba contenida en una copa porosa llena de carbono triturado y dióxido de manganeso. El electrolito empleado fue cloruro de amonio en contacto con un electrodo de zinc (-) [16].

En la compañía Breguet en 1873, Planté conoció al ingeniero belga Zénobe Théophile Gramme (1826-1901) [20] que fue quien principalmente introdujo los



motores eléctricos en Francia [21], y construyó también generadores de corriente continua [20].

Planté reconoció que su propia tecnología de plomo-ácido podría desempeñar un papel importante en el avance del uso de la electricidad como vector energético. Poco antes de que Hippolyte Fontaine demostrara oficialmente la máquina Gramme en la Exposición de Viena de 1873, en relación con el transporte de energía eléctrica, Planté ya había investigado la reversibilidad de este generador eléctrico, que podía funcionar como motor eléctrico junto con una batería de plomo-ácido. En la Exposición de Viena, Planté presentó una combinación de una máquina de vapor y una bomba actuando como generador y receptor. Bréguet, el fabricante de la máquina Gramme, produjo las primeras baterías de almacenamiento comerciales de Planté [20].

Hasta 1875, Planté intentó muchos diseños de baterías de plomo-ácido en diversas condiciones de funcionamiento, como cortocircuito, carga lenta y carga flotante. Además, realizó el primer análisis serio de la polarización en un medio oxidante [20].

El concepto de George Johnstone Stoney [22] de una unidad fundamental de carga eléctrica y la estimación aproximada del valor de la “unidad de electricidad” se debió a su trabajo completado en 1874, que posteriormente, en 1881, se mostró en la Asociación Británica para el Avance de la Ciencia en Belfast [20].

A partir de 1875, Planté dirigió su investigación hacia descargas de alto voltaje, fenómenos eléctricos en la atmósfera y aplicaciones en tratamientos terapéuticos [20].

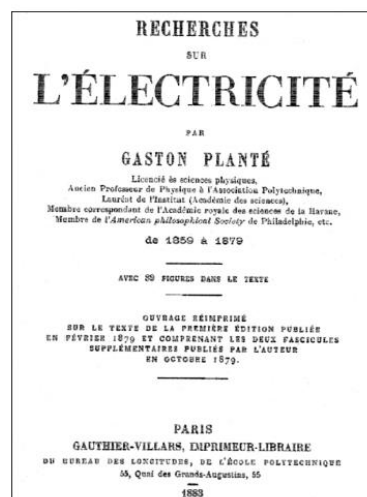


Figura 5. Portada de *Recherches sur l'Électricité*: el libro de Planté sobre baterías secundarias y fenómenos relacionados con las fuentes de energía de alto voltaje.



Los investigadores se apoderaron del sistema de plomo-ácido. La ingeniera francesa Camille Alphonse Faure (1840-1898) [20] perfeccionó en un producto exitoso la batería de Planté [21] logró alcanzar altas capacidades a partir de recubrimientos de electrodos de pastas en polvo de plomo que contienen azufre después de unos pocos ciclos de "formación"[20].

Las baterías Planté y Faure demostraron velozmente ser útiles para la tracción eléctrica en carreteras, ferrocarriles y agua, e incluso se propulsó un pequeño globo. En mayo de 1880, Gustave Pierre Trouvé (1839-1902), patentó un pequeño motor eléctrico y sus posibles aplicaciones (Patente francesa N°. 136.560). En 1881, impulsó [20] un triciclo eléctrico alimentado por la batería recargable de plomo-ácido [21]. Esto fue más de 60 años después de que se construyeran los primeros vehículos eléctricos entorno a 1832 [20].

Finalmente, fue el telégrafo eléctrico de Morse y las posteriores compañías telefónicas de Estados Unidos las que forzaron el despliegue de baterías a escala industrial. A finales del siglo XIX, el dínamo de Siemens (1867) y las versiones de lámpara incandescente de Swan (Inglaterra, 1878) y Edison (EE. UU., 1879) aseguraron una creciente necesidad de almacenamiento de energía eléctrica [20].

3.6 PRIMERAS BATERÍAS NÍQUEL-CADMIO

Waldemar Jungner (1869-1924) pasó gran parte de su vida adulta experimentando con varios materiales de electrodos como electrolitos alcalinos, muchos metales como el zinc, cadmio, hierro y óxidos metálicos como el óxido de cobre, óxido de plata y óxido de manganeso para mejorar la batería de Leclanché. Estaba especialmente interesado en los electrolitos alcalinos porque normalmente no había un consumo claro del electrolito en las reacciones de la celda. Lo que hacía que minimizase su peso [23].

En 1899, Jungner inventó la batería de Níquel-Cadmio. Ofrece varias ventajas sobre la batería de plomo-ácido, como una vida útil más larga, un rendimiento atractivo a baja temperatura, tasas de carga más altas y un tamaño versátil que va desde pequeños tipos portátiles sellados a grandes celdas ventiladas. Debido a estas características excepcionales, la batería de Ni-Cd fue la opción más usada para fuentes de energía portátiles y de reserva [24].

Jungner decidió cambiar el cadmio por el hierro para abaratar la batería. A su vez, Thomas Alva Edison (1847-1931) en los Estados Unidos trabajó en ideas similares utilizando electrolitos alcalinos y muchos materiales de electrodos semejantes [23]. En 1902, Edison consiguió equipar vehículos eléctricos con sus baterías y



realizó con éxito pruebas en carretera. Más tarde, suspendió la producción debido a fallos en las baterías pero siguió investigando nuevos tipos [25].

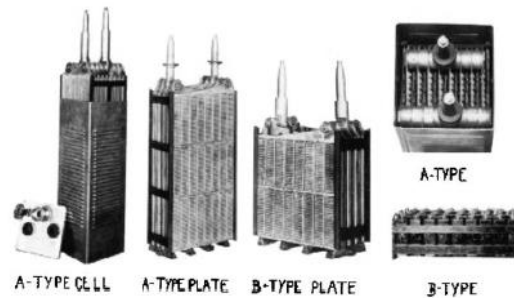


Figura 6. Celdas de batería de almacenamiento realizadas por Edison.

El descubrimiento en 1967 del transporte rápido de iones de sodio por Joseph T Kummer (1919–1997) y Neill Weber [26] y su sugerencia de la batería de sodio-azufre marcaron un punto de inflexión en el pensamiento estratégico sobre las baterías recargables. El desarrollo de la batería de sodio-azufre estimuló el trabajo en la batería ZEBRA [27] “(Zeolite Battery Research Africa Project)”, que reemplaza el cátodo de azufre fundido por NiCl_2 fundido y se fabrica en estado descargado con níquel disperso en NaCl_2 fundido [28].

El principio de la batería ZEBRA se inventó en Sudáfrica y la primera patente se concedió en 1978 [29]. Las baterías ZEBRA usan polvo de níquel y una sal simple como material del electrodo, el electrolito y el separador es de cerámica, que es conductora de iones de sodio pero un aislante de electrones [29], [30]. Estas baterías están incluidas en el programa de pruebas de vehículos eléctricos, donde fabricantes de automóviles como Opel (GM), BMW, VW y Mercedes Benz están probando componentes de vehículos eléctricos, más del 50% de los vehículos están equipados con baterías ZEBRA [31].

3.7 BATERÍAS DE ION-LITIO

El interés por las baterías recargables se vio estimulado aún más por la primera crisis energética a principios de la década de 1970 [28]. Fue a partir de esta crisis cuando John Bannister Goodenough empezó a trabajar en las posibilidades del litio [32], [33].

Las baterías se pueden clasificar en desechables (primarias) y recargables (secundarias), sin embargo también pueden clasificarse por el tipo de electrolito empleado, según sea acuoso o no acuoso [33].



	Batería de electrolito acuoso	Batería de electrolito no acuoso (alto voltaje, capacidad...)
Baterías primarias (desechables)	Celda seca manganeso, celda seca alcalina	Batería de litio metálica
Baterías secundarias (recargables)	Batería de plomo-ácido, batería de níquel-cadmio, batería de hidruro de níquel-metal	Batería de iones de litio

Figura 7. Tipos de baterías.

En 1979, se informó del uso del Óxido de litio-cobalto (LiCoO_2) como material de electrodo positivo por primera vez por Goodenough y sus colaboradores [33]. Este fue el primer material de cátodo del mundo que contenía iones de litio [34].

En 1981, Akira Yoshino comenzó la investigación sobre una batería secundaria no acuosa utilizando poliacetileno como electrodo negativo [35]. A pesar de usar un electrolito sólido, este experimento proporcionó la base científica para el uso de grafito como material de electrodo negativo, como es estándar en las baterías de Ion Litio de hoy [33].

Los químicos estaban interesados en la intercalación de Li en grafito [36], y en 1983, Yazami y Touzain [35] informaron de una intercalación de Li reversible en un ánodo de grafito. A velocidades de carga bajas, este ánodo no se ve afectado por el recubrimiento de Li en la superficie del ánodo con el subsecuente crecimiento de dendritas en ciclos repetidos [28]. Yoshino [37] inventó una nueva batería secundaria usando LiCoO_2 como electrodo positivo y poliacetileno como electrodo negativo [33] lo que daría una batería recargable de iones de litio segura y de alta densidad de energía [28].

Aunque el grafito se había empleado como un material de electrodo negativo, se sabía que el carbonato de propileno, que entonces era el electrolito orgánico común, se descompondría durante la carga cuando se usaba grafito, y además que el uso de un electrolito sólido resultaba tener una resistencia eléctrica demasiado alta para una carga y descarga práctica. Por lo tanto, Yoshino estudió la capacidad de varios materiales carbonosos como electrodo negativo. Descubrió que un material carbonoso con una cierta estructura cristalina proporcionaba una mayor capacidad sin provocar la descomposición del disolvente electrolítico de carbonato de propileno como lo hacía el grafito [33].



El primer ejemplo de material carbonoso con una cierta estructura cristalina fue VGCF (fibra de carbono cultivada en fase de vapor), que Oberlin, Endo y Koyama informaron en un trabajo publicado en 1976 de una nueva fibra de carbono para materiales estructurales [33], [38].

La batería secundaria que fabricó Yoshino con éxito en base a esta nueva combinación de materiales permitió una carga y descarga estables, durante muchos ciclos y durante un largo período de tiempo. Este nuevo sistema de batería, supone una “batería secundaria no acuosa que utiliza óxidos de metales de transición que contienen iones de litio como LiCoO_2 como electrodo positivo y materiales carbonosos como electrodo negativo”, se inventó en 1985 [37]. Esta es la presente batería de iones de litio. En 1986, Yoshino realizó las primeras pruebas de seguridad del mundo en baterías de iones de litio [33].

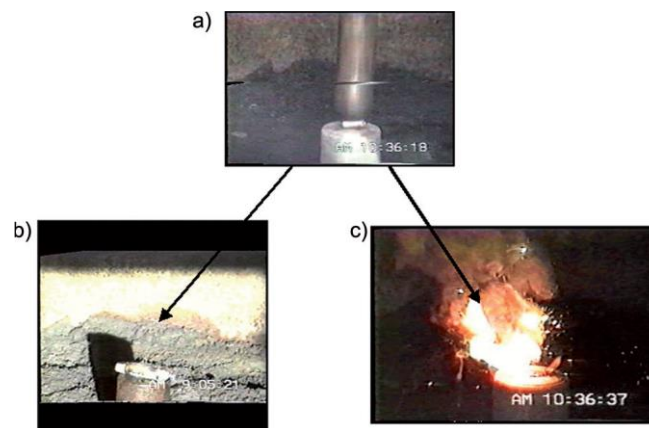


Figura 8. Primeras pruebas de seguridad con una batería de iones de litio en 1986. a) El momento en que un trozo de hierro choca con una batería. b) Prototipo de batería de iones de litio después de la colisión. c) Batería de litio metálica después de una colisión. Fuente: “The birth of the lithium-ion battery.” A. Yoshino.

Después de un mayor desarrollo, la batería de iones de litio fue lanzada por SONY en 1991 y por una empresa conjunta de Asahi Kasei y Toshiba en 1992. La comercialización de la batería de iones de litio permitió obtener una densidad de energía de aproximadamente dos veces mayor que la de las baterías níquel-cadmio o hidruro metálico de níquel, en cuanto a peso y volumen se refiere. Con su gran capacidad de almacenamiento, alta densidad y excelente durabilidad del ciclo, la batería de iones de litio se utiliza cada vez más en vehículos eléctricos, cuya adopción como medio de transporte ecológico se espera que aumente considerablemente [33].

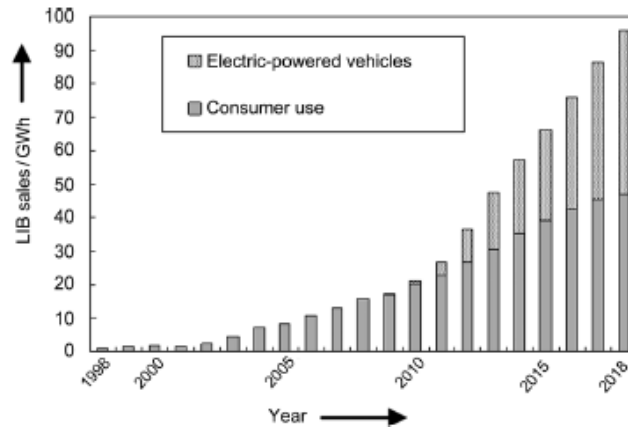


Figura 9. Expansión prevista de la demanda de baterías de iones de litio. Fuente: "The birth of lithium-ion battery."

Recientemente, los vehículos eléctricos híbridos (VEH) han llamado la atención como coches respetuosos con el medio ambiente. Alta potencia, alta densidad de energía y durabilidad extremadamente alta son requisitos cuando se aplican dispositivos de almacenamiento de energía en los VEH. Los candidatos prometedores para su aplicación en VEH son baterías como la batería de hidruro metálico de níquel (Ni-MH), la batería de iones de litio (BIL) y el condensador eléctrico de doble capa (CEDC). Las baterías tienen una alta densidad de energía, pero baja potencia y poca durabilidad. El CEDC tiene una alta densidad de potencia y una gran durabilidad, pero una baja densidad de energía [39].

4 VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

4.1 INTRODUCCIÓN

A finales del siglo XX, los problemas del calentamiento global y la contaminación ambiental [40] causados por emisiones de escape como hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NOx), monóxido de carbono (CO) y otras partículas (PM) de vehículos de transporte que utilizan combustibles tradicionales como gasolina y diésel [3], pasaron a primer plano de la política internacional. Este hecho provocó una búsqueda activa de alternativas para los combustibles fósiles y un eventual resurgimiento de los vehículos eléctricos [40].

Por otra parte, durante la gran crisis del petróleo y el embargo de la década de 1970, algunas de las empresas estadounidenses más grandes, como Ford, GM e incluso Exxon Mobil, buscaron rápidamente los vehículos eléctricos (VE) como una alternativa para reducir la dependencia del petróleo de Oriente Medio [40], [41] además de su enfoque para reducir la contaminación ambiental [3].



Debido a dichos problemas medioambientales, muchos países están considerando prohibir este tipo de vehículos de transporte tradicionales, y muchas ciudades europeas tienen planes para prohibir los vehículos de combustión (gasolina y diésel) para 2040 [3].

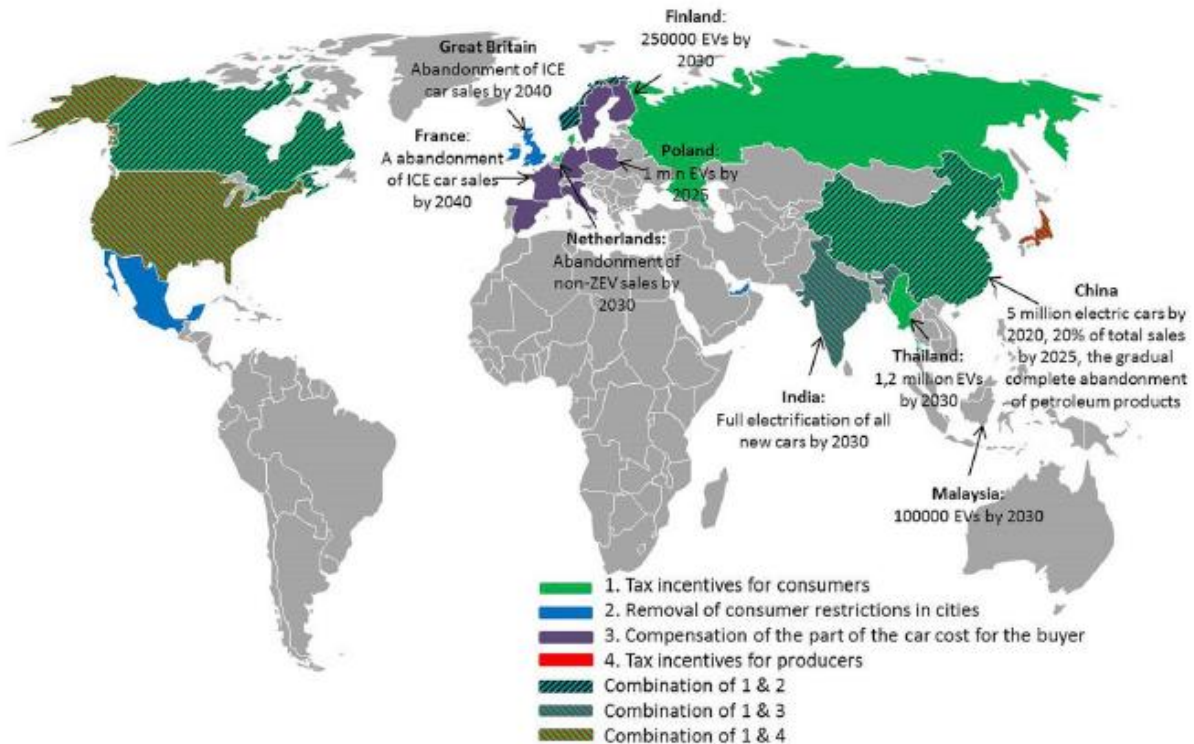


Figura 10. Ejemplo de mecanismos de apoyo y objetivos nacionales en todo el mundo para la implantación de VE. Fuente: "Long-term electric vehicles outlook and their potential impact on electric grid"

La figura 10 representa un mapa del mundo donde se ven reflejadas las diferentes ayudas o incentivos que dan los países, además de propuestas u objetivos a los que pretenden llegar para ayudar a la implantación de los VE. Como vemos en la leyenda, el color verde representaría incentivos fiscales para los consumidores, el color azul supondría la eliminación de restricciones de los consumidores en la ciudad, el color morado se refiere a compensaciones económicas al comprador por el coste de los coches y el color rojo indica incentivos fiscales para los productores de este tipo de vehículos. Los colores rayados serían combinaciones de los anteriores colores. Algunos de los objetivos que podemos ver en la figura 10 son:

- Gran Bretaña y Francia: abandono de las ventas de automóviles de motor de combustión interna para 2040.
- Finlandia: 250000 VE para 2030.
- Polonia: un millón de VE para 2025.



- Países Bajos: abandono de las ventas de vehículos que no sean cero emisiones para 2030.
- India: electrificación completa de todos los coches nuevos para 2030.
- Tailandia: 1,2 millones de VE para 2030.
- China: cinco millones de coches eléctricos para 2020, un 20% del total de las ventas para 2025 y el abandono total gradual de los productos del petróleo.
- Malasia: 100000 VE para 2030.

Según la OCDE/IEA (2017) [42], las ventas anuales de vehículos eléctricos aumentaron de solo 2 a más de 753 mil en todo el mundo durante el período 2005-2016, asegurando una participación del 1,1% en la flota mundial [40].

En España, la contaminación, las posibles prohibiciones de los combustibles fósiles y los avances en la tecnología han hecho que también cambien las tendencias en cuanto a las matriculaciones de vehículos en los últimos años.

Evolución del número de turismos matriculados por tipo de combustible

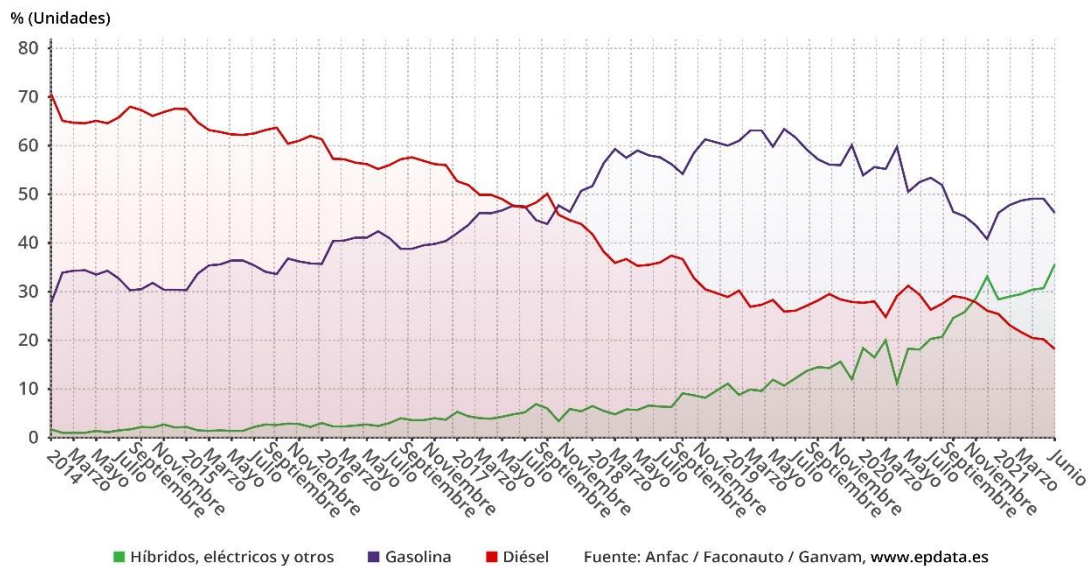


Figura 11. Evolución de turismos matriculados en los últimos años por tipo de carburante en España. Fuente: epdata

Como podemos ver en la figura 11, en los años anteriores los vehículos gasolina y Diesel tenían más importancia en nuestro mercado. El interés por los Diesel ha ido disminuyendo mientras que los vehículos de gasolina han seguido aumentando estos últimos años, sin embargo, podemos apreciar que poco a poco los vehículos híbridos, eléctricos y otros, están cogiendo fuerza llegando en este último año a superar los Diesel y casi alcanzar a los de tipo gasolina. Lo que significa que cada vez somos más conscientes de los beneficios de este tipo de vehículos.



