

03-002

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A SMART HELMET FOR USE IN PMVS

Aranda Domenech, Miguel (1); Cremades Oliver, Lázaro V. (1)

(1) UPC

Electric mobility is gaining more and more popularity as an alternative for moving within cities, by means of the so-called personal mobility vehicles (PMVs), among which electric bicycles and electric scooters stand out. In general, PMVs are light and simple vehicles that, unlike motorcycles, lack warning devices for the driver's actions, such as turn signals for direction changes or brake lights. These are very important safety elements in the prevention of possible accidents due to collision with other vehicles. In this work we present the design of a helmet for VMP users in the framework of the "Smart Scooter" project. This helmet incorporates electronic devices to signal different actions to be performed by the user with enough time in advance to warn other drivers. Its design has been successfully tested through the construction of a prototype, as an academic exercise with limited resources. Product specifications, component details, construction and performance verification are presented.

Keywords: Helmet; PMV; Electric scooter; Safety; Prototype.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CASCO INTELIGENTE PARA SU USO EN VMPS

La movilidad eléctrica está ganando cada vez más popularidad como alternativa para desplazarse dentro de las ciudades, mediante los llamados vehículos de movilidad personal (VMPs), entre los que destacan las bicicletas y los patinetes eléctricos. En general, los VMPs son vehículos ligeros y simples que, a diferencia de las motocicletas, carecen de dispositivos de advertencia o de señalización de las acciones del conductor, tales como intermitentes para los cambios de dirección o luces de freno. Estos son elementos de seguridad muy importantes en la prevención de posibles accidentes por colisión con otros vehículos. En este trabajo se presenta el diseño de un casco para usuarios de VMPs en el marco de nuestro proyecto "Smart Scooter". El casco incorpora unos dispositivos electrónicos para señalar diferentes acciones que va realizar el usuario con antelación suficiente para advertir a los demás conductores. Su diseño se ha probado satisfactoriamente mediante la construcción de un prototipo, como un ejercicio académico con recursos limitados. Se presentan las especificaciones del producto, los detalles de los componentes, la construcción y la verificación de su funcionamiento.

Palabras clave: Casco; VMP; Patinete eléctrico; Seguridad; Prototipo.

Correspondencia: Lázaro V. Cremades. Correo: lazaro.cremades@upc.edu



©2022 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

Vivimos en una sociedad donde la tecnología forma una parte muy importante en todos los sectores de la industria y servicios, y año tras año en mayor medida. La movilidad es uno de los sectores que están apostando más fuertemente por las últimas tecnologías, enfocadas sobre todo en los aspectos de seguridad.

Entre los modos de movilidad urbana moderna que actualmente están sujetos a mucho debate, están los conocidos como vehículos de movilidad personal (VMPs). Estos ofrecen una opción de movilidad sostenible y positiva para las ciudades, por sus nulas emisiones, tanto de contaminantes como de ruidos, y por su reducido uso del espacio.

En los últimos años en España se ha producido un incremento exponencial en el número de usuarios de VMPs (principalmente, bicicletas y patinetes eléctricos) sin precedentes. Sin duda, la pandemia debida a la COVID19 ha contribuido a esta tendencia, a la que hay que sumar la irrupción de empresas de VMPs eléctricos compartidos, que ha supuesto añadir más de 700.000 usuarios de bicicletas y más de 370.000 usuarios de patinetes eléctricos por las zonas urbanas de las mayores ciudades españolas (Servimedia, 2021). Esta tendencia, según los expertos en movilidad, continuará al alza en los siguientes años.

Este aumento de usuarios se ha traducido en un aumento de la accidentalidad de los VMPs (Fundación Línea Directa, 2019; La Vanguardia, 2021). La razón principal recae en la baja seguridad que ofrecen comparado con otros vehículos (como p.e. coches o motos), en los que por lo general las lesiones que se pueden sufrir son mayores. Las causas principales de estos siniestros son colisiones con otros vehículos, caídas y atropellos a peatones.

Para intentar dar a entender estas causas, el Real Automóvil Club de Cataluña hizo un estudio reciente en Barcelona encuestando a 600 usuarios (RACC, 2021). El estudio concluyó los siguientes puntos:

- El 51% desconoce los aspectos básicos de la normativa de circulación.
- El 94% supera la velocidad máxima permitida en los carriles bici.
- El 12% asegura haber tenido un incidente alguna vez con daños personales.
- El 57% afirma sentirse vulnerable cuando circula.