Dentro del grupo que engloba los vehículos eléctricos, las bicicletas eléctricas (BE) están recibiendo mucha atención en todo el mundo debido a sus numerosos beneficios [43]. Por lo general, son pequeñas y pueden circular por distintos tipos de terrenos, como montañosos, planos, lo que los hace más flexibles que otros vehículos eléctricos. También permiten moverse con facilidad en ciudades abarrotadas, lo que ayuda a evitar y reducir los atascos. Las BE suelen ser más económicas que otros vehículos eléctricos y, en la mayoría de los países, no requieren seguro, impuestos de circulación ni carnet para conducir [44]. Las BE suelen tener bajos costos de mantenimiento y además ayudan a mejorar la salud del ciclista [44], [45]. Gracias a estos beneficios, el mercado de las BE es un mercado de energía verde en alza [3], [46], [47].

5 MOVILIDAD URBANA

La creciente demanda del transporte de pasajeros y mercancías en las ciudades, resultante del crecimiento de la población en las zonas urbanizadas, ha provocado problemas crecientes de congestión, contaminación ambiental y, como consecuencia, una disminución de la calidad de vida. Este problema fue advertido por la Comisión Europea, que comenzó a promover el concepto de planes de movilidad urbana sostenible. Una mayoría de estas propuestas se relacionan principalmente con el transporte de pasajeros [48].

Algunos de los retos de las ciudades están relacionados con la contaminación ambiental, los atascos y la problemática del aparcamiento por la que las personas, además de contaminar, pierden mucho tiempo al realizar desplazamientos. Por tanto, en los últimos años se están introduciendo medios de transporte públicos alternativos y más sostenibles como la bicicleta eléctrica, patinetes eléctricos o segways.

6 LA BICICLETA ELÉCTRICA

El 70 por ciento de las emisiones del transporte provienen del transporte por carretera. Una solución alternativa a estos problemas es la bicicleta [49]. Las BE son más respetuosas con el medio ambiente que los vehículos que utilizan combustibles fósiles; sin embargo, generan una pequeña cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Las emisiones de GEI de las BE son mucho menores que las de los vehículos con motor de combustión interna y se generan a partir de los diferentes modos de transporte, como el uso directo, el suministro de energía, el mantenimiento de vehículos, la infraestructura, la producción y eliminación de vehículos [3], [50].



6.1 HISTORIA Y DESARROLLO DE LAS BICICLETAS ELÉCTRICAS

En este apartado se realizará una breve explicación sobre la evolución histórica de las diferentes bicicletas eléctricas desde sus inicios hasta los últimos años.

6.1.1 Primeras versiones de bicicletas eléctricas.

En 1884, Andrew L. Riker (1868-1930), entonces de 16 años, hizo una ingenua bicicleta eléctrica colocando un motor eléctrico y una batería en una bicicleta. Cinco años después, fundó la Riker Motor Vehicle Company, una de las primeras empresas en Estados Unidos, donde explotó sus motores eléctricos. Los triciclos eléctricos fueron construidos en 1886 por N.S. Possons de Cleveland para Brush Electric Co (Ohio) para mostrar su batería recargable de plomo-ácido mejorada, y en 1888 por Philip Pratt de Boston, Massachusetts [21].

Unos años más tarde empezaron a verse más versiones de la bicicleta eléctrica [3].

6.1.2 Finales del siglo XIX

En 1895, Ogden Bolton inventó y patentó una mejora en las bicicletas eléctricas. Consistía en una armadura giratoria que llevaba la rueda trasera, un imán de campo y placas laterales que protegían las partes de la humedad y la suciedad y finalmente, la batería, colocada sobre el cuadro [51].

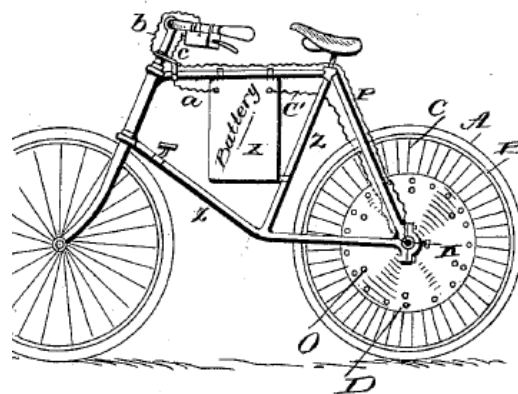


Figura 12. Patente bicicleta eléctrica Ogden Bolton 1895

Todas las mejoras tenían como objeto asegurar el inducido a las placas que cerraban las partes operativas, de modo que estuvieran protegidas tanto de la intemperie y las lesiones [51].



Un año más tarde, en 1896, Charles Théryc patentó una rueda de vehículo provista de un motor eléctrico mediano que se podía aplicar a vehículos en general y bicicletas en particular. Esta rueda tenía el motor eléctrico combinado con su parte central de una manera particular, esta combinación permitía prescindir de los medios auxiliares de transmisión usados en ese momento. La ventaja de esta disposición era la intercambiabilidad de estas ruedas que se percibió de inmediato. Tomando como ejemplo una bicicleta que tenía como rueda motriz una rueda construida de acuerdo con la presente invención y accionada por electricidad, si en algún momento se deseaba convertir esta bicicleta automática en una bicicleta normal, bastaba con sustituir la rueda del motor por una rueda normal [52].

En 1897, Hosea W. Libbey, patentó la producción de una bicicleta propulsada por electricidad generada por baterías primarias y motores para las mismas. La invención constaba de las características novedosas que incorporaban un motor eléctrico doble, imanes de campo, armaduras y la batería [53].

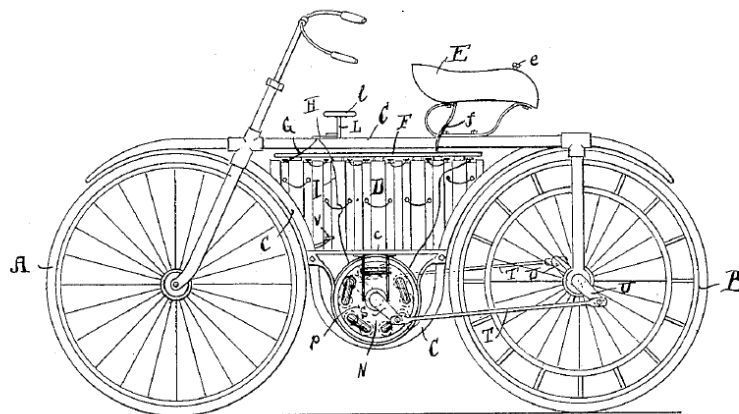


Figura 13. Bicicleta eléctrica patentada por H. W. Libbey 1897

En la figura 13, “A” representa la rueda delantera y “B” la trasera, que está formado por una banda de rodadura doble, de modo que el vehículo tendría tres puntos de apoyo, por lo que se mantendría en posición vertical. La rueda delantera o de dirección se manejaba de la manera habitual. Cerca de la parte inferior del cuadro se aseguran dos piezas laterales “c”, sobre las cuales descansa la batería “D” [53].

En 1898, Gordon John Scott inventó un vehículo eléctrico que usaba un generador en lugar de una batería [3]. El objeto de la invención era proporcionar medios para mejorar la propulsión de velocípedos y otros vehículos que normalmente son operados por el conductor para conducir el vehículo a velocidades variables de acuerdo con la variación de pendientes sin el uso de cambios de marcha o la



necesidad de alterar la velocidad de los pedales. Para llevar a cabo este invento, montó sobre el bastidor del velocípedo una pequeña dínamo enrollada en serie accionada por una polea o rueda dentada sobre el cigüeñal, y conectando esta dínamo a un motor eléctrico enrollado en serie, también montado sobre el velocípedo y adaptado a una o más de las ruedas motrices [54].

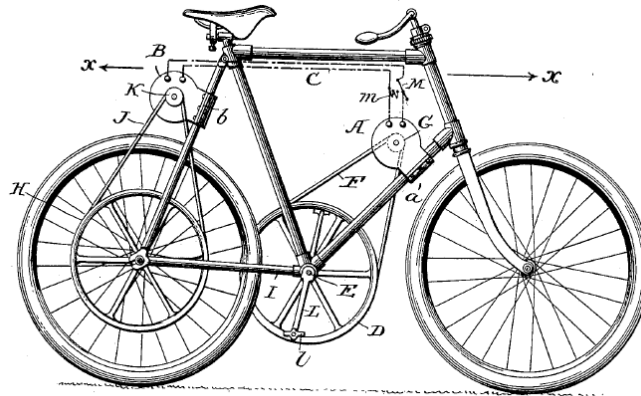


Figura 14. Velocípedo patentado por Gordon J. Scott en 1898.

En 1899, John Schnepf, hizo mejoras en bicicletas y similares. Quiso proporcionar un medio que se pudiera acoplar o separar de una bicicleta de cualquier tipo para que se pudiera utilizar como medio de conducción principal o auxiliar. Empleó una batería portátil (A), motor y las sujeciones necesarias para ello [55].

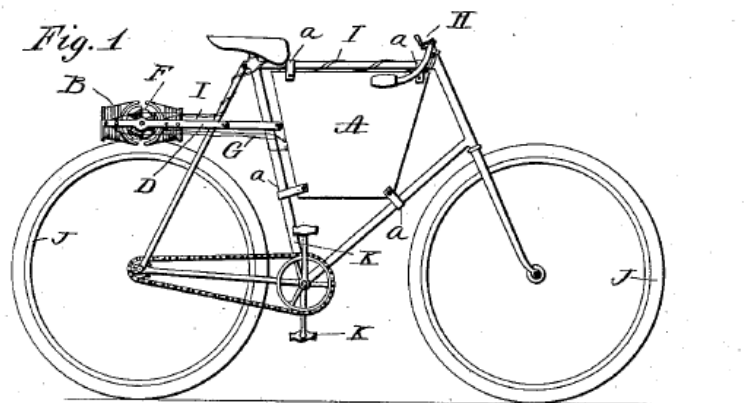


Figura 15. Mejora en bicicletas patentada por John Schnepf en 1899.

6.1.3 Diseños del siglo XX

En 1900, Albert Hänsel, se refería a bicicletas, velocípedos o vehículos similares, siendo el objeto proporcionar un mecanismo de conducción que se pudiera aplicar fácilmente a dichos vehículos. Incluye un motor eléctrico soportado por el bastidor de la bicicleta y conectado mecánicamente con la rueda motriz y una



batería de almacenamiento [56]. El motor eléctrico se accionaba a través del interruptor, la polea y los sistemas de correas para cargar la batería pedaleando [3]. La batería de almacenamiento estaba intercalada para suministrar corriente a dicho motor para ayudar a la potencia al pedalear [56].

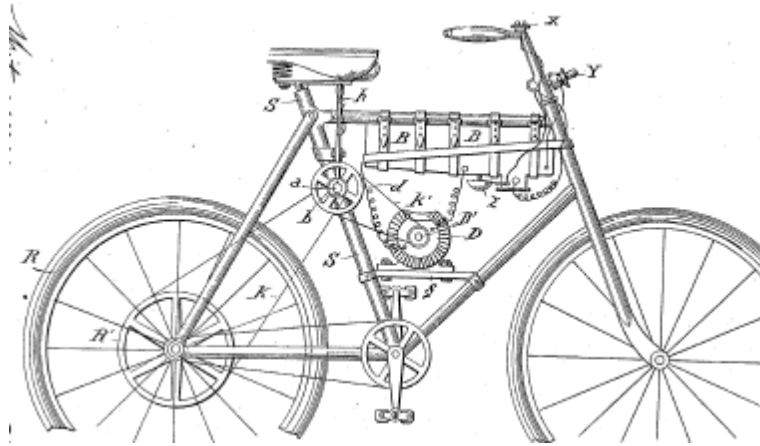


Figura 16. Patente registrada por Albert Hänsel en 1900.

Thomas M. McDonald, en 1938, se refiere a una bicicleta a la que proporcionaría medios operables eléctricamente de modo que la bicicleta sea operable con energía. Además de ser capaz de funcionar únicamente con energía, también sería capaz de funcionar de forma selectiva, mediante los medios habituales de propulsión del pie. Utilizó un motor eléctrico con un novedoso montaje en conexión con la rueda delantera de la bicicleta, y medios novedosos por los que el motor se mantiene en marcha con la rueda delantera [57]. Su bicicleta eléctrica usaba baterías eléctricas primarias y secundarias, que estaban montadas centralmente en una posición muy baja [3].

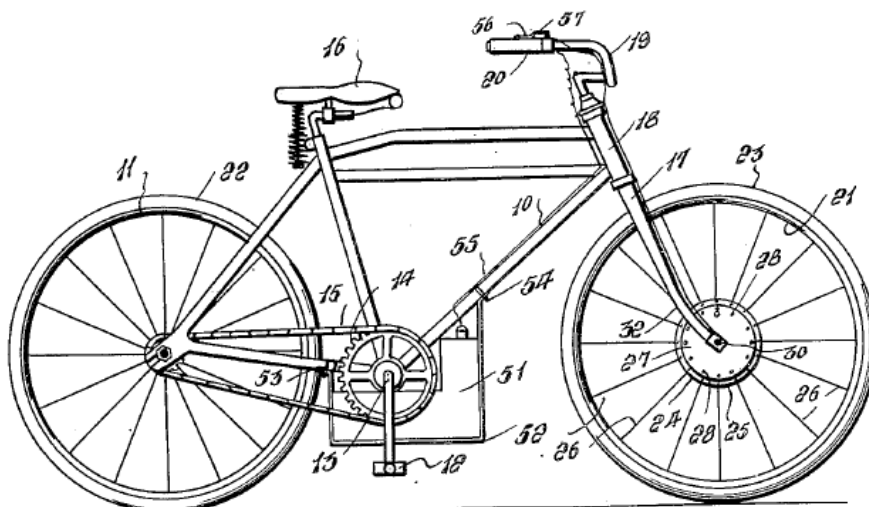


Figura 17. Bicicleta eléctrica patentada por Thomas M. McDonald en 1938.



En 1946, Stefanos Argyris, patentó su invención donde utilizó un motor cilíndrico, con el eje del motor extendido a lo largo del cuadro de la bicicleta. Su motor funcionaba en línea con la cadena para ayudar al ciclista a pedalear. Mediante sus mejoras y los aparatos de carga rápida que se encontraban en casi todos los talleres de automóviles y estaciones de servicio, permitían recargar las baterías en unos pocos minutos. También proporcionaba medios para aliviar la batería de su mayor consumo que se le imponía mientras arrancaba la bicicleta desde una posición de reposo y hasta que ganase velocidad [58]. Además, el conductor podía ayudar manualmente al motor en colinas empinadas, cuando lo deseara [3].

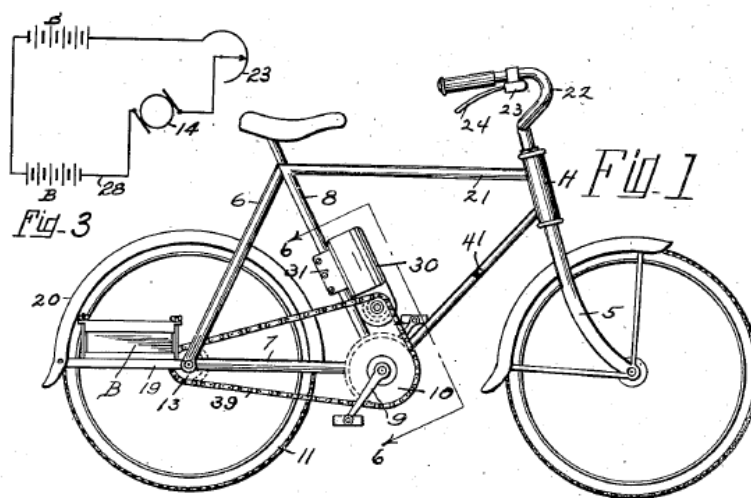


Figura 18. Bicicleta patentada por Stefanos Argyris en 1946.

Augustus B. Kinzel, en 1974, con su invención quería proporcionar una bicicleta accionada por potencia capaz de propulsar la rueda delantera y/o la rueda trasera, funcionando a velocidad continuamente variable. También pretendía eliminar el accionamiento mecánico de cadena de piñón convencional. Incluía un generador accionado manualmente que suministraba energía para impulsar un motor asociado con una de las ruedas de la bicicleta para impartir así movimiento a la bicicleta [59].

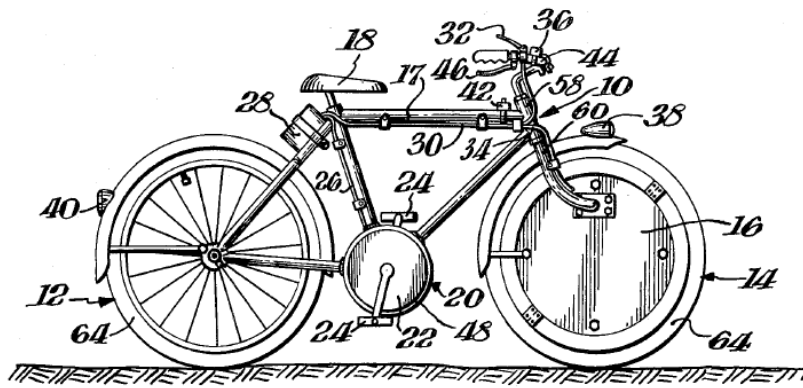


Figura 19. Diseño de bicicleta patentada por Augustus B. Kinzel en 1974.

En una forma ventajosa de esta invención, una de las ruedas está formada como el motor mismo haciendo que la parte de la llanta actúe como un rotor y la parte de la rueda montada dentro de la llanta actúe como un estátor [59].

En 1976, Peter Watson Leighton y Charles Patrick Duncan Davidson se refieren a una bicicleta de pedales asistida eléctricamente. La bicicleta incluye batería y motor eléctrico. El motor eléctrico está acoplado a la rueda de contacto con el suelo de modo que cuando se activa, el motor puede accionar la rueda de contacto con el suelo para ayudar al ciclista a propulsar la bicicleta [60].

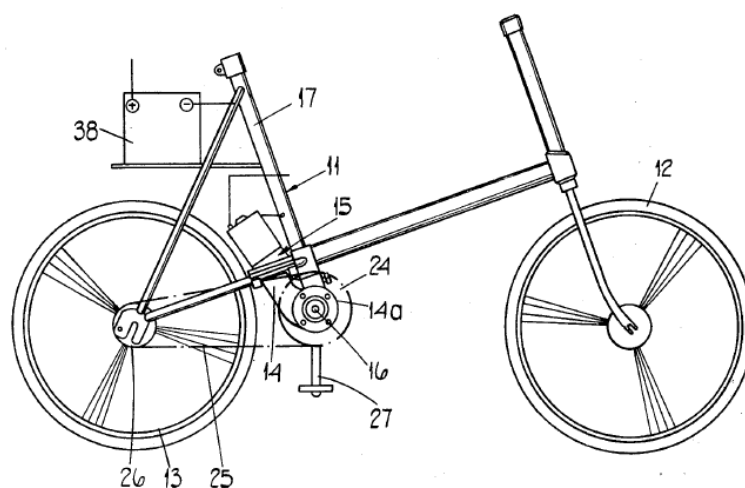


Figura 20. Diseño de la bicicleta de pedales asistida en 1976.

Lawrence A. Rudwick, en 1978, describe una bicicleta asistida eléctricamente, que incluye un cuadro alargado modificado, de modo que la batería de almacenamiento y el motor pueden montarse a un nivel bajo entre los pedales y la rueda trasera para una conducción más estable y suave y para reducir la



probabilidad de que la rueda salte. El motor y los pedales están acoplados de manera eficiente para que uno o ambos simultáneamente puedan accionar la rueda motriz; y cualquiera de las fuentes de energía puede permanecer estacionaria, sin causar arrastre, mientras que la otra impulsa el vehículo [61].

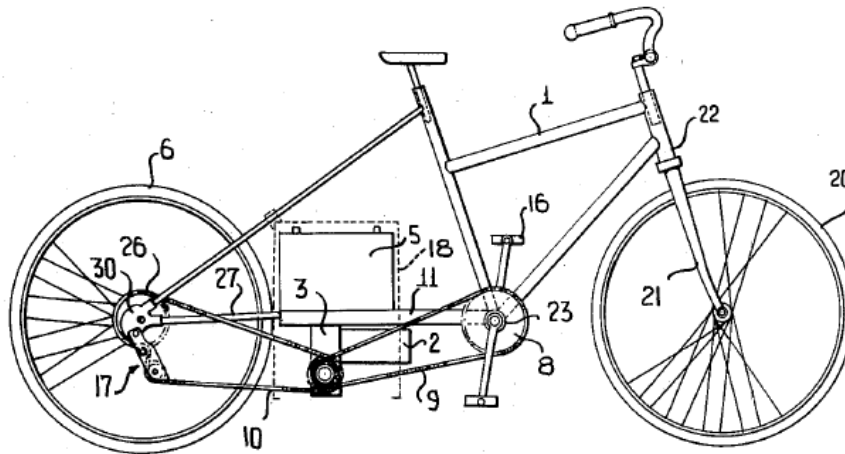


Figura 21. Boceto de bicicleta asistida eléctricamente por Lawrence en 1978.

Desde la década de 1990 hasta finales del siglo XX, las bicicletas eléctricas tuvieron muchas mejoras significativas con respecto a las versiones anteriores. Durante este periodo empezaron a estar disponibles las primeras versiones comerciales de las bicicletas eléctricas. [3].

Henry M. Gannon, en 1993, combinó un sistema de propulsión eléctrico y un aparato de carga solar. Esta realización está accionada por una combinación de motor y pedales, acoplados de manera que uno o ambos puedan proporcionar energía en cualquier momento. El sistema de propulsión eléctrico consta de, un motor eléctrico de corriente continua, un conjunto de baterías, una palanca manual que acciona un acelerador, un acelerador que controla un circuito de conmutación de batería para alterar las baterías, así como también controla un circuito regulador de voltaje del motor. El aparato solar consta de una serie de células solares montadas en un disco colocado fuera de los radios en uno o ambos lados de una o ambas ruedas. Un acoplador giratorio conduce la corriente de carga solar desde las células solares a las baterías [62]. Todo esto permitió al ciclista viajar más lejos y más rápido con menos complicaciones en comparación con diseños anteriores [3].