Los accidentes en un VMP pueden tener como resultado graves lesiones craneoencefálicas para el conductor y para el peatón implicado en la colisión. En el caso de que el choque se produzca con un vehículo a motor, las consecuencias del accidente pueden ser mortales para el usuario de VMPs. Los siniestros más habituales entre este colectivo son (20minutos.es, 2021):

- Impacto lateral.
- Al abrir la puerta del coche, golpear al VMP.
- Colisión por no mantener la distancia lateral de seguridad.
- Alcance cuando el vehículo a motor gira y se incorpora, por no ver al VMP.
- Alcance por detrás (es el más temido).

Por lo tanto, queda claro que existe un problema real que, para resolverlo, por una parte, las instituciones públicas deberían vigilar más el cumplimiento de la normativa e informar a los usuarios de VMPs de su debido uso, y, por otra parte, se podrían desarrollar sistemas que

mejoren la seguridad de dichos usuarios. Precisamente, es en este último aspecto que el trabajo que aquí se presenta pretende contribuir.

2. Objetivo

En general, los VMPs son vehículos ligeros y simples que, a diferencia de las motocicletas, carecen de dispositivos de advertencia o de señalización de las acciones del conductor, tales como intermitentes para los cambios de dirección o luces de freno. Estos son elementos de seguridad muy importantes en la prevención de posibles accidentes por colisión con otros vehículos.

El objetivo de este trabajo es el diseño y la construcción a nivel académico de un casco para usuarios de VMPs con manillar (patinetes y bicicletas), que disponga de un dispositivo en su parte posterior con soporte visual que permita a los conductores que le siguen conocer con antelación la acción que realizará el usuario del VMP. De esta manera, aparte de la propia protección que ofrece el casco de por sí en caso de accidente, el sistema de advertencia de dicho dispositivo puede ayudar a prevenir colisiones por alcance, que es uno de los accidentes más temidos entre los usuarios de VMPs.

El trabajo se encuadra dentro del proyecto académico *Smart Scooter* (Llagostera, 2019; Llagostera, 2021), que tiene como objetivo diseñar y construir un patinete eléctrico “inteligente” para poder competir en la *Castellolí Smart Scooter Challenge*, una competición universitaria a nivel internacional en la que participan equipos de distintas universidades españolas y extranjeras. Por tal motivo, denominaremos al casco a diseñar, “casco inteligente”.

En este trabajo se presenta el diseño de dicho casco como un ejercicio académico. Este diseño se ha probado satisfactoriamente mediante la construcción de un prototipo. A continuación, se presentará la metodología seguida, las especificaciones del producto, los detalles de los componentes y las pruebas de verificación.

3. Metodología

En primer lugar, hemos realizado un estudio para conocer las soluciones que están disponibles en el mercado. Actualmente, podemos encontrar una variedad de cascos inteligentes que presentan diferentes alternativas para una misma función.

El siguiente paso ha sido la realización del análisis funcional del producto, que se ha plasmado en forma de un árbol de funciones y un pliego de condiciones funcionales.

Seguidamente, a partir de dicho análisis funcional y del estudio del mercado se ha planteado un análisis de alternativas, con el fin de escoger la más adecuada en base a los objetivos planteados. Quizás la función más importante que caracteriza un casco inteligente y que diferencia los existentes en el mercado es la del alumbrado trasero y por ello es en esta función donde hemos centrado el análisis.

Por último, se describe la solución propuesta y la construcción de un prototipo de dicha solución, así como la verificación de su funcionamiento.