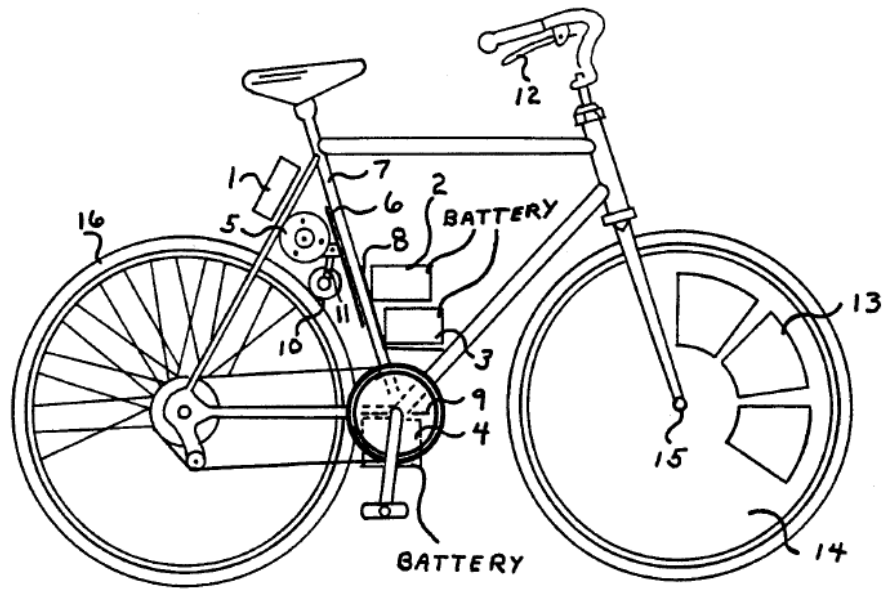


Figura 22. Bicicleta diseñada por Henry M. Gannon en 1993.

En 1994, Wen-Cheng Chou, mejoraba la bicicleta eléctrica permitiendo que el movimiento de conducción fuera más suave y fluido. Además de proporcionar un montaje, desmontaje y mantenimiento más fácil. Empleó una rueda de engranaje cónica de salida de un motor de CC acoplada con otra rueda de engranaje cónica grande para impulsar directamente el buje en una dirección de avance, sin cambiar la función del pedal que también podía accionar el buje [63].

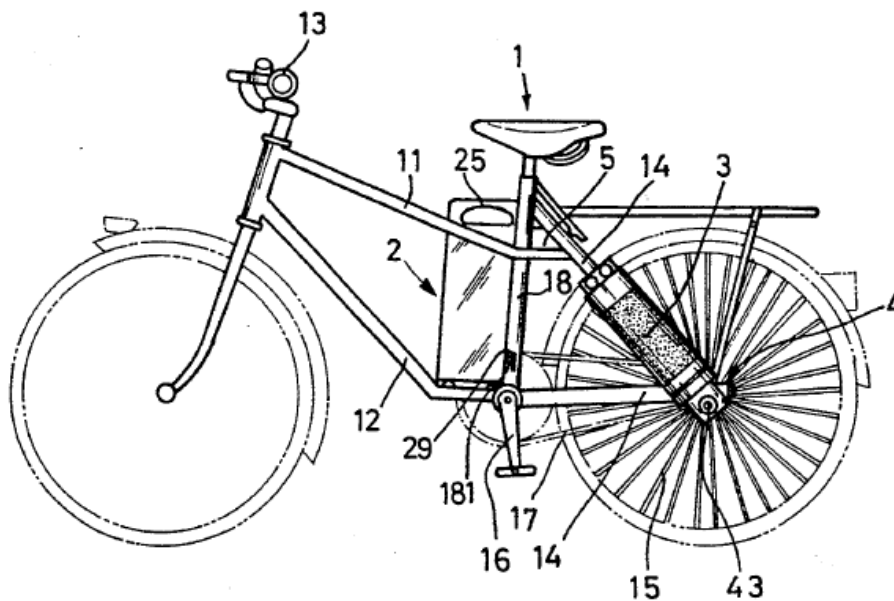


Figura 23. Bicicleta diseñada por Wen-Cheng Chou en 1994.



En 1995, un grupo de inventores japoneses, idearon una bicicleta eléctrica provista tanto de una parte motriz accionada por el hombre y una parte motriz eléctrica accionada por un motor que, dependiendo del par realizado por el hombre, controlaba la salida del motor. El motor apoya al ciclista en el pedaleo aumentando su fuerza motriz según el par detectado. La parte del control estaba colocada dentro de la carcasa del disco [64].

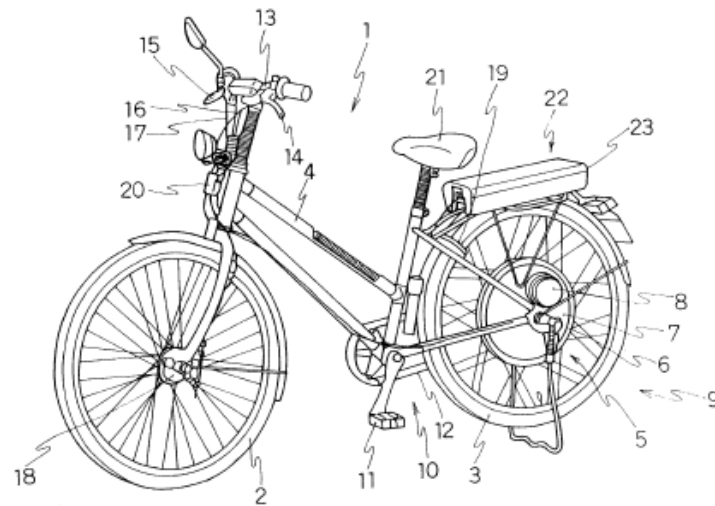


Figura 24. Diseño de un grupo de inventores japoneses en 1995.

En 1997, Seiji Murakami y Hideaki Aoki, idearon una bicicleta eléctrica que comprendía un motor eléctrico montado en un cuerpo de la bicicleta en la periferia exterior de una rueda trasera, y un controlador. El controlador daba la orden al motor eléctrico a través de un sistema de poleas y correas para complementar la fuerza motriz humana. Debido a la diferencia de tamaño de las poleas se podía obtener una relación de reducción de velocidades, de modo que la reducción deseada se podía alcanzar mediante un número menor de etapas de reducción que convencionalmente [65].

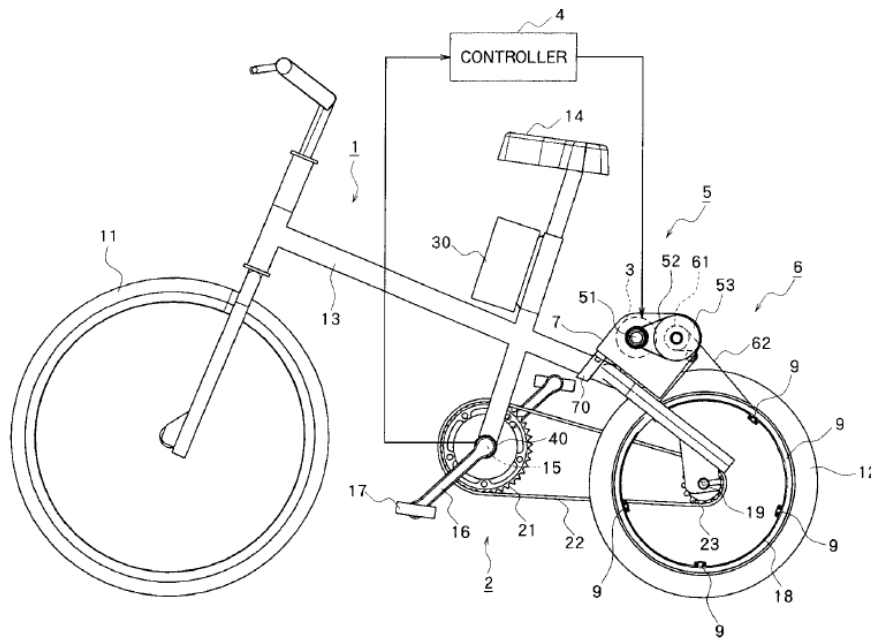


Figura 25. Bicicleta eléctrica diseñada por Seiji Murakami y Hideaki Aoki en 1997.

En 1998, Ronald W. Whittaker, ideó un conjunto de bicicleta eléctrica provisto de un motor eléctrico de CC liviano y de alto rendimiento y un conjunto de embrague deslizante en combinación con una reducción de engranajes, con una eficiencia mejorada al reducir la fricción mecánica general evitando desperdiciar energía. Incluía también células fotovoltaicas adaptadas para cargar las baterías, aumentando así el alcance de la bicicleta antes de que se requiera una carga completa de la batería. Empleaba tres baterías para poder usar motores con la mayor eficiencia y menor peso posible [66].

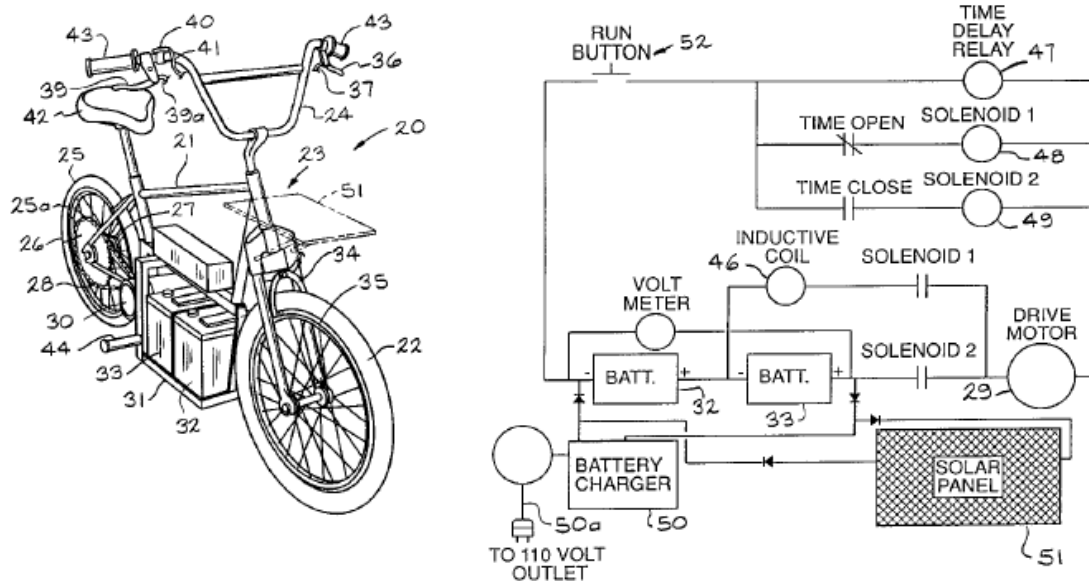


Figura 26. Bicicleta ideada por Ronald W. Whittaker en 1998.



En 1998, Chin-Yu Chao; Chih-Jin Wang, Yin-Jao Luo y Yuh-Wen Hwang, patentaron una bicicleta eléctrica que incluía un motor eléctrico, un tren de reducción de engranajes, un sistema de detección de la fuerza del pedal y un mecanismo de combinación de potencia. Esto podía producir una mayor eficiencia de transmisión con un volumen y peso reducidos. Disponía de un sensor de proximidad para detectar los distintos desplazamientos [67].

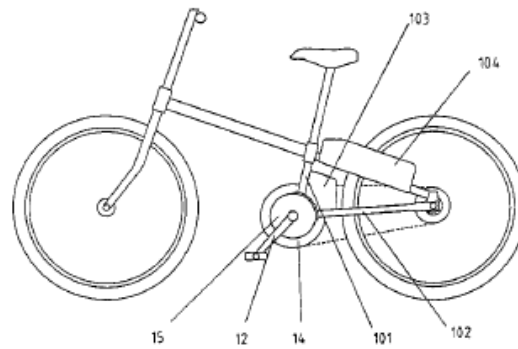


Figura 27. Bicicleta ideada por Chin-Yu Chao; Chih-Jin Wang, Yin-Jao Luo y Yuh-Wen Hwang en 1998.

En 1999, James R. Turner, inventó una bicicleta eléctrica en la que se usaba un motor eléctrico [3] con un sistema de engranajes acoplado operativamente al rotor y al controlador de salida para hacer girar el controlador de salida cuando el motor funcionaba [68] aumentando la vida útil de la batería. Utilizó una relación de transmisión para cuadruplicar el par de la rueda sin un aumento de corriente ni disminución de la eficiencia. Además, se podía controlar el motor para que comenzara a girar cuando el ciclista empezaba a girar los pedales a una cierta velocidad de revolución, mejorando así la eficiencia de la batería [3].

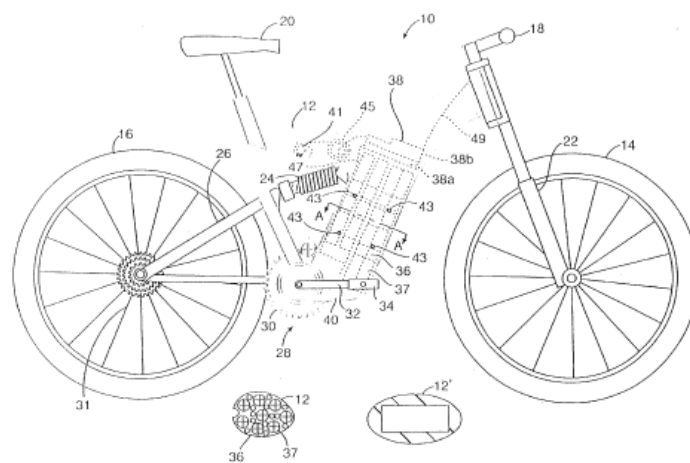


Figura 28. Bicicleta inventada por James R. Turner en 1999.



El mismo año, Tun-I Chen, proporcionó un motor de corriente continua del tipo sin escobillas para una bicicleta eléctrica. El cuerpo del motor estaba compuesto por una carcasa, una tapa lateral y un mandril. El mandril se desliza con una bobina de acero al silicio. Dentro de la carcasa se monta una capa de metal que se puede adherir con un conjunto de imanes. La capa de imán anular mantiene un espacio con la bobina de ese modo, se forma un motor de corriente continua sin escobillas y sin engranajes para una bicicleta eléctrica capaz de moverse automáticamente hacia adelante. El motor hace poco ruido, requiere un bajo costo y está estructuralmente simplificado, por lo que no está sujeto a fallas para producir roces mecánicos y daños. Además, la energía mecánica de la fuerza del pie para conducir se puede convertir en energía eléctrica para recargar la batería y prolongar así la vida de esta última, de esta manera, la bicicleta puede funcionar durante más tiempo con energía eléctrica [69].

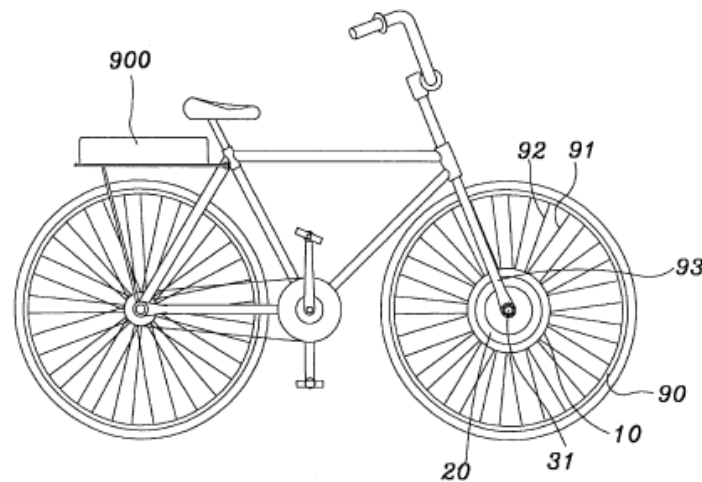


Figura 29. Bicicleta diseñada por Tun-I Chen en 1999

6.1.4 Siglo XXI en adelante

Desde principios del siglo XXI hasta el presente, las bicicletas eléctricas continúan siendo investigadas y desarrolladas con tecnologías avanzadas para aumentar significativamente su rendimiento operativo [3].

En 2004, Lii- Ju Lin, presentó una bicicleta eléctrica que se podía plegar para reducir su espacio de almacenamiento y que fuera fácil de mover. Para ello la bicicleta disponía de ruedas auxiliares que hacían contacto con el suelo cuando la bicicleta eléctrica estaba en un estado plegado, de modo que mover la bicicleta plegada era sencillo [70].

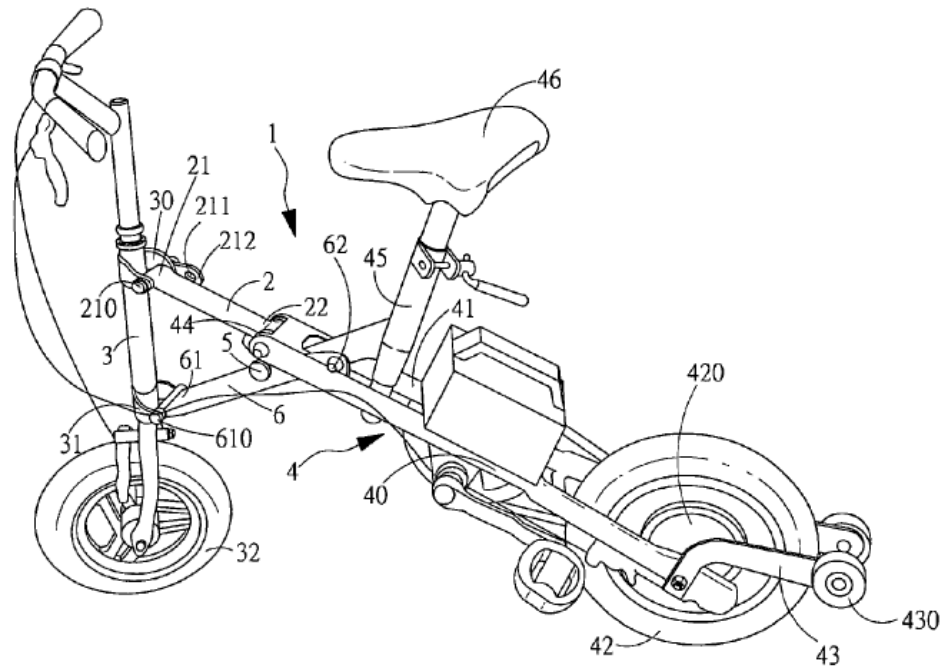


Figura 30. Bicicleta eléctrica plegable ideada por Lii- Ju Lin en 2004.

En 2010, un grupo de estadounidenses desarrolló también una bicicleta eléctrica plegable. Esta era capaz de plegarse alrededor de un poste de pivote central de modo que se formase un asa para un mejor transporte y/o almacenamiento. La invención incluía además una batería recargable con un tamaño y dimensión suficientes para ser asegurada en una cavidad dentro del poste de pivote central. La batería recargable proporcionaría energía al tren de fuerza eléctrico. Además, se ideó colocar un ordenador central justo debajo del conjunto de manillar en la columna de dirección telescópica. Tal computadora de control central podía tener capacidad de GPS y se comunicaba con la batería recargable, el tren de potencia eléctrico y cualquier otro dispositivo electrónico en o conectado a la bicicleta. También se incluía un sensor de asistencia capaz de enviar una señal al ordenador de control central para acoplar el tren de potencia eléctrico cuando fuera necesario [71].

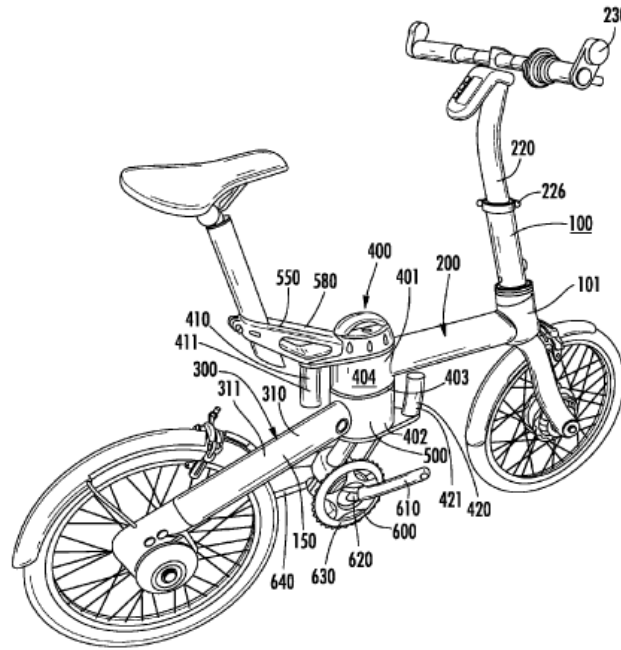


Figura 31. Bicicleta plegable ideada por estadounidenses en 2010.

En 2012, Mark R. Huber, diseñó una bicicleta eléctrica sin cadena que permitía al usuario pedalear moviendo un generador para crear una fuente de energía de transmisión eléctrica que cargaba la batería o alimentaba parcialmente un motor situado en la rueda delantera [72].

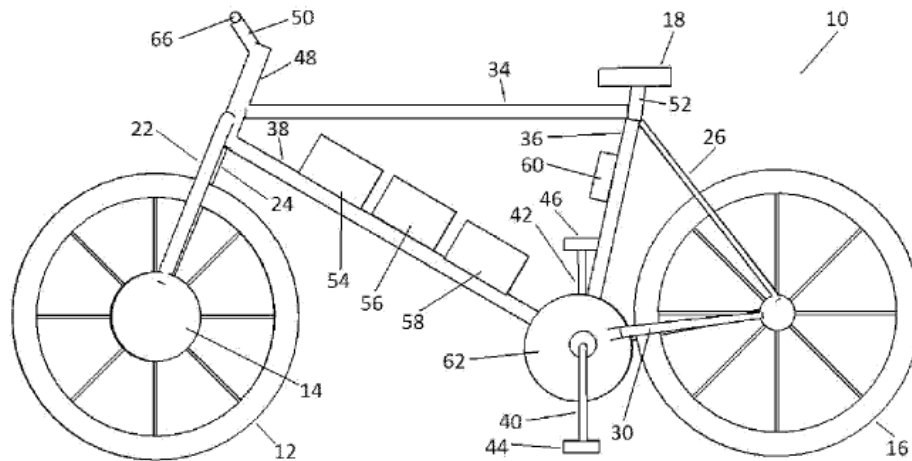


Figura 32. Bicicleta diseñada por Mark R. Huber en 2012.

En 2013, Li-Ho Yao, tuvo como objetivo proporcionar un sistema de control electromecánico de una bicicleta eléctrica que integrase un dispositivo móvil inteligente y servicios en la nube con el mismo. El conjunto electromecánico estaba adaptado para tener un motor eléctrico y una batería montados para



impulsar un eje de rueda de la bicicleta eléctrica, además de poder controlar el funcionamiento del motor eléctrico [73].

El dispositivo móvil inteligente está conectado a la interfaz de comunicación del controlador para realizar una comunicación bidireccional con él y poder configurar los parámetros de control disponibles. Con un teléfono inteligente los ciclistas pueden configurar los parámetros de control de pedaleo para adaptarse a las diferentes condiciones físicas de los ciclistas. Además, esta información y la información de la bicicleta se pueden mostrar en el dispositivo móvil inteligente para ser registradas. El funcionamiento del motor eléctrico de la bicicleta eléctrica se puede monitorear y controlar de forma remota, lo que permite administrar fácilmente la información de la bicicleta y compartir la información entre los ciclistas. En consecuencia, se pueden proporcionar muchos tipos de servicios en la nube a través de la plataforma de red en colaboración con el desarrollo de programas de aplicación para aumentar la diversión de pasear en bicicleta eléctrica [73].

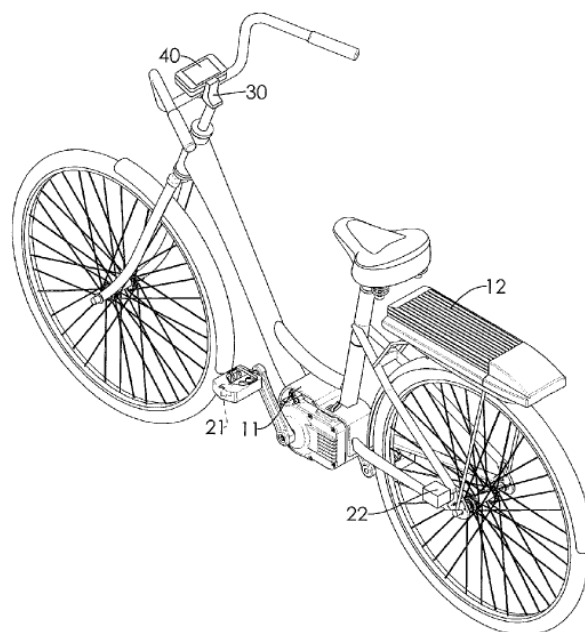


Figura 33. Bicicleta eléctrica diseñada por Li-Ho Yao en 2013.

En 2017, Wen - Sung Lee, se refiere a una bicicleta eléctrica con dos pedales, un motor y una batería que proporciona energía al motor. Un sistema de control que incluye un equipo de detección que notifica la aceleración de la bicicleta eléctrica y la aceleración comercial de los pedales. Un controlador recibe la aceleración de la bicicleta eléctrica y la aceleración de los pedales desde el primer elemento de detección y envía señales al motor y la batería para controlar la salida del motor y la batería. La bicicleta incluye un monitor conectado de forma inalámbrica al



controlador donde se muestra la velocidad, distancia recorrida y el monitoreo de la batería [74].

Además, el controlador está conectado eléctricamente a un faro y una luz trasera. El faro incluye un sensor de luz que detecta el brillo del entorno, el controlador cambia la salida al faro de acuerdo con el brillo detectado del entorno. También dispone de Bluetooth de forma que se pueda conectar de manera inalámbrica un teléfono inteligente. El objeto principal de la presente invención es proporcionar un sistema de control para una bicicleta eléctrica, en el que el sistema de control ajusta la salida del motor y la batería de acuerdo con la resistencia detectada aplicada a la bicicleta eléctrica [74].

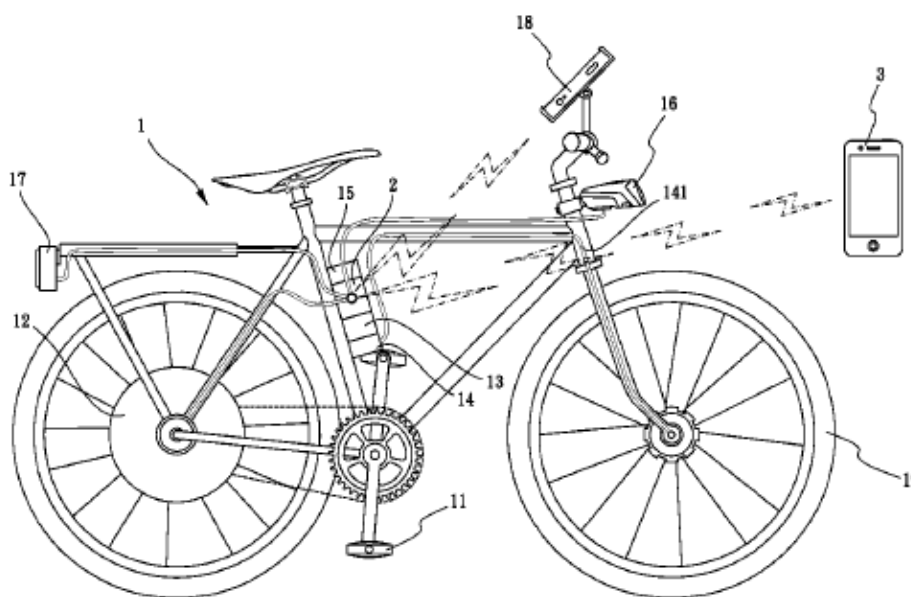


Figura 34. Bicicleta eléctrica diseñada por Wen - Sung Lee en 2017.

En 2021, la empresa italiana Ducati, conocida por ser fabricante de motocicletas, ha sacado al mercado una bicicleta eléctrica para su gama “eMoblity”. Esta bicicleta es la Ducati MG-20, es una bicicleta de uso urbano, con un diseño deportivo y plegable. La bicicleta tiene varias partes hechas de magnesio siendo muy ligera (20,5 kg). Dispone de motor de 250W y usa una batería Samsung extraíble que dota a la bicicleta de una autonomía de hasta 50 km con una recarga de entre 4-5 horas [75], [76].

La bicicleta ofrece varios niveles de asistencia según la velocidad que se quiera adquirir. Además, incluye luz LED trasera, una pantalla LCD impermeable y cambio de 6 velocidades. El precio de esta bicicleta según la web italiana de Ducati es de 1,599€ [75], [76].



Figura 35. Bicicleta eléctrica MG-20 de Ducati en 2021.



Figura 36. Bicicleta eléctrica MG-20 plegada.

6.2 CLASIFICACIÓN DE LAS BICICLETAS ELÉCTRICAS COMERCIALES

Como ha quedado recogido, existen infinidad de patentes de bicicletas eléctricas que proporcionan diseños mejorados cada vez más innovadores de bicicletas que se adaptan a las necesidades del consumidor. En la actualidad, las bicicletas eléctricas son un vehículo de movilidad urbana accesible a casi todos y que podemos encontrar muy fácilmente.



Las bicicletas eléctricas se pueden clasificar de diferentes maneras y en este caso las vamos a clasificar en tres tipos principales: bicicletas eléctricas (e-bike), bicicletas asistidas por motor (pedelecs) y bicicletas eléctricas con ambos modos, el puro y asistido por motor [3].

Con las bicicletas eléctricas, también llamadas e-bike, el usuario simplemente controla un acelerador con el manillar para transferir energía eléctrica de la batería al motor para impulsar la bicicleta sin pedalear [3].

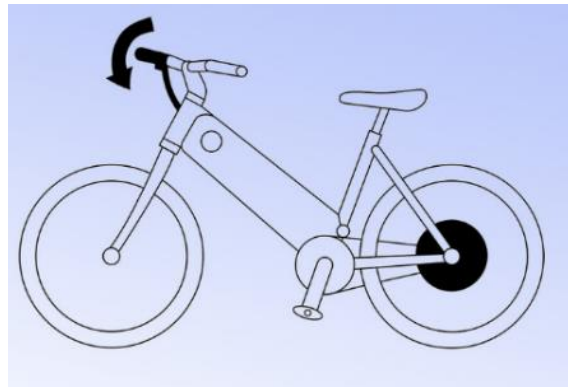


Figura 37. E-bike o bicicleta eléctrica.

Una bicicleta asistida por motor, también llamada pedelec (pedal electric cycle), es una bicicleta, con un motor eléctrico instalado en el cuadro de la bicicleta o en una rueda. Tiene un sensor que detecta la velocidad de pedaleo o la fuerza de pedaleo el cual envía señales para controlar el motor eléctrico y así, ayudar al ciclista a pedalear [3], [77].

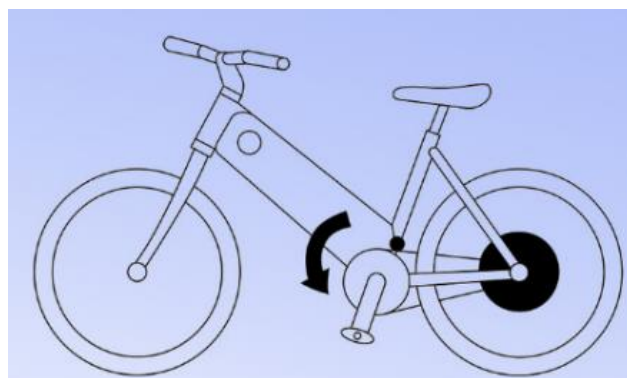


Figura 38. Pedelec o bicicleta asistida por motor.

El último tipo es una combinación de los dos modos anteriores, el puro y el asistido por potencia, en el que la potencia motriz de la bicicleta eléctrica se puede controlar mediante cualquiera de ellos. Se crea una señal de control desde



el acelerador que tiene el manillar para el modo puro y desde el sensor de fuerza para el modo asistido por motor, para controlar la potencia de conducción [3].

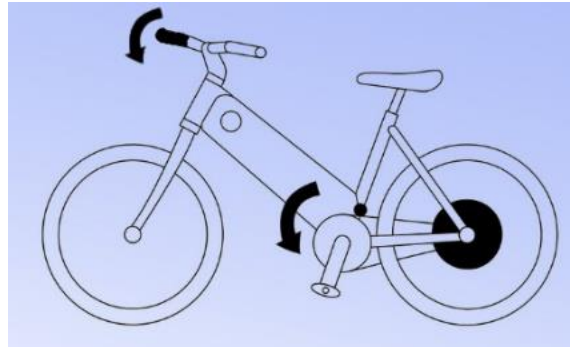


Figura 39. Bicicleta con ambos modos.

6.3 DIFERENTES TIPOS DE FUENTES DE ENERGÍA DE LAS BICICLETAS ELÉCTRICAS

La batería es una de las fuentes de energía de una BE y tienen una larga historia [3], como hemos visto en los apartados anteriores.

En general, las baterías de las bicicletas eléctricas más empleadas serían de los siguientes tipos: plomo-ácido, níquel-cadmio (NiCd), níquel-hidruro metálico (NiMH), iones de litio (Li-ion), polímero de iones de litio (LiPo) [3]. Estos son los tipos que se detallarán a continuación.

También se pueden usar otras fuentes de energía para las BE, que no vamos a tratar en este trabajo, como baterías de zinc, baterías de sodio [3], batería de litio-ferrofosfato (LiFePO_4) o LFP, baterías de dióxido de carbono y litio (CO_2Li) [78], pilas de combustible o energía solar. Las pilas de combustible están recibiendo un interés considerable por parte de los investigadores debido a su alta eficiencia, que podría permitir a las BE viajar largas distancias. Sin embargo, su alto costo y la dificultad de almacenar combustible de hidrógeno en una BE son desafíos para el uso de estas pilas [3].

6.3.1 Baterías plomo-ácido

Las baterías de plomo-ácido son los sistemas de baterías más empleadas, ya que pueden suministrar energía de manera estable [79]–[81]. Además, este tipo de baterías se fabrican a bajo costo, con un robusto sistema de producción de reciclaje, y tienen un fácil mantenimiento en comparación con otros sistemas de almacenamiento de energía [81]–[83]. En la figura 40, vemos el funcionamiento de una batería de plomo-ácido.

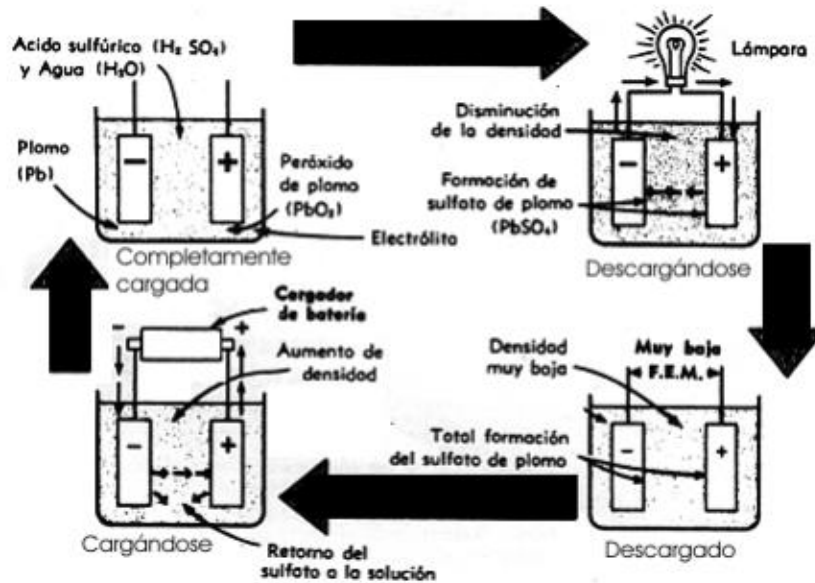


Figura 40. Funcionamiento batería plomo-ácido.

Durante la descarga de la batería, la corriente generada por la reacción hace que el dióxido de plomo (PbO_2) de la placa positiva se combine con el ácido sulfúrico (H_2SO_4) para formar sulfato de plomo (PbSO_4) y hacer que se libere oxígeno del dióxido de plomo. Este oxígeno se combina con el hidrógeno liberado por el ácido sulfúrico para formar agua (H_2O). El plomo (Pb) de la placa negativa se combina con ácido sulfúrico para formar sulfato de plomo (PbSO_4). Por lo tanto, la densidad del electrolito disminuye a medida que disminuye el voltaje hasta que se agota la reserva de energía [84].

Cuando la batería está cargada, la placa positiva tiene dióxido de plomo (PbO_2) y la placa negativa plomo metálico esponjoso (Pb). En este proceso el electrolito es una solución de ácido sulfúrico (H_2SO_4) y agua (H_2O) [84].

Durante el proceso de carga, la corriente recibida provoca una reacción opuesta a la descarga, volviendo así al estado inicial donde aumenta la densidad del dióxido de plomo (PbO_2) en la placa positiva, el plomo esponjoso (Pb) en la placa negativa y el ácido sulfúrico (H_2SO_4) en el electrolito. El voltaje de la batería aumenta a un valor que separa el hidrógeno y el oxígeno liberado de las placas positiva y negativa [84].



VENTAJAS DE LAS BATERIAS PLOMO-ÁCIDO [3]	DESVENTAJAS DE LAS BATERIAS PLOMO-ÁCIDO
<ul style="list-style-type: none"> • Baratas y fácilmente reciclables • Impedancia interna baja • Tolera la sobrecarga • Pueden generar corrientes muy altas • Amplia gama de tamaños y capacidades disponibles • Fácil distribución por sus muchos proveedores en el mundo 	<ul style="list-style-type: none"> • Muy pesada [3] • Relación de energía a peso y volumen baja [3] • Contiene plomo que es tóxico con el medio ambiente [3] • Baja vida útil (de 300 a 500 ciclos) [85] • Electrolito corrosivo (puede provocar quemaduras a personas y corrosión en la estructura metálica) [85] • No apto para carga rápida [85] • Eficiencia de carga típica alrededor de 70% [85]

Figura 41. Ventajas y desventajas de las baterías ácido-plomo.

La formación de la batería es una de las fases más importantes en los procesos de producción de baterías de plomo-ácido. Durante este proceso, el material precursor de la batería (formado principalmente por pasta básica de óxido y sulfato de plomo, que se adhiere a la rejilla) se transforma en material activo por el paso de la corriente eléctrica. El paso de formación de la batería es fundamental para que funcione de acuerdo con lo dimensionado en su proceso de producción [81], [86]–[89].

6.3.2 Baterías níquel-cadmio

Al igual que cualquier otro sistema de batería recargable, las baterías de NiCd funcionan según el principio de que las reacciones electroquímicas en cada uno de los electrodos son reversibles; esto permite que la energía se almacene durante la carga y se libere durante la descarga [90]. En 1995, el mercado mundial de baterías de níquel-cadmio (NiCd) correspondía un 80% a baterías utilizadas en aplicaciones portátiles y un 20% a aplicaciones industriales y de propulsión [91].

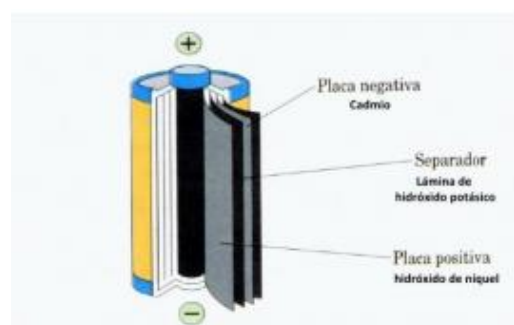


Figura 42. Estructura interna pila níquel-cadmio. Fuente: google imágenes

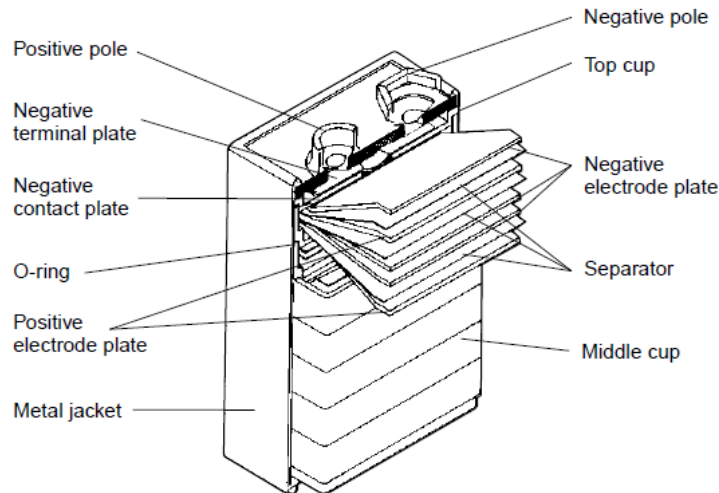


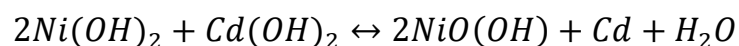
Figura 43. Estructura interna batería níquel-cadmio.

Las baterías de NiCd generalmente tienen una caja de metal con una placa de sellado equipada con una válvula de seguridad autosellante. Las placas de electrodo positivo y negativo, aisladas entre sí por el separador, se enrollan en forma de espiral dentro de la caja. Esto se conoce como diseño de rodillo de gelatina y permite que una celda de NiCd entregue una corriente máxima mucho más alta que una celda alcalina de tamaño equivalente [92].

Durante la carga, la energía eléctrica proporcionada por una fuente de energía externa se almacena como energía química en la celda, cuando la energía más baja (hidróxido de níquel(II) ($\text{Ni}(\text{OH})_2$)) se convierte en la energía más alta (hidróxido óxido de níquel ($\text{NiO}(\text{OH})$)) [90].

Durante la descarga, el hidróxido óxido de níquel ($\text{NiO}(\text{OH})$) se convierte de nuevo en hidróxido de níquel(II) ($\text{Ni}(\text{OH})_2$), liberando la energía química almacenada como energía eléctrica [90].

La reacción global de carga/descarga [91] sería:



La reacción muestra esquemáticamente una simple transferencia de iones OH^- entre el hidróxido de níquel(II) ($\text{Ni}(\text{OH})_2$), y el Cadmio (Cd), dependiendo de si la batería se está cargando o descargando [90].



VENTAJAS DE LAS BATERÍAS NÍQUEL-CADMIO	DESVENTAJAS DE LAS BATERIAS NÍQUEL-CADMIO
<ul style="list-style-type: none"> • Mayor capacidad que las baterías plomo-ácido [3] • Capacidad de carga rápida [93] • Pocos requisitos de mantenimiento [91] • Funcionamiento en un amplio rango de temperaturas [3] • Larga vida útil > 2000 ciclos [91] • Transporte y almacenamiento sencillos [3] • Amplia gama de tamaños según rendimiento [3] • Bajo costo [93] • Alto nivel de energía y potencia específica [91] • Alta resistencia a abusos mecánicos y eléctricos [91] 	<ul style="list-style-type: none"> • Efecto memoria pierde gradualmente su energía máxima si se recarga repetidamente después de haber sido parcialmente descargada [3] • Contiene cadmio que es metal toxico y difícil de reciclar [3] • Necesidad de trabajo preventivo para lograr la capacidad total [93] • Mayor peso que otras más modernas [93] • Más cara a igual capacidad que la batería plomo-acido [3]

Figura 44. Ventajas y desventajas de las baterías níquel-cadmio.

Las baterías recargables de níquel cadmio (NiCd) son muy usadas entre los diferentes tipos de baterías comerciales disponibles. Su densidad de energía es menor que la de sistemas de baterías más nuevos, como el hidruro metálico de níquel y el ion de litio. Sin embargo, las baterías de NiCd son muy duraderas, fiables, fáciles de usar y económicas. Siguen siendo una opción popular para muchas aplicaciones eléctricas y electrónicas que tienen un costo más bajo mientras mantienen un buen rendimiento [90].

6.3.3 Baterías níquel-hidruro metálico

La batería de níquel-hidruro metálico (NiMH) es una batería de almacenamiento alcalina, similar en muchos aspectos a una celda de níquel-cadmio (NiCd) [94]. La batería de hidruro metálico de níquel (NiMH) se ha vuelto omnipresente en el clima tecnológico actual, alimentando todo, desde teléfonos móviles hasta vehículos eléctricos híbridos. La batería de NiMH comenzó su vida como una evolución de la batería de níquel-hidrógeno utilizada en aplicaciones aeroespaciales. Las baterías de NiMH son el resultado de configurar una batería para el almacenamiento de hidrógeno empleando hidruro metálico como uno de los electrodos de la batería [95].