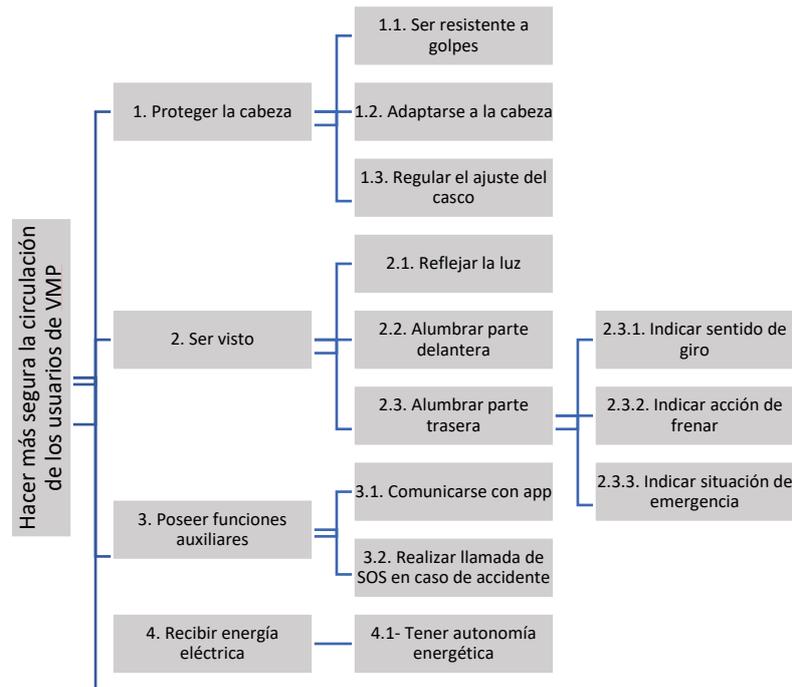
4. Resultados y Discusión

4.1. Análisis Funcional

Recordemos que el objetivo principal de este proyecto es crear un casco con el objetivo de mejorar la seguridad pasiva y hacer más segura la circulación de los usuarios de VMPs por las vías. Por lo tanto, la principal función de cualquier casco es proteger la cabeza, que puede dividirse en tres subfunciones: ser resistente a los golpes, adaptarse a la cabeza, y regular el ajuste del casco. Por otra parte, tenemos la función de ser visto por otros usuarios, que puede

a su vez subdividirse en estas tres subfunciones: poseer elementos reflectantes, alumbrar la parte delantera, y alumbrar la parte trasera. Respecto a esta última subfunción, se derivan las siguientes: indicar sentido de giro, indicar acción de frenada, e indicar situación de emergencia. Aparte podemos considerar un grupo de funciones auxiliares propias de los cascos inteligentes: conectarse a una app especializada para configurar por ejemplo las luces del casco, y realizar llamada de socorro en caso de accidente. Por último, es necesaria la función de recibir energía eléctrica para alimentar las funciones anteriores, y más específicamente que dicha función proporcione autonomía energética a todo el sistema.

Figura 1. Árbol de funciones



En la Figura 1 puede verse el árbol de funciones correspondiente y en la Tabla 1 se muestra el pliego de condiciones funcionales resultante con las subfunciones finales del árbol, sus características principales y los elementos o componentes físicos que realizarían dichas funciones. Se trata de un análisis funcional básico, cuyo árbol podría extenderse más hacia la derecha para detallar más las funciones y/o hacia abajo incorporando más funciones. Pero consideramos que representa la funcionalidad mínima esperable en un casco inteligente de VMPs.

4.2. Análisis de Alternativas

El análisis de alternativas lo centraremos en las tres funciones derivadas del alumbrado trasero señaladas en la Figura 1 y Tabla 1 con los códigos 2.3.x, ya que reúnen la funcionalidad que mejor caracteriza a un casco inteligente, y que comparten unos mismos elementos, es decir, un conjunto de luces y un control o forma de comunicar la acción a realizar. El análisis lo dividiremos en tres partes: 1) disposición de las luces e información que ofrecen, 2) control de señalización de la maniobra de giro, y 3) control de la acción de frenado.

Tabla 1: Pliego de condiciones funcionales.

<i>Función</i>	<i>Parámetro/Nivel</i>	<i>Elementos</i>
1.1- Ser resistente a los golpes	Norma UNE-EN 1078:2012+A1:2012	Casco (carcasa)
1.2- Adaptarse a la cabeza	Talla: S (52-55 cm), M (55-58 cm), L (58-61 cm)	Casco (carcasa)
1.3- Regular el ajuste del casco	---	Correas
2.1- Reflejar la luz	---	Cinta reflectante o fosforescente
2.2- Alumbrar parte delantera	Potencia: 2-10 W	Faro LED blanco
2.3.1- Indicar sentido de giro	Potencia: 2-5 W, intermitente	Conjunto LEDs rojos + control
2.3.2- Indicar acción de frenada	Potencia: 4-10 W	Conjunto LEDs rojos + control
2.3.3- Indicar situación de emergencia	Potencia: 2-5 W, intermitente	Conjunto LEDs rojos + control
3.1- Comunicarse con app	Bluetooth ≥ 4.0 (32 Mbit/s) o WiFi ≥ 54 Mbit/s	Chip Bluetooth/WiFi
3.2- Realizar llamada de SOS en caso de accidente	Aceleración en los ejes X,Y,Z: $\geq \pm 2g$ Bluetooth ≥ 4.0	Sensor de 3 ejes + Chip Bluetooth/WiFi
4.1- Tener autonomía energética	Autonomía: >5 h Capacidad: >300 mAh Voltaje; 3,7 V	Batería ion-Li + cableado