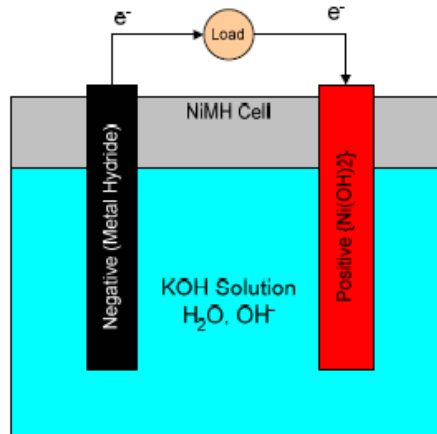


Figura 45. Diagrama batería Ni-MH.

Es un tipo de batería recargable, donde su electrodo negativo utiliza una aleación que absorbe hidrógeno. Los iones de hidrógeno se acumulan en una estructura de hidruro metálico que es el electrodo negativo de la batería [66]. El ánodo o electrodo positivo están hechos de hidróxido de níquel. El electrolito también se usa para energizar el sistema. El electrolito óptimo es el hidróxido de potasio. Este tipo de batería ha reemplazado a la batería de níquel-cadmio [96].

VENTAJAS DE LAS BATERÍAS DE NÍQUEL-HIDRURO METÁLICO	DESVENTAJAS DE LAS BATERIAS DE NÍQUEL-HIDRURO METÁLICO [3]
<ul style="list-style-type: none"> • Simple de transportar y almacenar [3] • Más ecológica que las baterías de NiCd [3] • Características de ciclo de vida prolongado [95] • Bajo mantenimiento [95] • Alto Voltaje [95] • Peso ligero [95] • Seguras [95] • Buen rendimiento térmico [95] • Diseño configurable [95] 	<ul style="list-style-type: none"> • Más cara que la batería de NiCd • Vida útil limitada • Alta autodescarga • Algoritmo de carga complejo

Figura 46. Ventajas y desventajas de las baterías de níquel-hidruro metálico.

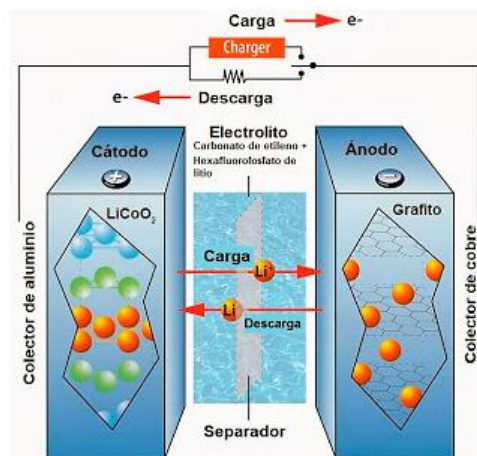
6.3.4 Baterías de iones de litio

Las baterías de litio son baterías recargables, en la que los iones de litio se mueven desde el electrodo negativo al electrodo positivo durante la descarga y al contrario durante la carga [3]. Las baterías de iones de litio se comercializan



desde 1991, inicialmente para dispositivos móviles como teléfonos móviles y ordenadores portátiles [97]. El interés por esta tecnología ha aumentado considerablemente y ha generado mucha investigación para mejorar el rendimiento de estas baterías [98]. Recientemente, las baterías de iones de litio penetraron en el mercado de vehículos híbridos y eléctricos como resultado de la alta densidad de carga del litio, lo que las convierte en el candidato más prometedor para este campo de aplicación debido al bajo peso de las baterías de litio [99], [100].

Cada celda de la batería de iones de litio se compone de cuatro componentes principales que son el cátodo, el ánodo, el electrolito y el separador. Durante la carga, los iones de litio se mueven desde el cátodo, a través del electrolito, al ánodo y retroceden durante la descarga [101].



Proceso de carga y descarga de una batería de ion-litio. Los iones de litio están representados por círculos naranjas, los átomos de cobalto por círculos verdes y los de oxígeno por círculos azules.

Figura 47. Diagrama de funcionamiento de una batería de ion-litio. Fuente: <https://blogs.cdecomunicacion.es/ignacio/2019/02/21/funcionamiento-de-una-bateria-de-ion-litio-pros-y-contras/>.

Normalmente, los electrodos negativo y positivo de una celda de iones de litio están compuestos de carbono y óxido metálico, respectivamente. El electrolito de la batería de iones de litio es una sal de litio en un disolvente orgánico [3]. Se utilizan un disolvente y un aglutinante para dar forma al cátodo. El material del ánodo dominante en la actualidad es el grafito, aunque algunos fabricantes de baterías han optado por ánodos que no son de grafito [102]. El proceso de fabricación del ánodo es similar al cátodo, pero la mezcla se pega en una lámina de cobre en la caja del ánodo. La hoja de aluminio del cátodo y la lámina de cobre del ánodo conducen a los terminales de la celda de la batería [101].



VENTAJAS DE LAS BATERÍAS DE IONES DE LITIO	DESVENTAJAS DE LAS BATERIAS DE IONES DE LITIO
<ul style="list-style-type: none"> • Más ligera en comparación con otras con la misma capacidad [3] • Menor autodescarga que otras baterías [3] • Alta eficiencia energética [3] • Energía y potencia específicas excepcionales [101] • Calendario y ciclo de vida prolongados [101] • Bajos requisitos de operación y mantenimiento [101] • Rangos de temperatura de funcionamiento satisfactorios [101] • Alta confiabilidad [101] • Recarga relativamente alta [101] 	<ul style="list-style-type: none"> • Su alto costo [3] • Requiere protección para garantizar sus límites operativos seguros [3] • Envejecimiento [3] • Esquemas de recuperación y reciclaje actualmente débiles [101]

Figura 48. Ventajas y desventajas de las baterías de iones de litio.

La tecnología de las baterías de iones de litio se ha desarrollado enormemente en los últimos años. Esto se debe a los nuevos materiales de electrodos de litio que han mejorado el rendimiento de la batería para cubrir las necesidades actuales. La vida útil se puede extender mediante el uso de algoritmos inteligentes en un sistema de batería y manteniendo la temperatura del sistema lo suficientemente baja. La química, la celda y la construcción del sistema se encuentran en un desarrollo intensivo que da como resultado mejoras en las tolerancias de temperatura y la vida útil. El desarrollo futuro apunta a aumentar la eficiencia en el uso de materiales y energía en la producción. Además, la tendencia es utilizar materiales y disolventes menos tóxicos. El reciclaje de materiales se toma en serio y también está cada vez más obligado por la legislación [103].

6.3.5 Baterías de polímero de iones de litio

Es un tipo de batería recargable que utiliza tecnología de iones de litio [3]. Sin embargo, los dispositivos que utilizan estas baterías continúan demandando una densidad de energía cada vez mayor. Un enfoque para este desafío es utilizar baterías de polímero de iones de litio (LiPo). Estas baterías permiten mejoras adicionales en la densidad de energía a diferencia de las baterías de iones de litio tradicionales [104].



Las baterías LiPo comerciales de primera generación de fabricantes como Panasonic, Sony y Sanyo se han comercializado teniendo una excelente capacidad de alta velocidad y una buena densidad de energía. Si bien estos sistemas de primera generación poseen buenas características, se espera que las futuras generaciones de baterías mejoren aún más en densidad de energía a través de cambios de diseño evolutivos. Estos cambios pueden incluir cintas de electrodos más gruesas y más densas, colectores de corriente, separadores y empaques más delgados, un uso más efectivo del volumen interno del paquete y una variedad de otras mejoras [104].

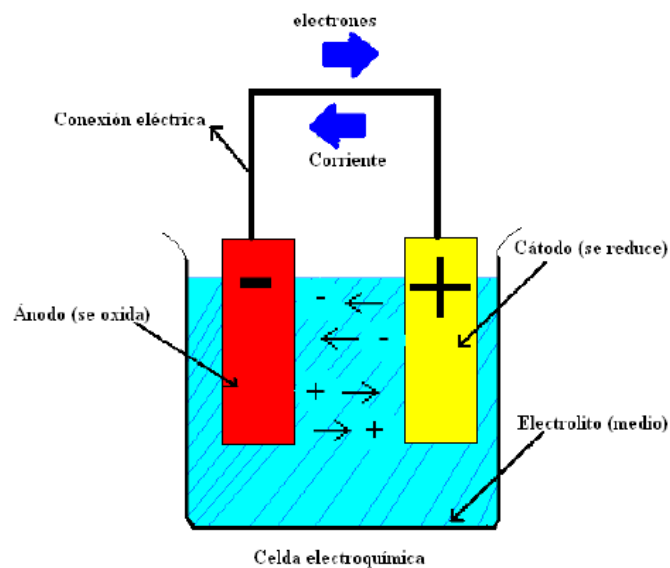


Figura 49. Diagrama de batería de polímero de iones de litio.

Las baterías de LiPo utilizan polímeros semisólidos (gel) de alta conductividad para formar un electrolito. También puede utilizar un electrolito de polímero sólido como poli (acrilonitrilo) (PAN), poli (fluoruro de vinilideno) (PVdF) y poli (óxido de etileno) (PEO) [3].

Al igual que con otras celdas de iones de litio, las baterías LiPo funcionan según el principio de intercalación y desintercalación de iones de litio de un material de electrodo positivo y un material de electrodo negativo, con el electrolito líquido proporcionando un medio conductor. Para evitar que los electrodos se toquen entre sí directamente, hay un separador microporoso en el medio que permite que solo los iones y no las partículas del electrodo migren de un lado al otro [105].



VENTAJAS DE LAS BATERÍAS DE POLÍMERO DE IONES DE LITIO [3]	DESVENTAJAS DE LAS BATERIAS DE POLÍMERO DE IONES DE LITIO [3]
<ul style="list-style-type: none"> • Alta densidad de energía • Peso ligero • Amplia gama de tamaños • Mejor capacidad de carga que las baterías de ion litio • Mayor vida útil que las baterías de ion litio • Buen rendimiento de seguridad 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor precio que las baterías de ion litio • Requiere un cuidado especial durante el almacenamiento, carga y descarga • No tiene forma estándar

Figura 50. Ventajas y desventajas de las baterías de polímero de iones de litio.

6.4 LAS BICICLETAS ELÉCTRICAS EN LA ACTUALIDAD EN EUROPA

La industria europea de la bicicleta (incluidos los fabricantes de bicicletas eléctricas con asistencia de pedaleo y la industria de componentes y repuestos) está activa en 23 de los 27 Estados miembros de la UE. Está formado por unas 900 pequeñas y medianas empresas que emplean directa e indirectamente a 120.000 trabajadores e invierten más de mil millones de euros anuales en investigación y desarrollo. Esta industria vende alrededor de 20 millones de bicicletas al año. En el año 2019, las ventas de bicicletas eléctricas asistidas por pedal (pedelecs) alcanzaron los 3,4 millones. Para 2030, se espera que el mercado de pedelec crezca a 13,5 millones de unidades vendidas anualmente, si se puede mantener una legislación favorable. Esto muestra un tremendo crecimiento de la industria de la bicicleta, pasando de una facturación anual de alrededor de 5 mil millones de euros hace 20 años, a casi 14 mil millones de euros en 2019 [49].

En comparación, la industria automotriz europea vendió 15,2 millones de turismos en 2018, de los cuales 150.000 eran vehículos eléctricos puros. Esto muestra que el número de pedelecs en el mercado supera con creces el número de coches eléctricos [49].

La mayor tendencia en la industria de la bicicleta en los últimos años ha sido el desarrollo y la creciente aceptación de las bicicletas eléctricas. Actualmente representan alrededor del 17 por ciento de las ventas de bicicletas en la UE, llegando hasta el 50 por ciento en algunos países [49].



Todo esto puede verse reflejado en la figura 51, donde se muestra el empleo en la industria de la bicicleta en Europa en el 2019. Se representa los porcentajes en los diferentes países además de una comparativa de la predicción del desarrollo de la industria automovilística y de la bicicleta hasta el 2030.

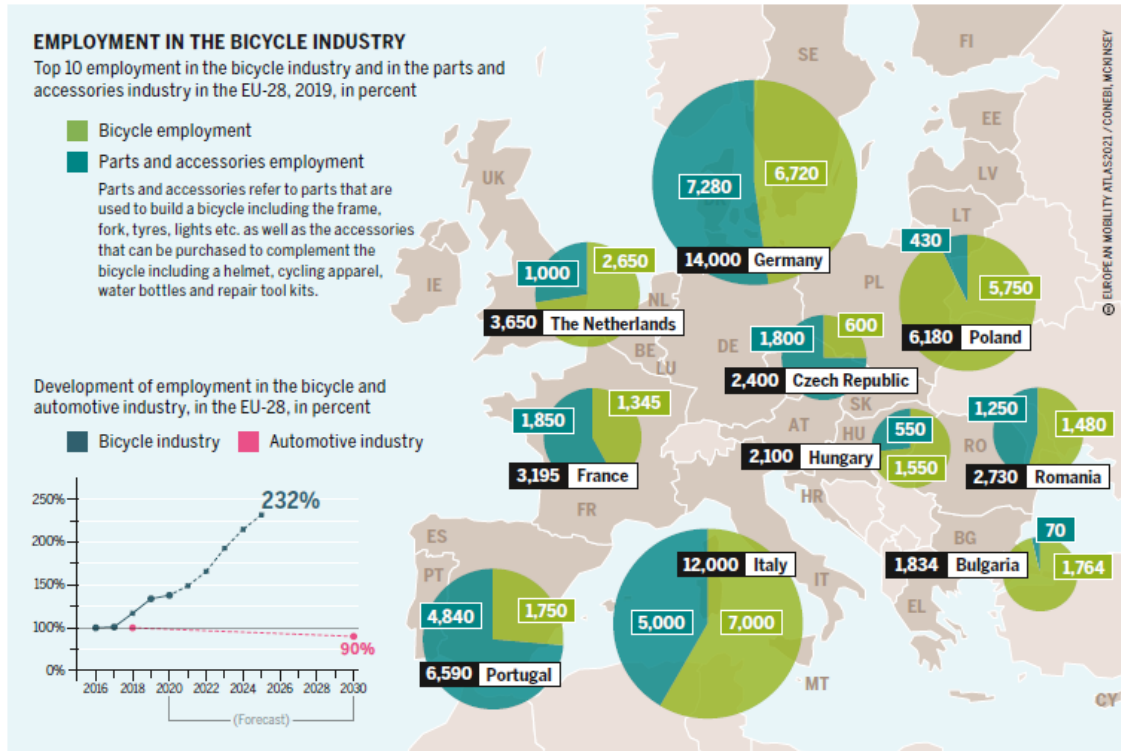


Figura 51. Empleo en la industria de la bicicleta en Europa. Fuente: European mobility atlas. 2021.

Las pedelecs tienen un potencial prometedor para sustituir el uso de vehículos de motor en viajes cortos, al tiempo que tienen todos los beneficios de las bicicletas convencionales. Los usuarios de pedelec se mueven incluso más que los ciclistas tradicionales, lo que se debe principalmente a las mayores distancias recorridas por los usuarios de pedelec. Otros beneficios del ciclismo son la eficiencia, confiabilidad y accesibilidad de las bicicletas debido a sus bajos costos de compra y mantenimiento, así como el hecho de que el uso de la bicicleta es beneficioso para la microeconomía de un vecindario o comunidad, ya que los ciclistas tienden a frecuentar negocios y servicios ubicados dentro un radio más pequeño de sus hogares [49].

Además, el costo de construir y mantener carriles bici de calidad es mucho menor que el costo de construir nuevas carreteras y / o ensanchar las existentes [49].

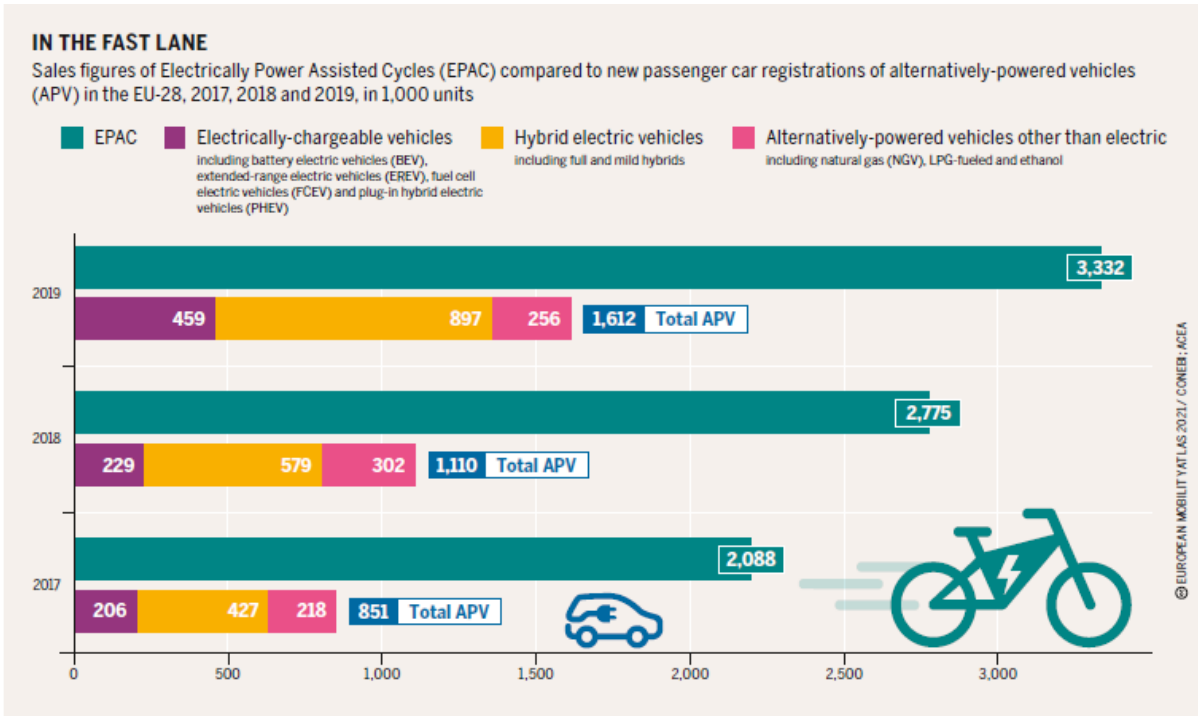


Figura 52. Cifras de ventas de ciclos asistidos eléctricamente (EPAC) en comparación con las matriculaciones de vehículos de pasajeros nuevos de vehículos de propulsión alternativa (APV) en la EU-28, 2017, 2018 y 2019, en 1000 unidades. Fuente: European mobility atlas. 2021.

En la figura 52 podemos ver un gráfico que representa las ventas en Europa de las bicicletas de pedaleo asistido (EPAC) comparado con las matriculaciones de los vehículos eléctricos, los híbridos y vehículos de propulsión alternativa distinta de los eléctricos. Se observa que cada año ha sido superior la venta de las bicicletas en comparación con las matriculaciones de los vehículos y, además, se ha incrementado la venta de las bicicletas eléctricas año tras año.

6.5 APLICACIÓN DE UN CASO PRÁCTICO: BICICLETAS ELÉCTRICAS PARA LA MOBILIDAD URBANA

El transporte es responsable del 24% de las emisiones directas de CO₂ de la quema de combustible, y los vehículos de carretera representan casi las tres cuartas partes de las emisiones de CO₂ del transporte [106]. El desarrollo de los vehículos de movilidad urbana eléctricos es una estrategia práctica para reducir el consumo de petróleo relacionado con el transporte, las emisiones de CO₂ y la contaminación del aire [107]–[109].

Debido a esto, los vehículos de movilidad eléctrica en los últimos años han tenido un importante crecimiento ya que suponen una buena alternativa ecológica.

En 2017 empezó a surgir la idea del transporte compartido, con esta idea se empezó a desarrollar el servicio de alquiler de BE que se ha expandido



rápidamente y ahora están disponibles en más de 600 ciudades en más de 50 países en todo el mundo [106], [109].

En España, disponemos del servicio de alquiler de diferentes vehículos de movilidad urbana como bicicletas tanto mecánicas como eléctricas, patinetes eléctricos, scooters, motos eléctricas y coches eléctricos. Estos servicios están en varias ciudades como Madrid, Valencia, Barcelona, Bilbao, Asturias, Málaga, entre otras. Sin embargo, como en el municipio de Cartagena no tenemos actualmente este servicio, se plantea una propuesta para implantarlo.

6.5.1 Propuesta de implantación de bicicletas eléctricas de movilidad urbana en Cartagena

El servicio de bicicletas eléctrico se llamará BiciCT, un medio de transporte público que ofrezca un servicio útil, fácil de usar y, sobre todo, respetuoso con el medio ambiente. Con esto, además, pretendemos avivar el uso de la bicicleta en la ciudad de Cartagena, y en los alrededores, y ser un servicio saludable para el ciudadano.

¿DE QUÉ DISPONDRÁ ESTE SERVICIO?
<ul style="list-style-type: none"> • 1500 bicicletas • 3250 anclajes • 130 estaciones

Figura 53. Posible servicio disponible por BiciCT.

6.5.1.1 La bicicleta

La bicicleta eléctrica que emplearíamos debe tener un equilibrio entre el peso de la misma, la autonomía, el tiempo de recarga y el precio. Una posible opción puede ser la bicicleta Goccia Grace, una bicicleta eléctrica urbana de tipo pedelec de batería Li-ion de 24V 10Ah con 4 niveles de asistencia, motor de 250W y una velocidad máxima de 25km/h [110].

Estas bicicletas pertenecen a la empresa Goccia propiedad subsidiaria de Qianjiang Group, invertida conjuntamente por la famosa marca europea de motocicletas KEEWAY, dedicada al diseño, I + D, fabricación y comercialización de vehículos eléctricos ligeros de litio; posee la marca independiente registrada global GOCCIA y la marca "BENELLI Benelli" exclusivamente autorizado por la empresa italiana BENELLI SRL en el ámbito mundial de EBIKE. Los productos de GOCCIA tiene dos líneas de productos principales, una son los productos de asistencia eléctrica pedelecs BENELLI, y la segunda son los ciclomotores eléctricos



y ciclomotores eléctricos GOCCIA e-motorbike. La línea de productos e-pedelects de la compañía cubre E-MTB, E-CITY, E-URBAN y otras series [111].



Figura 54. Bicicleta Goccia Grace propuesta para el servicio BiciCT.

En la figura 55 podemos ver un resumen de las características y ficha técnica de la bicicleta.

FICHA TÉCNICA BICICLETA GOCCIA GRACE [110]	
•	MOTOR, PRETACIONES Y CONSUMO Tipo de bicicleta: Bicicleta eléctrica urbana Tipo de motor eléctrico: 250W motor sin escobillas Velocidad máxima: 25 km/h Autonomía en ciudad: 70 km Modos de pedaleo: 4 niveles
•	BATERÍA Tipo de batería: Li-ion, 24V 10Ah Tiempo de carga: de 4 a 6 horas
•	DIMENSIONES Y PESO Tamaño de marco: 48 cm Peso total: 24 kg

Figura 55. Ficha técnica bicicleta Goccia Grace.

6.5.1.2 La estación y los anclajes

En principio, el municipio de Cartagena dispondría de 130 estaciones repartidas por el territorio y que según las necesidades de los consumidores podría ampliarse a más estaciones. Las estaciones son máquinas con pantalla táctil necesarias para usar el servicio. En estas estaciones se podrán realizar tareas como:



- Consultar la disponibilidad de las bicicletas y de los anclajes que se encuentren disponibles a tiempo real en un mapa.
- Registrarse en el servicio.
- Consultar el saldo disponible o realizar una recarga.
- Reservar un anclaje que se encuentre en una estación próxima.
- Solicitar ayuda por cualquier incidente.



Figura 56. Foto de una estación de bicicletas eléctricas.

Cerca de las estaciones deberemos tener los anclajes disponibles para poder dejar en el caso de estar vacío o coger si hubiera una bicicleta anclada. Además, los anclajes tendrán unos códigos de luces de colores que nos indicarán el estado del servicio. Tendríamos:

- Luz de color verde con bicicleta: la bicicleta se encontrará en buen estado y disponible para ser usada.
- Luz de color amarillo con base vacía: la base estará disponible para anclar la bicicleta.
- Luz de color roja con bicicleta: la bicicleta que se encuentra anclada no está disponible para usarse.
- Luz de color azul: base reservada para un usuario.
- Luz apagada: base fuera de funcionamiento.



Una vez explicado el funcionamiento de los anclajes y estaciones vamos a ver una posible distribución de algunas estaciones en una zona de la ciudad de Cartagena.

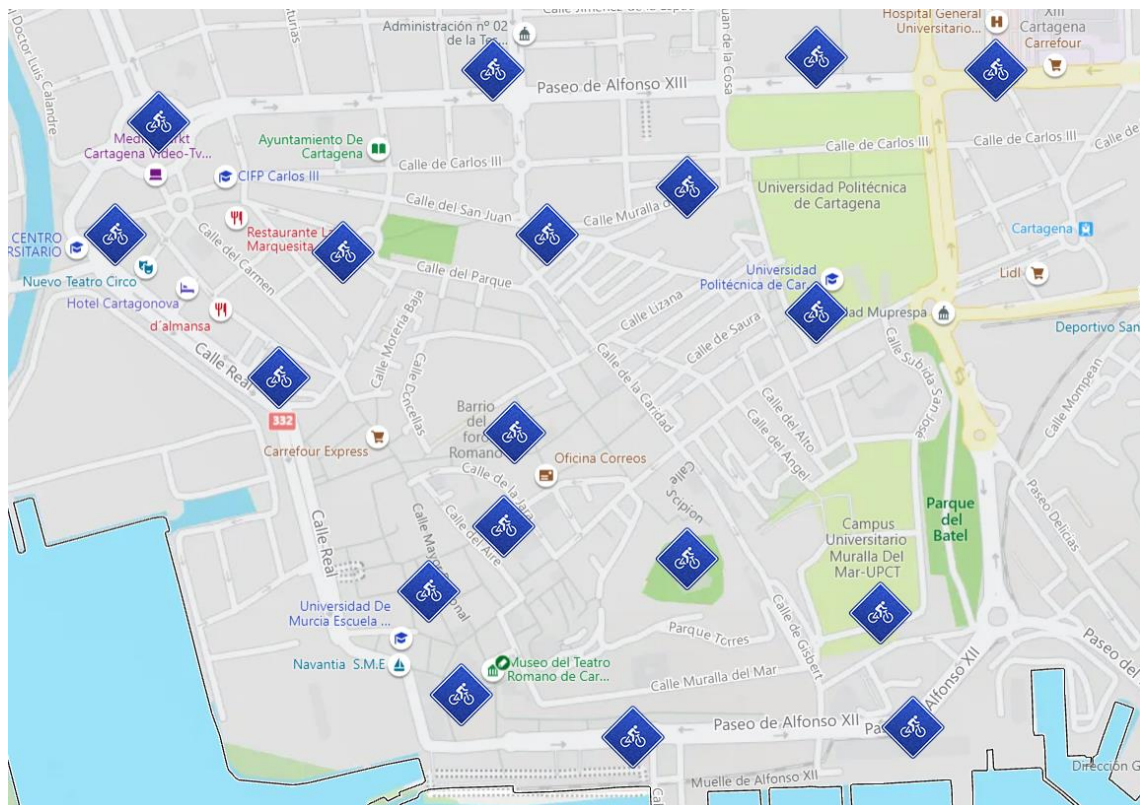


Figura 57. Plano de Cartagena con propuesta de estaciones de BiciCT.

6.5.1.3 ¿Cómo funcionará el servicio?

Para poder usar este servicio, primero hará falta registrarse.

- **FORMAS DE REGISTRARSE:** tendremos varias formas de hacerlo.
 - ✓ **Cliente ocasional:** se podrá registrar en cualquier estación o mediante la APP MOVIL donde se obtendrá un abono dependiendo de los días que quiera usar el servicio.
 - ✓ **Abonado anual:** también se podrá registrar desde la APP MOVIL o en cualquier estación donde se obtendrá una clave de abonado en caso de usar la APP o se obtendrá una tarjeta cliente anual al realizar el registro en la estación.
- **MODO DE EMPLEO:**
 - ✓ Para coger una bicicleta simplemente habrá que ir a una base con luz verde, acercar la tarjeta o mediante el código obtenido por la app hasta que se suelte el anclaje de la bicicleta.



- ✓ Para dejar la bicicleta en una base solo habrá que buscar una base con luz amarilla y empujar la bicicleta eléctrica hasta que el indicador de luz cambie de color a luz verde y se escuche un sonido de confirmación.
- **TARIFAS Y FORMAS DE PAGO:** en la siguiente figura vemos un cuadro con las posibles tarifas y formas de pago de la propuesta de nuestro servicio para el municipio de Cartagena.

CLIENTE OCASIONAL	ABONADO ANUAL
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Se cobrará el precio del servicio al terminar tiempo de uso del servicio. ✓ Necesario depósito de 150€ que se desbloquea al pagar el servicio total. ✓ Tarifa primera hora: 3€ ✓ Tarifa por hora a partir de la primera: 1€ ✓ Tarifa de penalización por exceder el tiempo máximo establecido: 4€ 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Se debe tener saldo en la tarjeta para poder cobrarse el servicio. ✓ Mínimo de recarga de 10€. ✓ A medida que se usa la bicicleta se va descontando el precio según la tarifa. ✓ Con saldo negativo no se puede usar el servicio hasta realizar una recarga. ✓ Tarifa primera hora: 1€ ✓ Tarifa por hora a partir de la primera: 0,40€ ✓ Tarifa de penalización por exceder el tiempo máximo establecido: 4€

Figura 58. Tarifas y formas de pago del servicio BiciCT.

6.5.1.4 Problemática de las baterías y su ciclo de vida útil

Como hemos visto en el apartado anterior, los sistemas de alquiler de vehículos de movilidad eléctrica son un gran avance para ser una sociedad más ecológica y sostenible. Sin embargo, las baterías tienen un ciclo de vida útil que se agota lo que nos lleva al siguiente problema ¿qué se hace con estas baterías que ya no son válidas para su uso?

6.6 RECICLAJE DE BATERÍAS

Con el uso cada vez mayor de baterías, la preocupación por manipularlas después de que hayan cumplido su vida útil es cada vez mayor [112]. Las baterías modernas, como las de iones de litio, aún no cuentan con muchas instalaciones de reciclaje eficientes; y una gran cantidad de baterías desechadas terminan abandonadas sin ningún tipo de reciclaje. Ante tal situación, la idea de emplear esta cantidad de baterías retiradas para una segunda vida útil después de la primera está cobrando impulso [113].



En España, la fundación Ecopilas se encarga de la gestión de los residuos de las baterías y pilas portátiles, industriales y de vehículos eléctricos en respuesta al principio de responsabilidad compartida de los productores para gestionar los desechos generados al concluir su vida útil [114].

Actualmente, la fundación dispone de más de 35500 puntos de recogida. Siendo así, la red de recogida de baterías y pilas más grande de España con 811 empresas adheridas es referente en nuestro país. Además de ser la segunda red de recogida de estos desechos de Europa con unos 796 puntos de recopilación por millón de habitantes [114].



Figura 59. Ciclo de vida de pilas y baterías.

6.6.1 Modelo logístico de recogida de baterías

Como puede verse en la figura 60, el modelo logístico de recogida de baterías tiene varias etapas:

- **RECOGIDA:** Hay 3 posibles canales de residuos a recoger.
 - ✓ Canal doméstico (residuos de origen doméstico): donde se pueden recoger de 2 maneras, mediante la recogida municipal en puntos limpios, puntos verdes, ecoparques... o mediante la recogida capilar llevada a cabo en los diferentes comercios, centros sanitarios, pequeñas tiendas, centros escolares, etc [115].
 - ✓ Canal profesional y canal industrial y del vehículo eléctrico: ambos se llevan a cabo a través de una recogida directa según demanda o mediante rutas definidas periódicamente [115].
- **CENTRO DE TRATAMIENTO:** todos los residuos tras ser recogidos y almacenados en centros temporales, terminan llegando a los centros de



tratamientos en los que tras su trituración o proceso pertinente obtienen diferentes materiales [115]:

- ✓ Plásticos que se reciclarán más adelante [115].
 - ✓ Metales férricos de los cuales se volverá a obtener acero en la siderurgia [115].
 - ✓ Materiales intermedios que volverán a ser tratados [115].
- **VUELTA AL PROCESO PRODUCTIVO:** los materiales recuperados vuelven al proceso productivo donde pueden llegar a fabricarse todo tipo de objetos como, por ejemplo: cubertería, matriculas de vehículos, nuevas baterías, o incluso paneles fotovoltaicos. Todo esto puede realizarse tras la recuperación de más de 300 kilogramos de Zn y 250 kilogramos de Fe y Ni que se obtienen por cada tonelada de pilas recogidas [115].

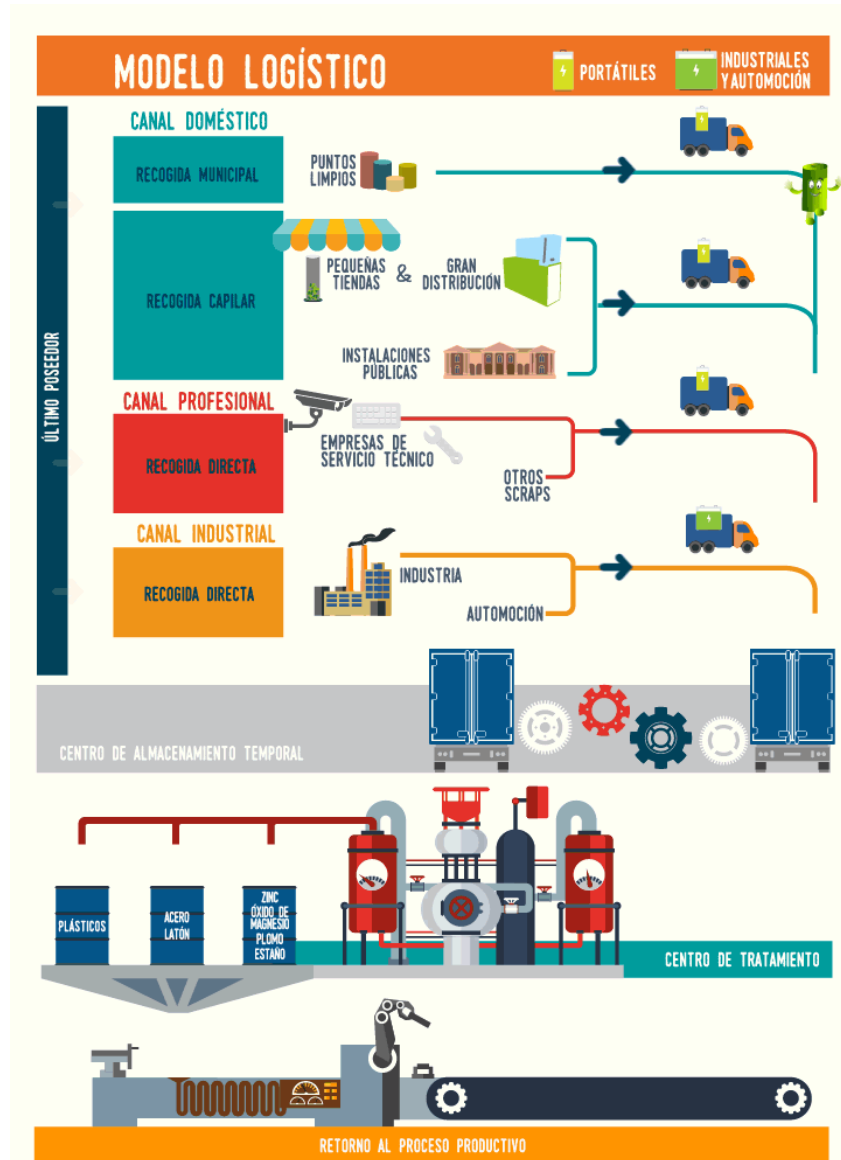


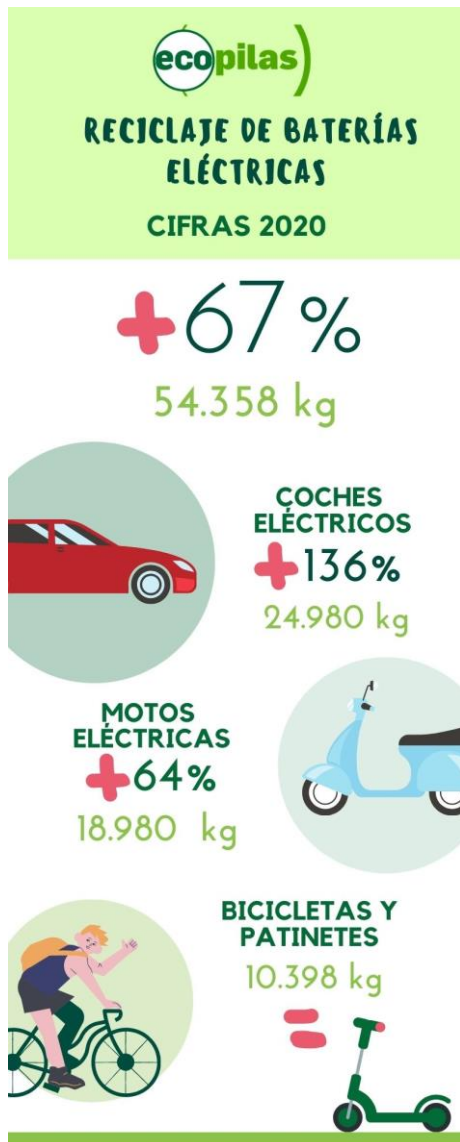
Figura 60. Modelo logístico recogida y reciclaje de baterías.



6.6.2 Ecopilas y el reciclaje de las baterías de movilidad urbana

Como podemos ver en la figura 61 en el año 2020 Ecopilas ha recogido 67% más de baterías eléctricas que el año 2019 lo que representa 54358 kilos de baterías. Esta cantidad de residuos representa un verdadero desafío ambiental y una oportunidad para el crecimiento socioeconómico en la industria del reciclaje por los números que puede llegar a alcanzar, tras el anuncio reciente por parte del gobierno de España de la promoción de vehículos eléctricos a través del Fondo Europeo de Reconstrucción [116].

Dentro de esta cantidad de residuos recogidos en el 2020, tenemos que se han



recogido 24980 kg de baterías de coches eléctricos lo que supone un 136% más que en el año anterior. También se han recogido 18980 kg de baterías de motos eléctricas lo que supone un incremento del 64% con respecto al 2019 [116].

Y en tercer lugar se encuentran 10398 kg de baterías que proceden de los patinetes y bicicletas eléctricas, esta cantidad puede decirse que se ha mantenido estable con respecto al año pasado que se recogieron unos 10391 kg de baterías [116].

Sin embargo, se prevé un aumento de este último tipo de baterías de vehículos de movilidad personas puesto que ha habido un gran crecimiento de ventas debido a la crisis sanitaria ya que las bicicletas eléctricas o los patinetes eléctricos suponen un transporte seguro [116].

En el informe Atlas Europeo de Movilidad del 2021, dice que las bicicletas eléctricas suponen cerca de un 17% de ventas en la Unión Europea y se prevé un aumento en los próximos años [116].

Figura 61. Cifras de baterías eléctricas recogidas en 2020 por ecopilas.



6.6.3 Proyecto Lions2Life

Debido a los efectos ambientales causados por los vehículos de combustión, la movilidad alternativa se está convirtiendo en una práctica cada vez más común. Aunque hoy en día solo un pequeño porcentaje de la población usa bicicletas eléctricas y patinetes eléctricos, esta cantidad está destinada a aumentar. En los próximos años habrá que ampliar el transporte público disponible, considerando también la movilidad eléctrica y compartida. Además, la venta de bicicletas eléctricas está aumentando gracias al desarrollo de nuevas tecnologías y la reducción del precio del litio [117].

Como consecuencia de esto, la industria de las baterías es identificada como una prioridad por la Comisión Europea a través de la European Battery Alliance apoyada por España. Además, los distintos ayuntamientos de nuestro país están impulsando el uso del vehículo eléctrico como elemento prioritario de su política de movilidad, que está generando un stock creciente de baterías usadas [117].

El proyecto Lions2Life es un proyecto a nivel europeo en el que participan muchas empresas y que junto a Recyclia y ERION, afirman que la cantidad de baterías de servicios de movilidad sostenible que llegan al final de sus vidas está creciendo rápidamente [117] como hemos podido ver en el apartado anterior de recogida de baterías de Ecopilas y de forma más gráfica en la figura 61.

Los informes consultados sobre el uso de estas baterías para aplicaciones de almacenamiento de energía confirman la viabilidad técnica de la solución, y en línea con esto, asesoran sobre la necesidad de experiencias piloto para validar todos los aspectos relacionados con su implementación desde los aspectos más técnicos a los aspectos regulatorios y del modelo de negocio [117].

El proyecto tiene como objetivo demostrar la validez del uso de baterías de segunda vida de la movilidad eléctrica en los sistemas de almacenamiento de energía en viviendas o instalaciones industriales con paneles solares, tanto desde el punto de vista técnico como económico, mediante la elaboración de un nuevo modelo de negocio y la demostración práctica relacionada, abarcando también los aspectos sociales y regulatorios de la solución [117].

6.6.3.1 Segunda vida de las baterías

En este punto del proyecto Lions2Life, se debe pasar por 3 etapas diferentes para que las baterías lleguen a tener una segunda vida, las etapas son:



- **Recolección:**

En esta etapa la fundación ECOPILAS toma un papel muy importante puesto que para que funcione el proyecto es necesario disponer de una gran cantidad de baterías para aprovechar [117].

Desde el inicio del proyecto hasta hoy, se han podido recolectar más de 150 baterías de iones de litio del País Vasco, Comunidad de Madrid y Comunidad Valenciana, donde el 83% de ellas proceden de bicicletas eléctricas [117].

- **Desmontaje:**

Un paso importante para los procesos de remanufacturado y reciclaje es el desmontaje de los paquetes de baterías al nivel de las celdas. Sin embargo, los riesgos asociados con el desmontaje de la batería también son numerosos [117]. Por ejemplo, un cortocircuito da como resultado una descarga rápida, que puede provocar un calentamiento y una fuga térmica [118].

Además, debido a que las baterías de bicicletas eléctricas están diseñadas con el fin de durar el mayor tiempo posible, las celdas en su interior están densamente empaquetadas, para evitar daños por el estrés mecánico y las vibraciones a las que puedan estar sometidas durante su vida útil [117].

Por ejemplo, en el caso de la batería que se muestra en la figura 62, tuvieron que realizarse los siguientes pasos:

1. Abrir la carcasa externa.
2. Quitar los tornillos y cortar todos los cables.
3. Retirar el BMS cubierto por una silicona protectora (sistema de gestión de baterías electrónica que llevan las baterías de carga y descarga).
4. Quitar las conexiones de níquel.
5. Retirar los soportes de plástico.
6. Quitar los contactos de níquel residual por los electrodos.

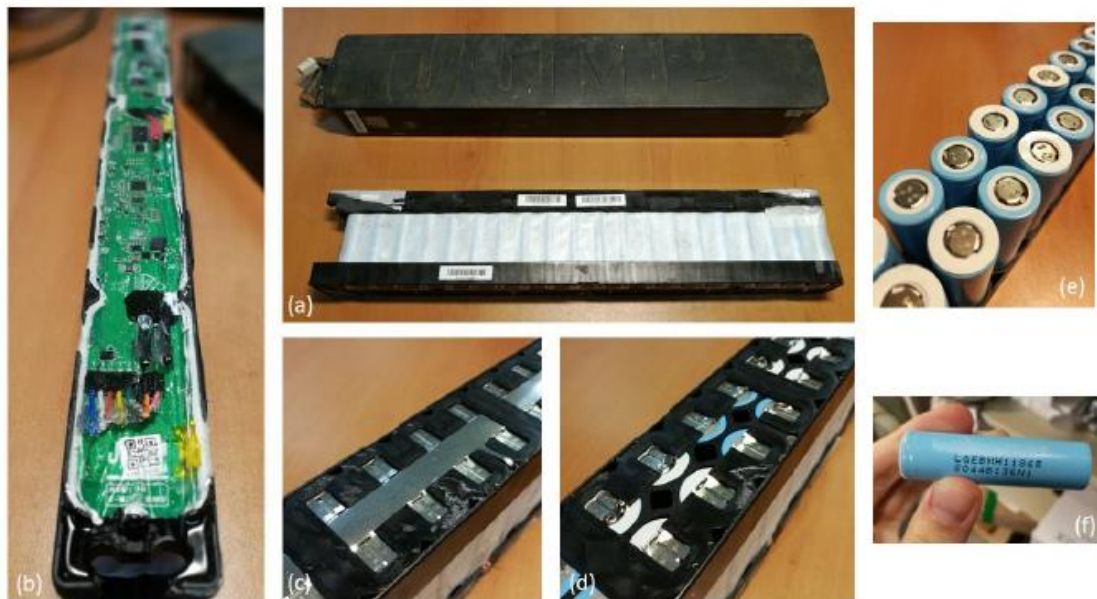


Figura 62. Ejemplo de desmontaje de una batería de iones de litio 10S4P de bicicleta eléctrica. a) Caja y paquete de batería de bicicleta eléctrica; b) BMS; c) y d) Detalle de una tira de níquel antes y después de retirarlo, respectivamente; e) Celdas sin contactos de níquel y soporte de plástico; f) Detalle de una celda Li-Ion LG MH1 18650. Fuente: Lions2Life: De baterías usadas al almacenamiento distribuido y sostenible de energía.