4.2.1. Disposición de las luces e información que ofrecen

En este caso diferenciamos básicamente estas dos alternativas:

- A. Luces LED (Figura 2A). Consiste en una línea de luces LED monocolor (normalmente, rojo) en la que cada luz LED se enciende o apaga de forma individual o coordinada con el resto para indicar una maniobra concreta (giro a la derecha o izquierda, frenada, etc.), con la posibilidad de variar la intensidad de la luz.
- B. Matriz LED (Figura 2B). Dispone de una pantalla LED que permite el alumbrado y a la vez mostrar diferentes símbolos en función de la maniobra realizada. Cada LED de la matriz puede ser monocolor (normalmente, rojo) o bien RGB, es decir, compuesto por

tres LEDs: rojo, verde y azul. Combinando los tres LEDs a diferentes intensidades se consigue toda una gama de colores.

Para comparar ambas alternativas, nos basaremos en los siguientes criterios, valorados en una escala del 1 al 5, por orden de importancia:

- Seguridad: se evalúa el nivel de seguridad que ofrece la alternativa al usuario.
- Implementación: indica el grado de dificultad de implementar la alternativa en el casco.
- Coste: indica el coste de implementar la solución.
- Fiabilidad: indica qué grado de vida útil tiene la alternativa sin presentar fallos.
- Flexibilidad: se evalúa la capacidad que tiene la alternativa de ser modificable para ser mejorada.

Figura 2. Ejemplos de cascos inteligentes disponibles en el mercado: A) con luces LED (Amazon.es, 2022a); B) con matriz LED RGB (Amazon.es, 2022b).



En la Tabla 2a puede verse la matriz de decisión resultante, por la cual la alternativa B es la ganadora. La alternativa B es mucho más fácil de instalar en el casco que la A y, además, ofrece una mayor versatilidad a la hora de ofrecer informaciones diversas en la matriz LED, por ejemplo, mediante símbolos.

Tabla 2: Matrices de decisión para la comparación entre alternativas.

Criterio	Peso	Alternativas	
		A: Luces LED	B: Matriz LED
a) Sistema de luces			
Seguridad	35%	4	4
Implementación	20%	2	5
Coste	20%	3	3
Fiabilidad	15%	4	3
Flexibilidad	10%	1	5
TOTAL	100%	3,10	3,95
b) Control de señalización			
		A: Control físico	B: App
Facilidad de uso	30%	5	2
Funcionalidad	30%	1	5
Coste	20%	3	5
Energía	10%	3	5

Aplicabilidad	10%	2	4	
TOTAL	100%	2,9	4,0	
c) Accionamiento de frenada				
		<i>A: Botón</i>	<i>B: Pulsador</i>	<i>C: Automático</i>
Seguridad	35%	2	4	3
Comodidad	25%	2	5	5
Coste	20%	3	3	4
Energía	10%	3	3	5
Aplicabilidad	5%	2	2	4
Complejidad	5%	4	4	1
TOTAL	100%	2,40	3,85	3,85

4.2.2. Control de señalización de la maniobra de giro.

Respecto a este aspecto, tenemos estas dos alternativas:

- A. Control físico. Se trata de un mando que se sujeta en el manillar del VMP y se conecta con el casco vía Bluetooth con dos botones, uno para indicar el giro a la derecha y otro para el giro a la izquierda (Figura 3). La ventaja que tiene es que es fácil de manejar al situarse cerca de la mano. Pero, su principal desventaja es que su reducido tamaño limita el tamaño de los botones del mando para señalar el sentido de giro. Además, necesita ser alimentado mediante pila o batería.
- B. Control mediante el teléfono móvil vía app. Se trata de un control digital que realiza una app de un *smartphone* que se conecta con el casco vía Bluetooth o WiFi y donde se visualiza un panel de control en la pantalla táctil con las diferentes funcionalidades que ofrece. Sus ventajas son la capacidad de personalización y la diversidad de los controles, así como la posibilidad de implementar diferentes funcionalidades avanzadas, como, por ejemplo, la llamada de socorro o la de recibir/hacer llamadas a través del casco. Asimismo, es una alternativa muy práctica en el caso de los VMPs de alquiler. Respecto a las desventajas, el manejo de los controles es más difícil que en un control físico y, además, requiere de un soporte para el *smartphone* en el manillar.