Hasta el día de hoy, han sido capaces de desmontar un 20% de las baterías recogidas, empleando una media de 90 minutos en el desmontaje de cada batería [117].

- **Proceso de análisis de las baterías:**

Una vez que se desmonta una batería y se extraen todas las celdas (18650), se pasa al proceso de carga/análisis. Cada celda de iones de litio se somete a una "prueba de capacidad". Todos los datos recopilados durante este análisis se guardan en una base de datos y se imprime una etiqueta y se adjunta sobre cada celda caracterizada. De esta forma, podremos identificar cada celda mediante un número de serie unívoco [117].

Como vemos abajo en la figura 63, durante estas pruebas, solo un 14% de las celdas medidas resultan con un salud de la batería inferior al 85% [117], dado que justo cuando la capacidad de la batería desciende por debajo del 80% de su capacidad original, la batería se considera no utilizable para su aplicación [119].

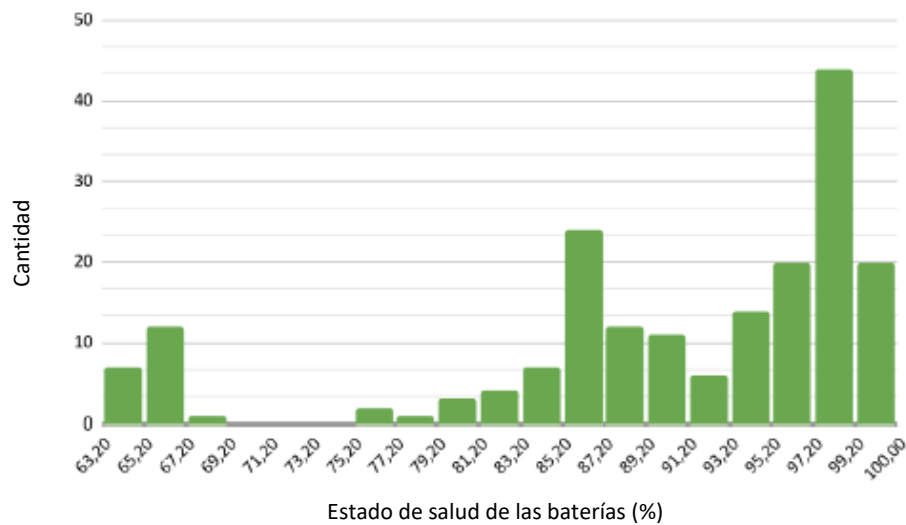


Figura 63. Estado de salud de las celdas probadas tomadas de diferentes baterías de bicicletas eléctricas.
Fuente: Lions2Life: De baterías usadas al almacenamiento distribuido y sostenible de energía.

Por ello, es importante señalar que un gran porcentaje de las baterías de bicicletas eléctricas que recoge Ecopilas se encuentran en buen estado como puede verse en la figura 63. Esto refuerza aún más la idea de utilizar baterías de segunda vida de la movilidad eléctrica en los sistemas de almacenamiento de energía [117].

6.6.3.2 La prueba piloto

La prueba piloto consistirá en el traslado del sistema de almacenamiento construido con baterías usadas para conectarlo y hacerlo operar en condiciones reales. Se comprobará el rendimiento del sistema y se comparará con el de los sistemas comerciales convencionales instalados en la misma ubicación. Se evaluará el rendimiento técnico y la degradación del tiempo, así como la usabilidad del sistema desde el punto de vista del usuario. También se evaluarán otros aspectos técnicos como su capacidad total de almacenamiento y profundidad de descarga [117].

- **LA BATERÍA PROTOTIPO**

El prototipo de batería se instalará en el distrito sostenible que sustituirá a una batería convencional fuera de la red para el almacenamiento de energía solar [117].



- **SELECCIÓN DE LAS CELDAS**

Uno de los principales problemas técnicos al usar baterías de segunda vida es la falta de coincidencia de sus estados de salud entre las celdas que provienen de diferentes paquetes de baterías, debido a su distinta vida anterior [117].

En el montaje de cada bloque de baterías es importante asegurarse de que las celdas conectadas en paralelo tengan un estado de salud similar, con una tolerancia de capacidad entre celdas del 5% [117]. Existe una fuerte correlación entre el equilibrio de las celdas y la longevidad [120], lo que hace que una batería mal adaptada llegue más rápido al final de su vida útil [117].

En Lions2Life diseñan un completo algoritmo de lógica difusa que ayudará a encontrar la combinación más adecuada de celdas conectadas para el ensamblaje de la batería piloto, eligiendo entre las celdas analizadas mediante: el estado de salud, resistencia interna, modelo de batería original y su posición en su interior, modelo de celda y su fecha de fabricación y otras variables que nos puedan contar mejor sobre su pasado [117].

6.6.4 Otros procedimientos de reciclado de baterías

En España una de las redes de reciclaje de baterías más conocida es Ecopilas con el proyecto Lions2Life como hemos explicado en el apartado anterior, sin embargo, en otros países también se están desarrollando métodos de reciclaje para así solucionar el problema de las baterías usadas. Tenemos dos ejemplos de estudios de sistemas de reciclaje en China.

6.6.4.1 La red de reciclado

El reciclaje de baterías es una parte esencial de la industria de las bicicletas eléctricas y es de gran importancia para el desarrollo y los recursos sostenibles y para la protección del medio ambiente. Este estudio, basado en la ciudad de Xuzhou, provincia de Jiangsu, investigó las ventas de bicicletas eléctricas y la duración y composición de la batería. Los datos recopilados se utilizaron para estimar la producción de baterías gastadas y plantear nuevos métodos de reciclaje [4].

En la figura 64, se puede ver el sistema de reciclaje y flujo de baterías gastadas que obtenidas con los datos recogidos del estudio.

Los minoristas de bicicletas eléctricas, que representan la mayoría de los recicladores de baterías gastadas en China, reciclaron $42,3 \pm 8,3\%$ del total de baterías gastadas en los últimos cuatro años. Los encargados de reparar bicicletas eléctricas también fueron de gran importancia, ya que reciclaron alrededor del



33,5 ± 5,9% del total de baterías gastadas, el 12,8 ± 7,8% de las cuales se reutilizaron después de ser reparadas y el resto ingresó al sistema de reciclaje [4].

La bajada de precios de las baterías de litio que son recicladas con respecto a las que no lo son, ha dado lugar a una situación incómoda en la que los minoristas de bicicletas eléctricas no están dispuestos a reciclarlas. Debido a esto, alrededor del 13,4 ± 6,7% de las baterías gastadas son desechadas por los consumidores directamente al medio ambiente [4].

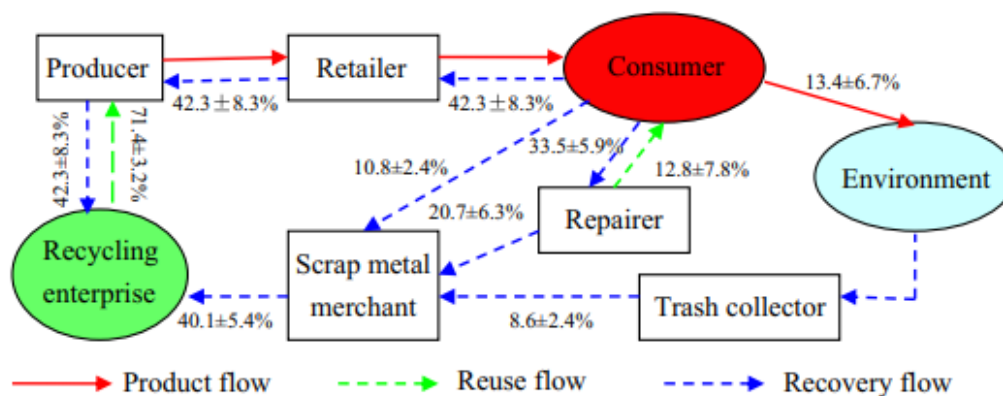


Figura 64. Actual sistema de reciclaje y flujo de baterías gastadas de Xuzhou. Fuente: Enhanced recycling network for spent e-bicycle batteries: A case study in Xuzhou, China.

Los resultados de esta investigación indicaron que existe un sistema de reciclaje simple para baterías gastadas en Xuzhou, pero que faltan los siguientes dos factores importantes: la regulación gubernamental y la participación de la comunidad de base. El reciclaje de baterías gastadas no es simplemente una actividad económica, sino que también protege el medio ambiente [4], [121], [122]. Por lo tanto, el reciclaje de baterías gastadas no puede depender completamente del comportamiento del mercado. Es esencial establecer un sistema mejorado de red de logística inversa para el reciclaje de baterías gastadas que introduzca una regulación gubernamental junto con la participación de organizaciones comunitarias de base [4].

Este sistema propuesto lo podemos ver en la figura 65. El sistema de reciclaje establecido en este estudio está incluido en el plan de protección ambiental 2015-2030 para la ciudad de Xuzhou [4].

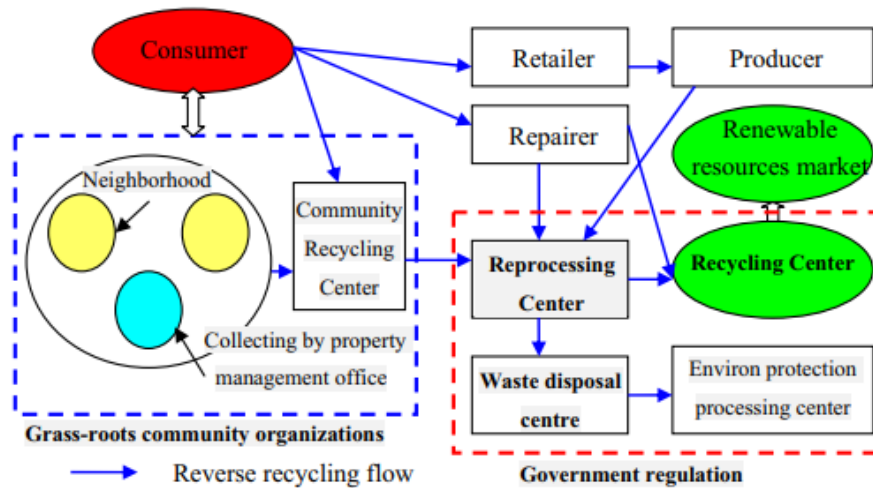


Figura 65. Sistema de red de reciclaje inverso mejorado para baterías gastadas en Xuzhou. Fuente: Enhanced recycling network for spent e-bicycle batteries: A case study in Xuzhou, China.

Se quiere establecer una red completa de logística inversa para el reciclaje de baterías gastadas basada en las características de los usuarios individuales con el fin de mejorar la eficiencia del reciclaje. Además, también se debe promover la mejora de la responsabilidad del productor, el aumento de la publicidad, la sensibilización del público, el desarrollo del transporte público ecológico y la reducción de la dependencia de las bicicletas eléctricas [4].

6.6.4.2 La economía circular

En los últimos años, el reciclaje y la gestión de baterías están tomando importancia debido a la presión sobre los recursos y el medio ambiente. Debido a esto, se están proponiendo numerosos estudios de sistemas del reciclaje de baterías, lo que haría que la tasa de reciclaje alcanzase más del 90% [4], [109], [123].

El objetivo de este estudio era evaluar los impactos ambientales del ciclo de vida de las baterías eléctricas para las BE en China. Específicamente, el estudio tenía como objetivo [109]:

- Comparar los tipos de baterías eléctricas que se utilizan en las bicicletas eléctricas desde una perspectiva medioambiental.
- Identificar materiales o procesos que afectan el medio ambiente y la salud humana a lo largo del ciclo de vida de las baterías.
- Evaluar los beneficios ambientales de la reutilización y la utilización escalonada de las baterías gastadas.
- Proyectar los impactos ambientales de las baterías en el futuro con base en el análisis de escenarios y proponer medidas factibles para reducir estos impactos.



El alcance de este estudio cubre todo el ciclo de vida de las baterías, incluyendo la extracción y procesamiento de materiales, la fabricación de baterías, el transporte de baterías, el uso de baterías y el fin de la vida útil de las baterías como se ilustra en la figura 66 [109].

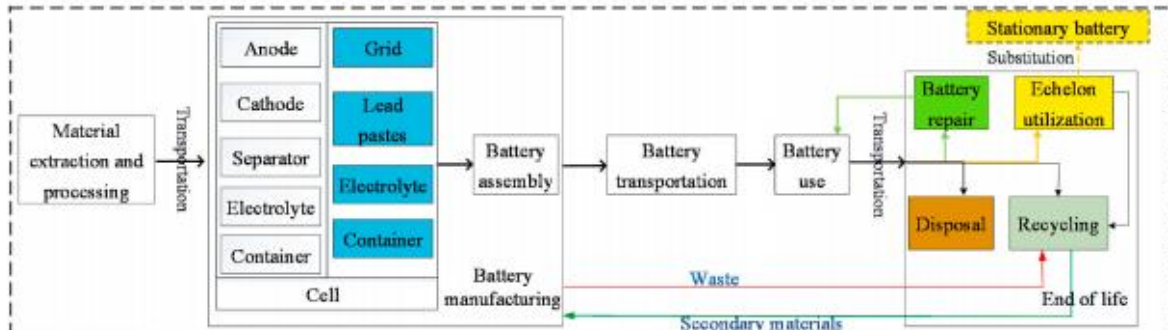


Figura 66. Alcance y límite de la evaluación del ciclo de vida de las baterías. Fuente: Life cycle assessment of power batteries used in electric bicycles in China.

En la figura 66, el color azul representa el proceso de producción de las baterías, el color verde la reparación y el uso de las baterías y el amarillo la utilización escalonada de las baterías retiradas. En este proceso se incluyen varias etapas [109]:

- La etapa de extracción y procesamiento de materiales incluye la adquisición y procesamiento de las materias primas necesarias para la etapa de fabricación de baterías.
- La etapa de fabricación de baterías incluye la fabricación de componentes de baterías, ensamblaje y empaque de baterías
- En la etapa de transporte de la batería, los productos de la batería llegan al usuario del fabricante y se trata principalmente del consumo de combustible.
- El consumo de electricidad de las baterías depende principalmente de la vida útil de la batería y de su eficiencia energética de carga-descarga [124], debido a los hábitos del usuario y las condiciones del tráfico, el ciclo de vida de las baterías en el uso práctico es menor que en las pruebas.
- Hay dos destinos finales para las baterías que llegan al fin de vida: reciclaje y eliminación de materiales. Los materiales reciclados de las baterías gastadas pueden devolverse al mercado o reutilizarse por las empresas de baterías. Antes de reciclar y desechar materiales, se pueden reutilizar algunas baterías gastadas en buenas condiciones. Cabe señalar que algunas baterías gastadas se reutilizan como baterías estacionarias en estaciones base de telecomunicaciones y sistemas de almacenamiento de energía.

Con el estudio se pudieron identificar los procesos y factores clave en el ciclo de vida completo de las baterías, y se analizaron oportunidades razonables para



reducir los impactos ambientales y de salud humana de las baterías en función de la situación real en China [109].

7 CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha realizado un repaso histórico de las baterías, desde los primeros inicios hasta el día de hoy. Se ha podido ver la evolución de los distintos materiales usados para realizar las baterías en función de las características deseadas, observando la cantidad de baterías ineficaces lo que llevaba a continuar llevando a cabo nuevas investigaciones y desarrollando nuevos materiales para su mejora.

También se ha visto el desarrollo histórico de las bicicletas eléctricas empezando por velocípedos y terminando por bicicletas eléctricas más actuales con smartphones para poder monitorizar los datos del pedaleo.

Debido a la concienciación con el cambio climático de muchos países se están empezando a aplicar ayudas para promover los vehículos eléctricos. Esta industria está cogiendo mucha fuerza en los últimos años, pero la pandemia de Covid-19 también ha afectado enormemente a la industria europea de la bicicleta. En marzo y abril de 2020, las fábricas detuvieron o ralentizaron su producción. Esto fue necesario debido a los impactos en la cadena de suministro, la orientación nacional para detener todo trabajo no esencial, así como la necesidad de adaptarse a mayores medidas de seguridad y protección [49].

Sin embargo, a principios del verano, las ventas comenzaron a repuntar una vez que se levantaron las medidas de bloqueo, ya que los funcionarios gubernamentales han alentado activamente el ciclismo como una forma de mantenerse activo mientras se mantiene el distanciamiento social. Para promover aún más el ciclismo, se han implementado esquemas especiales de ayudas en algunos países. Aún no está claro si este aumento en las ventas puede sostenerse, pero una parte considerable de las pérdidas inducidas por el bloqueo se recuperaron a fines del año 2020 [49].

Gracias a este impulso por la relajación de las medidas anti-covid las personas tienden a salir más a la calle y realizar más deportes al aire libre, es por ello que, he realizado una propuesta de implantación de un servicio de alquiler de bicicletas eléctricas en el municipio de Cartagena, para ayudar a la movilidad y ser respetuosos con el medio ambiente.

El desarrollo de los vehículos eléctricos hace que nos planteemos la problemática del reciclaje de las baterías usadas llevándonos a preguntar que se puede hacer con ellas. Con los proyectos como Lions2Life se puede concluir que el reciclaje de las baterías resulta muy importante y útil.



Por lo tanto, podríamos decir que el reciclaje de las baterías además de tener un interés medioambiental, al ayudar a conservar los recursos y proteger el medio ambiente al reducir la cantidad de desechos que se envían a los vertederos mediante la economía circular. Gracias a este sistema de economía circular que supone el reciclaje de las baterías permiten que vuelvan a introducirse en las cadenas de fabricación los materiales y metales ya usados y usarlos para nuevas baterías o incluso para otros fines. Lo que permite a las empresas abaratar las baterías debido a la reutilización de los materiales siendo este proceso más barato que fabricar baterías desde cero, siendo un interés económico bastante importante.



8 BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. De Cauwer, J. Van Mierlo, y T. Coosemans, «Energy consumption prediction for electric vehicles based on real-world data», *Energies*, vol. 8, n.º 8, pp. 8573-8593, 2015, doi: 10.3390/en8088573.
- [2] K. Holmberg y A. Erdemir, «The impact of tribology on energy use and CO2 emission globally and in combustion engine and electric cars», *Tribol. Int.*, vol. 135, n.º March, pp. 389-396, 2019, doi: 10.1016/j.triboint.2019.03.024.
- [3] N. B. Hung y O. Lim, «A review of history, development, design and research of electric bicycles», *Appl. Energy*, vol. 260, n.º November 2019, p. 114323, 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.114323.
- [4] F. Chen, B. Yang, W. Zhang, J. Ma, J. Lv, y Y. Yang, «Enhanced recycling network for spent e-bicycle batteries: A case study in Xuzhou, China», *Waste Manag.*, vol. 60, pp. 660-665, 2017, doi: 10.1016/j.wasman.2016.09.027.
- [5] Z. Ma, D. R. MacFarlane, y M. Kar, «Mg Cathode Materials and Electrolytes for Rechargeable Mg Batteries: A Review», *Batter. Supercaps*, vol. 2, n.º 2, pp. 115-127, 2019, doi: 10.1002/batt.201800102.
- [6] J. Cutler, Cleveland, y C. Morris, «Electricity», *Handb. Energy*, vol. II, p. 417013, 2014.
- [7] G. Gestoso Singer, «Amber exchange in the Late Bronze Age Levant in cross-cultural perspective», *Aula Orient. Rev. Estud. del Próximo Oriente Antig.*, vol. 34, n.º 2, pp. 251-264, 2016.
- [8] G. S. Smith, «Benjamin Franklin and the dissectible capacitor: his observations might surprise you.», pp. 0-68, 2017.
- [9] M. Guarnieri, «Electricity in the age of enlightenment [Historical]», *IEEE Ind. Electron. Mag.*, vol. 8, n.º 3, pp. 60-63, 2014, doi: 10.1109/MIE.2014.2335431.
- [10] G. de Santillana, «Alessandro Volta», *Sci. Am.*, vol. 212, n.º 1, pp. 82-91, 1965, doi: 10.1038/scientificamerican0165-82.
- [11] W. M. Saslow, «Voltaic Cells: The Good (Faraday), the Bad (Volta), and the Ugly (Galvani)», *Phys. Teach.*, vol. 59, n.º 1, pp. 22-26, 2021, doi: 10.1119/10.0003010.
- [12] M. Piccolino, «Luigi Galvani and animal electricity: Two centuries after the foundation of electrophysiology», *Trends Neurosci.*, vol. 20, n.º 10, pp. 443-448, 1997, doi: 10.1016/S0166-2236(97)01101-6.
- [13] A. Volta y J. Banks, «On the electricity excited by the mere contact of conducting substances of different species.», pp. 27-29, 1800.



- [14] M. Piccolino, «The bicentennial of the Voltaic battery (1800-2000): The artificial electric organ», *Trends Neurosci.*, vol. 23, n.º 4, pp. 147-151, 2000, doi: 10.1016/S0166-2236(99)01544-1.
- [15] C. Daniel, D. Mohanty, J. Li, y D. L. Wood, «Cathode materials review», *AIP Conf. Proc.*, vol. 1597, n.º February, pp. 26-43, 2014, doi: 10.1063/1.4878478.
- [16] L. a Geddes, «The First Stimulators», *IEEE Eng. Biol.*, n.º September, pp. 532-542, 1994.
- [17] J. S. Jayson, «The Daniell cell, Ohm's law, and the emergence of the International System of Units», *Am. J. Phys.*, vol. 82, n.º 1, pp. 60-65, 2014, doi: 10.1119/1.4826445.
- [18] W. R. Grove, «LIII. Experiments on voltaic reaction », *London, Edinburgh, Dublin Philos. Mag. J. Sci.*, vol. 23, n.º 154, pp. 443-446, 1843, doi: 10.1080/14786444308644767.
- [19] I. R. Morus, «Correlation and control: William Robert Grove and the construction of a new philosophy of scientific reform», *Stud. Hist. Philos. Sci.*, vol. 22, n.º 4, pp. 589-621, 1991, doi: 10.1016/0039-3681(91)90035-Q.
- [20] P. Kurzweil, «Gaston Planté and his invention of the lead-acid battery-The genesis of the first practical rechargeable battery», *J. Power Sources*, vol. 195, n.º 14, pp. 4424-4434, 2010, doi: 10.1016/j.jpowsour.2009.12.126.
- [21] M. Guarnieri, «When cars went electric, Part 2», *IEEE Ind. Electron. Mag.*, vol. 5, n.º 2, pp. 52-54, 2011, doi: 10.1109/MIE.2011.941122.
- [22] P. A. Wayman, «Stoney 's Electron», p. 1, 1997.
- [23] E. J. Cairns, «Batteries, Overview», vol. 1, n.º 1, pp. 117-126, 2004.
- [24] Y. Liang *et al.*, «A review of rechargeable batteries for portable electronic devices», *InfoMat*, vol. 1, n.º 1, pp. 6-32, 2019, doi: 10.1002/inf2.12000.
- [25] A. J. Salkind y P. Israel, «Thomas Alva Edison - Battery and device innovation in response to application's needs», *J. Power Sources*, vol. 136, n.º 2 SPEC. ISS., pp. 356-365, 2004, doi: 10.1016/j.jpowsour.2004.03.016.
- [26] J. T. K. Etal, «Battery Having a Molten Alkali Metal Anode and a Molten Sufur Cathode», 1968.
- [27] J. Coetzer, «Short Communication A New High Energy Density Battery System», *J. Power Sources*, vol. 18, n.º 377, p. 7753, 1986.
- [28] J. B. Goodenough, «Rechargeable batteries: Challenges old and new», *J. Solid State Electrochem.*, vol. 16, n.º 6, pp. 2019-2029, 2012, doi: 10.1007/s10008-012-1751-2.



- [29] C. H. Dustmann, «Advances in ZEBRA batteries», *J. Power Sources*, vol. 127, n.º 1-2, pp. 85-92, 2004, doi: 10.1016/j.jpowsour.2003.09.039.
- [30] J. T. Kummer, « β -Alumina electrolytes», *Prog. Solid State Chem.*, vol. 7, n.º C, pp. 141-175, 1972, doi: 10.1016/0079-6786(72)90007-6.
- [31] A. Van Zyl, «Review of the zebra battery system development», *Solid State Ionics*, vol. 86-88, pp. 883-889, 1996.
- [32] K. Mizushima, P. C. Jones, P. J. Wiseman, y J. B. Goodenough, «A new cathode material for batteries of high energy density», *Japanese J. Appl. Physics, Part 1 Regul. Pap. Short Notes Rev. Pap.*, vol. 15, pp. 783-789, 1980, doi: 10.1143/jjap.42.6131.
- [33] A. Yoshino, «The birth of the lithium-ion battery», *Angew. Chemie - Int. Ed.*, vol. 51, n.º 24, pp. 5798-5800, 2012, doi: 10.1002/anie.201105006.
- [34] The Japan prize foundation, «2018 (34 th) Japan Prize Presentation Ceremony», 2018.
- [35] R. Yazami y P. Touzain, «A reversible graphite-lithium negative electrode for electrochemical generators», *J. Power Sources*, vol. 9, n.º 3, pp. 365-371, 1983, doi: 10.1016/0378-7753(83)87040-2.
- [36] M. S. Whittingham y A. J. (eds) Jacobson, «Intercalation chemistry», en *Intercalation chemistry*, 1982, pp. 19-53.
- [37] A. Yoshino, S. Kenichi, y T. Nakajima, «United States Patent. Secondary battery», n.º 19, 1987.
- [38] A. Oberlin, M. Endo, y T. Koyama, «Filamentous growth of carbon through benzene decomposition», *J. Cryst. Growth*, vol. 32, n.º 3, pp. 335-349, mar. 1976, doi: 10.1016/0022-0248(76)90115-9.
- [39] A. Yoshino *et al.*, «Development of a Lithium-Type Advanced Energy Storage Device», *J. Electrochem. Soc.*, vol. 151, n.º 12, p. A2180, 2004, doi: 10.1149/1.1813671.
- [40] N. O. Kapustin y D. A. Grushevenko, «Long-term electric vehicles outlook and their potential impact on electric grid», *Energy Policy*, vol. 137, n.º April, p. 111103, 2020, doi: 10.1016/j.enpol.2019.111103.
- [41] S. Fletcher, «40 Years Later: Electric Cars and the OPEC Oil Embargo - Scientific American Blog Network», 2013. <https://blogs.scientificamerican.com/observations/40-years-later-electric-cars-and-the-opeo-oil-embargo/> (accedido ago. 04, 2021).
- [42] O. 2017, «Global EV Outlook 2017», *Glob. EV Outlook 2017*, 2017, doi: 10.1787/9789264278882-en.
- [43] N. Ba Hung, S. Jaewon, y O. Lim, «A study of the effects of input parameters



- on the dynamics and required power of an electric bicycle», *Appl. Energy*, vol. 204, pp. 1347-1362, 2017, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.03.025.
- [44] I. V. McLoughlin *et al.*, «Campus Mobility for the Future: The Electric Bicycle», *J. Transp. Technol.*, vol. 02, n.º 01, pp. 1-12, 2012, doi: 10.4236/jtts.2012.21001.
- [45] H. B. Sundfør y A. Fyhri, «A push for public health: The effect of e-bikes on physical activity levels», *BMC Public Health*, vol. 17, n.º 1, pp. 1-12, 2017, doi: 10.1186/s12889-017-4817-3.
- [46] M. Weiss, P. Dekker, A. Moro, H. Scholz, y M. K. Patel, «On the electrification of road transportation - A review of the environmental, economic, and social performance of electric two-wheelers», *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 41, pp. 348-366, 2015, doi: 10.1016/j.trd.2015.09.007.
- [47] N. B. Hung, J. Sung, y O. Lim, «A simulation and experimental study of operating performance of an electric bicycle integrated with a semi-automatic transmission», *Appl. Energy*, vol. 221, n.º March, pp. 319-333, 2018, doi: 10.1016/j.apenergy.2018.03.195.
- [48] M. Kiba-Janiak y J. Witkowski, «Sustainable urban mobility plans: How do they work?», *Sustain.*, vol. 11, n.º 17, 2019, doi: 10.3390/su11174605.
- [49] S. Becker *et al.*, *European mobility atlas*. 2021.
- [50] P. Y. Chou, J. T. Tsai, y J. H. Chou, «Modeling and Optimizing Tensile Strength and Yield Point on a Steel Bar Using an Artificial Neural Network with Taguchi Particle Swarm Optimizer», *IEEE Access*, vol. 4, pp. 585-593, 2016, doi: 10.1109/ACCESS.2016.2521162.
- [51] O. J. Bolton, «Electrical Bike Patent», *United States Pat. Off.*, n.º 552, pp. 1-5, 1895.
- [52] C. Théryc, «Wheel with electrical motor-hub for vehicles», n.º 572, p. 4, 1896, [En línea]. Disponible en: <https://patentimages.storage.googleapis.com/2d/bd/17/ade97043cf4452/US572036.pdf>.
- [53] H. W. Libbey, «Electrical Bike Patent», *United States Pat. Off.*, n.º 596, pp. 1-3, 1897.
- [54] G. J. Scott, «Electrical Bike Patent», *United States Pat. Off.*, n.º 598, pp. 1-3, 1898.
- [55] J. Schnepf, «USA Grant US627066A», n.º 627, 1899, [En línea]. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/US627066>.
- [56] A. Hänsel, «Electric Bicycle Patent», *United States Pat. Off.*, pp. 1-4, 1900.



- [57] T. M. McDonald, «United States Patent Office», 1938.
- [58] S. Argyris, «The United States Patent Office», *Law Contemp. Probl.*, vol. 13, n.º 2, p. 354, 1946, doi: 10.2307/1190003.
- [59] A. B. Kinzel, «United States Patent», n.º 19, 1974.
- [60] P. W. Leighton, C. Patrick, y D. Davidson, «United States Patent (19)», n.º 19, 1977.
- [61] L. A. Rudwick, «Motor and pedal driven bicycles», n.º 19, 1978.
- [62] H. M. Gannon, «Electric and pedal driven bicycle with solar charging», n.º 19, 1993.
- [63] W.-C. Chou, «Electrical bicycle», n.º 54, pp. 1-5, 1994.
- [64] M. Fujiwara, Y. Hirose, K. Inui, Y. Yamaguchi, T. Tanaka, y T. Suhara, «Electric bicycle», vol. 99, n.º 19, pp. 1-18, 1995.
- [65] S. Murakami y H. Aoki, «Electric bicycle», n.º 19, 1997.
- [66] R. W. Whittaker, «Electric bicycle», n.º 19, 1998.
- [67] C.-Y. Chao, C.-J. Wang, Y.-J. Luo, y Y.-W. Hwang, «Power transmission and pedal force sensing system for an electric bicycle», vol. 1, n.º 12, 1998.
- [68] J. R. Turner, «Electric bicycle and methods», vol. 1, n.º 12, 1999.
- [69] T.-I. Chen, «Non-brush type direct current motor for electric bicycle», *J. Wicks. Redon. Beach; Helmut J*, vol. 221, n.º 19, p. 41, 1999.
- [70] L.-J. Lin, «Folding Electric Bicycle», vol. 1, n.º 19, p. 12, 2004.
- [71] R. Brady, J. Richard T. Herbst, D. Poirier, E. Holmen, y G. Akhavein, «Folding bicycle with electric power tranassist», vol. 1, n.º 19, 2010.
- [72] M. R. Huber, «Pedal generator electric bicycle», vol. 1, n.º 61, pp. 6-10, 2012.
- [73] L.-H. Yao y S.-C. Lin, «Electromechanical control sistem of electric bicycle integrating smart mobile device and cloud services», vol. 1, n.º 19, p. 33, 2013, [En línea]. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/US20140331942A1/en>.
- [74] W.-S. Lee, «Control system for electric bicycles», vol. 1, 2017.
- [75] «La MG-20 es la nueva bicicleta eléctrica plegable de Ducati y está hecha de magnesio - Actualidad - Híbridos y Eléctricos | Coches eléctricos, híbridos enchufables». <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/actualidad/ducati-mg-20-bicicleta-electrica-plegable-magnesio/20210630150012046546.html> (accedido sep. 02, 2021).



- [76] «MG-20 - Ducati eMobility». <https://www.ducatiurbanemobility.com/electric-mobility/mg-20/> (accedido sep. 02, 2021).
- [77] A. Muetze y Y. C. Tan, «Modeling and analysis of the technical performance of DC-motor electric bicycle drives based on bicycle road test data», *Proc. IEEE Int. Electr. Mach. Drives Conf. IEMDC 2007*, vol. 2, pp. 1574-1581, 2007, doi: 10.1109/IEMDC.2007.383663.
- [78] Iberobike, «Tipos de bicicletas eléctricas. Qué Ebike es mejor: Motores, baterías y precios - iberobike», oct. 13, 2019. <https://www.iberobike.com/tipos-de-bicicletas-electricas-que-ebike-es-mejor-motores-baterias/> (accedido jun. 12, 2021).
- [79] E. McKenna, M. McManus, S. Cooper, y M. Thomson, «Economic and environmental impact of lead-acid batteries in grid-connected domestic PV systems», *Appl. Energy*, vol. 104, pp. 239-249, 2013, doi: 10.1016/j.apenergy.2012.11.016.
- [80] M. Hiremath, K. Derendorf, y T. Vogt, «Comparative life cycle assessment of battery storage systems for stationary applications», *Environ. Sci. Technol.*, vol. 49, n.º 8, pp. 4825-4833, 2015, doi: 10.1021/es504572q.
- [81] M. D. Zanconato, B. B. de Rossi, H. D. Johansen, M. R. de M. Chaves, y B. Antoniassi, «Automation benefits in the formation process of lead-acid batteries», *Indep. J. Manag. Prod.*, vol. 8, n.º 1, pp. 91-107, 2017, doi: 10.14807/ijmp.v8i1.498.
- [82] I. González, A. Ramiro, M. Calderón, A. J. Calderón, y J. F. González, «Estimation of the state-of-charge of gel lead-acid batteries and application to the control of a stand-alone wind-solar test-bed with hydrogen support», *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 37, n.º 15, pp. 11090-11103, 2012, doi: 10.1016/j.ijhydene.2012.05.001.
- [83] S. Matteson y E. Williams, «Residual learning rates in lead-acid batteries: Effects on emerging technologies», *Energy Policy*, vol. 85, n.º 2015, pp. 71-79, 2015, doi: 10.1016/j.enpol.2015.05.014.
- [84] Cesar, «Baterias de Plomo Acido – Principio de Funcionamiento – Ayuda Electronica | Circuitos Electronicos, Ingenieria Electronica», 2010. <http://ayudaelectronica.com/baterias-de-plomo-acido-principio-de-funcionamiento/> (accedido jun. 16, 2021).
- [85] «How Do Lead Acid Batteries Work: Lead Acid Technology » Electronics Notes». https://www.electronics-notes.com/articles/electronic_components/battery-technology/how-do-lead-acid-batteries-work-technology.php (accedido jun. 16, 2021).
- [86] S. Grugeon-Dewaele *et al.*, «Soaking and formation of tetrabasic lead



- sulfate», *J. Power Sources*, vol. 64, n.º 1-2, pp. 71-80, ene. 1997, doi: 10.1016/S0378-7753(96)02505-0.
- [87] J. Gou, A. Lee, y J. Pyko, «Modeling of the cranking and charging processes of conventional valve regulated lead acid (VRLA) batteries in micro-hybrid applications», *J. Power Sources*, vol. 263, pp. 186-194, 2014, doi: 10.1016/j.jpowsour.2014.04.026.
- [88] Y. Zeng, J. Hu, W. Ye, W. Zhao, G. Zhou, y Y. Guo, «Investigation of lead dendrite growth in the formation of valve-regulated lead-acid batteries for electric bicycle applications», *J. Power Sources*, vol. 286, pp. 182-192, 2015, doi: 10.1016/j.jpowsour.2015.03.139.
- [89] L. Prout, «Aspects of lead/acid battery technology 4. Plate formation», *J. Power Sources*, vol. 41, n.º 1-2, pp. 195-219, 1993, doi: 10.1016/0378-7753(93)85012-D.
- [90] GP Batteries, «Nickel Cadmium Technical Hand Book», p. 22, 2002.
- [91] F. Putois, «Market for nickel-cadmium batteries», *J. Power Sources*, vol. 57, n.º 1-2, pp. 67-70, 1995, doi: 10.1016/0378-7753(95)02243-0.
- [92] «Nickel–cadmium battery - Wikipedia». https://en.wikipedia.org/wiki/Nickel–cadmium_battery (accedido jun. 18, 2021).
- [93] «Baterías de níquel-cadmio (Ni-Cd): características, tipos, cómo recuperar y desechar». <https://technoluxpro.com/es/akkumulatory/batarei/ni-cd.html> (accedido jun. 18, 2021).
- [94] F. Feng, M. Geng, y D. O. Northwood, «Electrochemical behaviour of intermetallic-based metal hydrides used in Ni/metal hydride (MH) batteries: A review», *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 26, n.º 7, pp. 725-734, 2001, doi: 10.1016/S0360-3199(00)00127-0.
- [95] J. J. C. Kopera, «Inside the Nickel Metal Hydride Battery Inside the NiMH Battery», [Http://Www.Cobasys.Com/Pdf/Tutorial/Inside_Nimh_Battery_Technology.Pdf](http://www.cobasys.com/Pdf/Tutorial/Inside_Nimh_Battery_Technology.Pdf), n.º June, p. Last Visited: 08/06/15, 2004, [En línea]. Disponible en: http://www.cobasys.com/pdf/tutorial/inside_nimh_battery_technology.pdf.
- [96] «Baterías Ni-Mh: tipos, cómo reconstruir y cargar». <https://technoluxpro.com/es/akkumulatory/batarei/ni-mh.html> (accedido jun. 23, 2021).
- [97] T. Nagaura y K. Tozawa, *Progress in Batteries and Solar Cells*. 1990.
- [98] R. Brodd, «Comments on the History of Lithium-ion Batteries». 2002.



- [99] T. Kodama y H. Sakaebe, «Present status and future prospect for national project on lithium batteries», *J. Power Sources*, vol. 81-82, pp. 144-149, sep. 1999, doi: 10.1016/S0378-7753(98)00207-9.
- [100] A. Barré, B. Deguilhem, S. Grolleau, M. Gérard, F. Suard, y D. Riu, «A review on lithium-ion battery ageing mechanisms and estimations for automotive applications», *J. Power Sources*, vol. 241, pp. 680-689, 2013, doi: 10.1016/j.jpowsour.2013.05.040.
- [101] G. Zubi, R. Dufo-López, M. Carvalho, y G. Pasaoglu, «The lithium-ion battery: State of the art and future perspectives», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 89, n.º October 2017, pp. 292-308, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2018.03.002.
- [102] «A Specialty Materials Company». <https://www.neicorporation.com/> (accedido ago. 05, 2021).
- [103] A. Väyrynen y J. Salminen, «Lithium ion battery production», *J. Chem. Thermodyn.*, vol. 46, pp. 80-85, 2012, doi: 10.1016/j.jct.2011.09.005.
- [104] M. Doyle y Y. Fuentes, «Computer Simulations of a Lithium-Ion Polymer Battery and Implications for Higher Capacity Next-Generation Battery Designs», *J. Electrochem. Soc.*, vol. 150, n.º 6, p. A706, 2003, doi: 10.1149/1.1569478.
- [105] «Lithium polymer battery - Wikipedia». https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_polymer_battery (accedido jun. 28, 2021).
- [106] IEA, «Trends in Electric Mobility», *Glob. EV Outlook 2020 Technol. Rep.*, pp. 39-85, 2020.
- [107] K. Palmer, J. E. Tate, Z. Wadud, y J. Nellthorp, «Total cost of ownership and market share for hybrid and electric vehicles in the UK, US and Japan», *Appl. Energy*, vol. 209, n.º July 2017, pp. 108-119, 2018, doi: 10.1016/j.apenergy.2017.10.089.
- [108] H. S. Das, M. M. Rahman, S. Li, y C. W. Tan, «Electric vehicles standards, charging infrastructure, and impact on grid integration: A technological review», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 120, n.º November, 2020, doi: 10.1016/j.rser.2019.109618.
- [109] W. Liu, H. Liu, W. Liu, y Z. Cui, «Life cycle assessment of power batteries used in electric bicycles in China», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 139, n.º November 2020, 2021, doi: 10.1016/j.rser.2020.110596.
- [110] «Goccia Grace: Bicicleta eléctrica urbana desde 699€». <https://www.electrobicis.com/marcas/goccia/grace/#goccia-grace-24v> (accedido jul. 31, 2021).



- [111] «ZHEJIANG GOCCIA ELECTRIC TECHNOLOGY CO.,LTD. - GocZHEJIANG GOCCIA ELECTRIC TECHNOLOGY CO.,LTD. - Goccia Q.J. | Electric motorcycle». <http://www.gocciabike.com/list/?language=1&classid=1> (accedido ago. 30, 2021).
- [112] M. O. Ramoni y H. C. Zhang, «End-of-life (EOL) issues and options for electric vehicle batteries», *Clean Technol. Environ. Policy*, vol. 15, n.º 6, pp. 881-891, 2013, doi: 10.1007/s10098-013-0588-4.
- [113] E. Hossain, D. Murtaugh, J. Mody, H. M. R. Faruque, M. S. H. Sunny, y N. Mohammad, «A Comprehensive Review on Second-Life Batteries: Current State, Manufacturing Considerations, Applications, Impacts, Barriers Potential Solutions, Business Strategies, and Policies», *IEEE Access*, vol. 7, pp. 73215-73252, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2917859.
- [114] «ABOUT US - Ecopilas». <https://www.ecopilas.es/en/who-we-are/about-us/> (accedido jul. 08, 2021).
- [115] «HOME - Ecopilas». <https://www.ecopilas.es/en/home/> (accedido jul. 08, 2021).
- [116] «Ecopilas, al frente de la gestión y reciclaje de las baterías de movilidad eléctrica». <https://www.ecopilas.es/ecopilas-al-frente-de-la-gestion-y-reciclaje-de-las-baterias-de-movilidad-electrica/> (accedido jul. 08, 2021).
- [117] P. Sánchez, «Lions2Life: De baterías usadas al almacenamiento distribuido y sostenible de energía.», 2020.
- [118] G. Harper *et al.*, «Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles», *Nature*, vol. 575, n.º 7781, pp. 75-86, 2019, doi: 10.1038/s41586-019-1682-5.
- [119] L. C. Casals, M. Rodríguez, C. Corchero, y R. E. Carrillo, «Evaluation of the end-of-life of electric vehicle batteries according to the state-of-health», *World Electr. Veh. J.*, vol. 10, n.º 4, pp. 1-11, 2019, doi: 10.3390/wevj10040063.
- [120] «BU-803a: Cell Matching and Balancing - Battery University». <https://batteryuniversity.com/article/bu-803a-cell-matching-and-balancing> (accedido jul. 15, 2021).
- [121] J. Li, K. Yu, y P. Gao, «Recycling and pollution control of the End of Life Vehicles in China», *J. Mater. Cycles Waste Manag.*, vol. 16, n.º 1, pp. 31-38, 2014, doi: 10.1007/s10163-013-0226-6.
- [122] J. Li, X. Zeng, y A. Stevels, «Ecodesign in Consumer Electronics: Past, Present, and Future», <http://dx.doi.org/10.1080/10643389.2014.900245>, vol. 45, n.º 8, pp. 840-860, abr. 2014, doi: 10.1080/10643389.2014.900245.
- [123] W. Liu, L. Chen, y J. Tian, «Uncovering the Evolution of Lead In-Use Stocks



in Lead-Acid Batteries and the Impact on Future Lead Metabolism in China», *Environ. Sci. Technol.*, vol. 50, n.º 10, pp. 5412-5419, 2016, doi: 10.1021/acs.est.6b00775.

- [124] J. F. Peters, M. Baumann, B. Zimmermann, J. Braun, y M. Weil, «The environmental impact of Li-Ion batteries and the role of key parameters – A review», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 67, pp. 491-506, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2016.08.039.