Figura 3. Ejemplos de controles físicos de señalización de la maniobra de giro disponibles en el mercado: a la izquierda, sistema Livall para el casco BH51M (Amazon.es, 2022a); a la derecha, sistema Blinxi adaptable a cualquier casco (IEspañol.com, 2020).



Los criterios utilizados para comparar ambas alternativas, valorados en una escala del 1 al 5, son los siguientes por orden de importancia:

- Facilidad de uso: evalúa la facilidad/comodidad en el manejo del control de señalización de las maniobras.
- Funcionalidad: evalúa el número de funciones que permite implementar.
- Coste: evalúa el coste de implementación de la alternativa.
- Energía: evalúa la necesidad de suministrar energía eléctrica al dispositivo.
- Aplicabilidad: evalúa el grado de extensión de la alternativa a diferentes situaciones (tipología de VMP, VMPs particulares o alquilados, etc.).

En la Tabla 2b puede verse la matriz de decisión resultante, por la cual la alternativa de usar una app mediante el teléfono móvil es la ganadora, por sus mayores posibilidades de funcionalidad y de aplicabilidad, así como un menor coste pues utiliza el *smartphone* como panel de control y para funcionar no se necesita aportar más energía que la que el propio *smartphone* dispone.

4.2.3. Control de la acción de frenado

Para accionar la luz de frenado, tenemos estas alternativas:

- A. Botón en un control físico. Una de las alternativas más fáciles de implementar es añadir un botón en un control físico instalado en el manillar del VMP específicamente para la iluminación de la luz de frenado. Cuando el usuario vaya a reducir la velocidad debería pulsar el botón y así alertaría a los otros conductores. Esta opción puede ser útil en los VMPs con freno regenerativo y en situaciones de circulación tranquila, en los que, al soltar el acelerador, gracias al freno regenerativo, el vehículo eléctrico se

frena. Pero tiene el inconveniente de que en las situaciones en que se deba frenar fuerte de forma repentina, el usuario no tendrá tiempo de pulsar el botón.

- B. Sensor/pulsador en la maneta de freno. Se trata de un dispositivo unido a la maneta de freno que detecta el accionamiento del freno, y envía una señal Bluetooth o WiFi al casco para que se encienda la luz de freno. Tiene un funcionamiento similar al que tiene cualquier vehículo motorizado, pero con conexión inalámbrica.
- C. Accionamiento automático. Este accionamiento no requiere de intervención del usuario. La luz de frenado se encenderá cuando se detecte una desaceleración. Este tipo de sistema se puede programar a través de una app utilizando el GPS del *smartphone* o mediante sensores de aceleración incorporados en un dispositivo externo ubicado en el VMP o en el propio *smartphone*.

Los criterios usados para comparar estas tres alternativas son, por orden de importancia:

- Seguridad: se valora la rapidez de la acción, es decir, el tiempo entre el momento en que se pulsa la maneta de freno y se enciende la luz de freno en el casco.
- Comodidad: evalúa la facilidad que tiene el usuario de actuar para que el control sea eficaz.
- Coste: tiene en cuenta el coste de implementar la alternativa.
- Energía: evalúa la necesidad de suministrar energía eléctrica al dispositivo.
- Aplicabilidad: evalúa el grado de extensión de la alternativa a diferentes situaciones (tipología de VMP, VMPs particulares o alquilerados, etc.).
- Complejidad: se valora la dificultad en implementar la alternativa.

La Tabla 2c muestra la matriz de decisión resultante, por la cual las alternativas de usar un sensor/palpador en la maneta de freno y el accionamiento automático reciben una puntuación global similar. Pero, analizando las puntuaciones individuales asignadas a cada criterio mediante el método PRESS (Aragonés, 1997), se puede deducir que la alternativa B es la más recomendable. Sus mayores ventajas estriban en la rapidez de la señalización de la acción de frenado, en la comodidad de uso al actuar directamente sobre la maneta de freno y su fácil implantación.

4.3. Solución Propuesta. Prototipo

La solución propuesta, en lo que se refiere a la parte electrónica, está compuesta por un conjunto de tres dispositivos que trabajarán conjuntamente: el dispositivo situado en el casco, el dispositivo localizado en la maneta de freno y la app para señalar la maniobra de giro, entre otras funciones.

El dispositivo del casco lo forman la matriz LED, su microcontrolador y la batería. La matriz es el elemento que hace las funciones de los intermitentes, luces de emergencia, luz de freno y también la de alumbrar permanentemente la parte trasera del casco (independientemente de la señalización).

El dispositivo de freno lo forman un sensor que se sitúa en ambas manetas de freno, su correspondiente microcontrolador y su batería. Se programará de modo que la luz de freno se active solamente cuando detecte que alguna de las dos manetas se esté accionando. De lo contrario, la luz de freno permanecerá apagada.

Por último, la app del móvil se encarga de controlar las acciones de los intermitentes y de la luz de emergencia. Esta funciona conectando el móvil al dispositivo del casco vía WiFi. A diferencia del Bluetooth, la conexión WiFi nos permite implementar más de dos dispositivos

en una misma red. Además, es una red de corto alcance rápida, fiable y relativamente sencilla de implementar.

A continuación, presentamos los detalles más significativos del prototipo del casco inteligente que hemos construido, así como los resultados de verificación de su funcionamiento. La Tabla 3 contiene la lista de especificaciones técnicas del hardware y del software del prototipo.

La carcasa del casco se diseñó mediante SolidWorks, procurando reducir el peso mediante el mallado de su superficie y previendo los espacios necesarios para instalar los dispositivos y el cableado. El diseño final puede verse en la Figura 4. Este diseño se imprimió en una impresora 3D Geeetech A20M usando como material un filamento de ácido poliláctico (PLA) de 1,75 mm de diámetro.

La Figura 5 muestra los circuitos de conexión de los elementos electrónicos instalados en el casco y en el freno. El microcontrolador situado en el casco abre un servidor WiFi UDP para poder conectar el dispositivo del freno y el teléfono móvil. Por otro lado, la matriz LED se ha programado para mostrar 5 señalizaciones diferentes (Figura 6). Las luces de señalización de las maniobras de giro y la de emergencia aparecen como intermitentes, de color naranja y con un efecto dinámico, mientras que las luces de posición y de freno aparecen fijas y de color rojo. El panel de control de la app desarrollada que aparece en la pantalla del teléfono móvil se muestra en la Figura 7.

Para comprobar el funcionamiento del dispositivo de control de la frenada en condiciones reales, se insertó el dispositivo en una caja hecha a medida mediante impresión 3D, que se sujetó mediante bridas a la maneta del freno de un patinete eléctrico. De esta manera, al apretar la maneta de freno se aprieta al mismo tiempo el pulsador del control del dispositivo, que a su vez envía la señal al dispositivo del casco que hace encender la luz de freno en la matriz LED.

Las pruebas de verificación del funcionamiento del sistema pueden verse en un video, accesible a través de este link:

https://drive.google.com/file/d/1XzftMJqGYms7oiW7kEmklw1aeN_2xeAY/view?usp=sharing

Además, la Figura 9 muestra un par de imágenes obtenidas durante la comprobación de la matriz LED de la parte posterior del casco.

El coste material del prototipo asciende a un total de 122 €, que, sumado al coste de las horas de montaje y pruebas, dan un coste total de 462 € (Tabla 4). Consideramos que es un coste razonable para un primer prototipo.

Tabla 3: Especificaciones técnicas del prototipo.

	<i>Nombre</i>	<i>Valor</i>
Hardware:	Casco:	
	Tamaño en cm (largo x ancho x alto)	29x22x18
	Material	PLA
	Peso total del casco (con dispositivos)	650 g
	Dispositivos en el casco:	
	Microcontrolador ESP32 SP-Cow	32-bit, 520 kB RAM
	Matriz LED RGB	8x8
	Tamaño de cada LED RGB	5 nm de lado
	Potencia máxima de cada LED RGB	0,3 W
	Batería recargable LiPo	
	Tamaño en mm (largo x ancho x grosor)	97x33,5x10,3
	Capacidad	3700 mAh
	Voltaje	3,7 V
	Dispositivos en el freno:	
Microcontrolador ESP32 SP-Cow	32-bit, 520 kB RAM	
Pulsador	12 mm	
Pila de litio CR2032	3 V	
Software:	Control de los microcontroladores ESP32	Arduino IDE
	Conexión	WiFi
	Protocolo de transmisión de datos	UDP
	Gestión de la matriz LED RGB	Adafruit_NeoPixel
	Desarrollo de app para Android	Android Studio

Figura 4. Diseño 3D de la carcasa del casco.



Figura 5. Circuito de los dispositivos a) en el casco (matriz LED, microcontrolador y batería) y b) en la maneta de freno (microcontrolador, pulsador y pila).

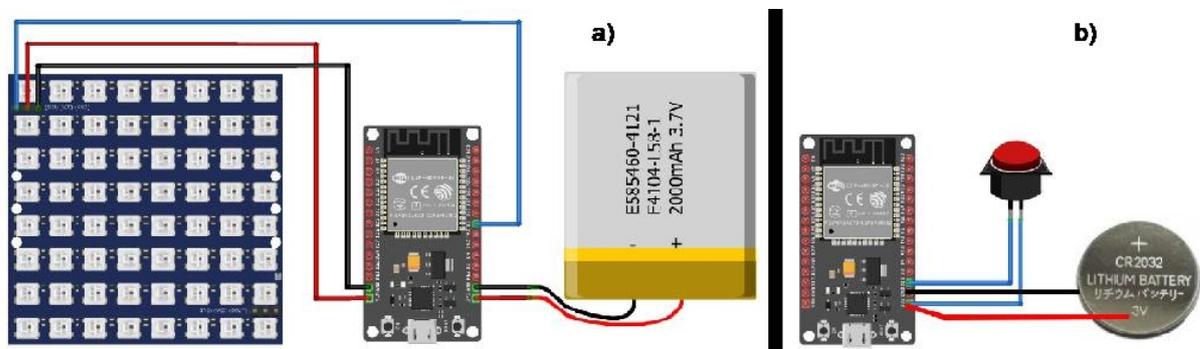


Figura 6. Funciones de señalización implementadas en la matriz LED RGB: 1) luz de posición; 2) luz de freno; 3) giro a la derecha; 4) giro a la izquierda; 5) emergencia.

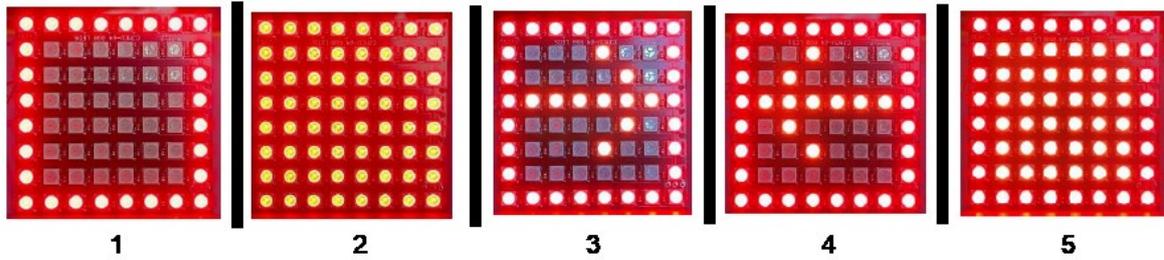


Figura 7. Panel de control de la app.

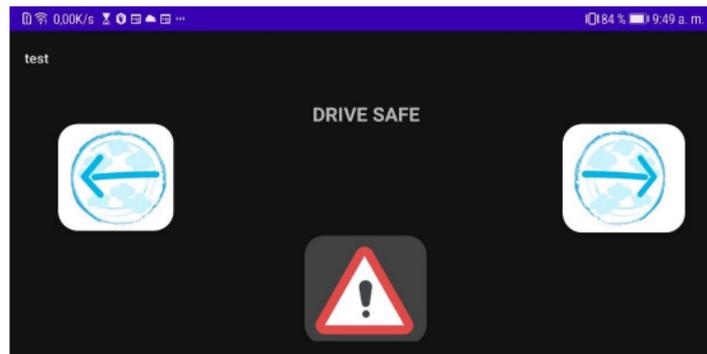


Figura 8. Prototipo del casco con los dispositivos instalados.



Tabla 4: Coste del prototipo.

<i>Nombre</i>	<i>Unidades</i>	<i>Coste (€)</i>
Filamento PLA	1300 g	39
Microcontroladores ESP32	2	17
Matriz LED RGB	1	10
Batería LiPo 3,7 V 3700 mAh	1	14
Pila de litio 3V	1	2
Pulsador 12 mm	1	1
Cableado y protoboards		11
Uso de impresora 3D (amortización y electricidad)	40 h	9
Uso de utillaje y material fungible		19
Total coste material		122
Montaje y pruebas	17 h	340

Figura 9. Verificación del funcionamiento de la matriz instalada en el casco.



A diferencia de los cascos “inteligentes” existentes en el mercado, en lo que respecta a la función de alumbrado trasero, la solución aquí propuesta ofrece la posibilidad de señalar la acción de frenado actuando directamente sobre la maneta de freno. Además, las imágenes que se visualizan en la matriz LED RGB para las distintas funciones del alumbrado trasero son configurables, con lo que pueden cambiarse el diseño del símbolo, el color y la intensidad de la luz.

5. Conclusiones

Podemos concluir que el objetivo del proyecto se ha cumplido, pues hemos conseguido construir un prototipo funcional de casco inteligente, a nivel académico.

En un desarrollo futuro, está previsto explorar la alternativa de la señalización de la frenada mediante un control automático, utilizando, por ejemplo, un acelerómetro instalado en el casco. Asimismo, ese acelerómetro podría utilizarse para indicar las maniobras de giro a derecha o izquierda, cuando el conductor haga el gesto correspondiente con la cabeza, e incluso para indicar una situación de emergencia (una caída, por ejemplo). De esta manera, se podría prescindir tanto del dispositivo instalado en la maneta de freno como del panel de control del teléfono móvil.

6. Referencias

20minutos.es (2021). *Guía para la circulación segura en VMP, ¿qué dice la legislación en otros países de Europa?* Obtenido el 4 de febrero de 2022 desde:

<https://www.20minutos.es/motor/movilidad/guia-para-la-circulacion-segura-en-vmp-que-dice-la-legislacion-en-otros-paises-4674960/>

Amazon.es (2022a). *Casco Livall modelo BH51M*. Obtenido el 4 de febrero de 2022 desde: <https://www.amazon.es/LIVALL-autom%C3%A1tico-intermitente-navegaci%C3%B3n-bicicleta/dp/B07988V7M5>

Amazon.es (2022b). *Casco Lumos modelo Matrix*. Obtenido el 4 de febrero de 2022 desde: <https://www.amazon.com/-/es/Matrix-Monopat%C3%ADn-scooter-acesorios-bicicleta/dp/B07XFCPTKZ?th=1>

Aragón, P. (1997). *Aproximación a la toma de decisiones en proyectos. Implementación de una metodología multicriterio y multiexperto: PRESS II*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.

EIEspañol.com (2020). *Intermitentes LED para tu casco, el invento para que haya menos accidentes*. Obtenido el 4 de febrero de 2022 desde: https://www.eiespanol.com/omicron/hardware/20200613/intermitentes-led-casco-invento-accidentes/497200736_0.html

Fundación Línea Directa (2019). *Vehículos de Movilidad Personal (VMP): ¿amenaza u oportunidad para la seguridad vial?* Obtenido el 4 de febrero de 2022 desde: <https://www.fundacionlineadirecta.org/documents/206323/436244/Estudio+VMP.pdf/521bbc78-8c48-4088-87d4-76f38e643a70?t=1549267206299?download=true>

La Vanguardia (2021). *La accidentalidad de los patinetes eléctricos se desboca*. Obtenido el 4 de febrero de 2022 desde: <https://www.lavanguardia.com/local/barcelona/20210910/7711183/accidentalidad-patinetes-electricos-vmp.html>

Llagostera, E. (2019). *Diseño de ADAS para un patinete eléctrico urbano*. TFG, ETSEIB-UPC. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/167783>

Llagostera, E. (2021). *Gestión y desarrollo de tecnologías de la información y comunicación (TIC) para el proyecto Smart Scooter*. TFM, ETSEIB-UPC. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/350137>

RACC (2021). *Informe: El comportamiento de los usuarios de vehículos de movilidad personal (VMP) en Barcelona*. Obtenido el 4 de febrero de 2022 desde: <https://movilidad.racc.es/barometro-racc-vmp-barcelona-septiembre-2021/>

Servimedia (2021). *La pandemia suma 700.000 nuevos usuarios de bicicleta y 370.000 de patinete en España*. Obtenido el 4 de febrero de 2022 desde: <https://www.servimedia.es/noticias/1860161>

**Comunicación alineada con los
Objetivos de Desarrollo Sostenible**

