



MASTER IN MOBILITY, SAFETY AND MOTORSPORT

Proposal for a plan to reduce motorcycle accidents in Spain

Author: Jorge Ocaña del Llano

Madrid

August 2025

Memory Index

1.	<i>Background, problem framing, and objectives.....</i>	<i>2</i>
2.	<i>Methods, data and analytical approach.....</i>	<i>3</i>
3.	<i>motorcycle safety systems and injury-severity reading.....</i>	<i>5</i>
4.	<i>Proposed Plan.....</i>	<i>8</i>
5.	<i>Results analysis: Economic and feasibility.....</i>	<i>9</i>
6.	<i>Discussions beyond the plan and conclusion</i>	<i>11</i>
7.	<i>Relation with M2S program's content.....</i>	<i>12</i>
ANEX		16

1. BACKGROUND, PROBLEM FRAMING, AND OBJECTIVES

Motorcyclist safety in Spain has been approached with a specific, data-driven lens. The guiding aim has been to identify risk patterns, quantify their impact, and prioritize realistic measures capable of reducing both accident probability and injury severity for riders. The work starts from a clear premise: motorcyclist crash rates remain unacceptably high and disproportionate to motorcycles' share of the vehicle fleet, which calls for a targeted response grounded in evidence rather than generic road-safety messaging. Within that frame, the project sets out to (i) analyze causes and contexts with recent official datasets and lessons from prior plans, (ii) review the technical and regulatory state of active and passive safety for motorcycles (including an AIS-based reading of injury-severity evidence) and (iii) propose a focused, viable reduction plan with preliminary economic appraisal. The overarching intent is to achieve meaningful safety gains without hollowing out the freedom and practicality that define motorcycling.

The thesis is structured into three complementary blocks. First, an empirical analysis with official national data (DGT, 2023) and a complete local dataset for Madrid (municipal police, 2024) is performed to surface patterns, control for environmental factors, and profile risk across rider age and engine displacement bands. Second, a technical-regulatory review of safety is carried out, linking motorcycle dynamics and equipment with the state of active and passive systems (ABS/C-ABS, traction and stability aids, TPMS, certified helmets and protective gear, airbags, eCall, emergency stop signaling, and roadway safety barriers for motorcyclists). Third, a prioritized plan is delivered, including feasibility considerations and a first-pass economic estimate. Together, these blocks convert a broad problem statement into a traceable, defensible roadmap for accident and injury reduction.

2. METHODS, DATA AND ANALYTICAL APPROACH

The analytical work relies on Python to ingest, clean, and visualize large official files, transforming raw entries into actionable evidence. Pandas and Matplotlib serve to structure data, compute distributions, and produce plots; code and processing steps are shown so that results can be reproduced and extended. The methodology is explicitly segmented by rider age, engine displacement (≤ 50 cc, 50–125 cc, >125 cc), and riding environment, enabling targeted comparisons instead of one-size-fits-all averages.

Two data lenses are then combined. The national DGT 2023 series is used to examine fatal and serious injuries across weather, lighting, road condition, and crash typologies; and the Madrid 2024 dataset adds high-resolution fields for non-fatal motorcycle crashes, permitting cross-tabs by age-band and engine group. The Madrid file comprises 5,592 motorcycle and moped crashes, with the majority in the 50–125 cc group (3,311), followed by >125 cc (1,808) and ≤ 50 cc (473). This structure reflects the heavy urban and peri-urban usage of smaller bikes and mopeds and supports the plan's call for segment-specific measures.

A key empirical insight is that, in absolute terms, most serious motorcycle crashes happen under seemingly “normal” environmental conditions (clear weather, good visibility, dry pavement). Rather than trivializing adverse weather, this finding compels action on the high-exposure contexts where riders spend most of their hours and where human errors and systemic energy at impact dominate outcomes. In the comparative breakdown of fatal crashes, single-vehicle run-off-road incidents grow in weight under normal conditions, reinforcing that speed management in curves, stability assistance, intersection redesign, and the deployment of motorcyclist protection systems (SPM) on run-off-prone segments are leverage points beyond traditional seasonal advisories.

These data-led conclusions shape the plan's logic: measures should suppress kinetic energy where it harms the most, reduce error through infrastructure and on-bike aids, and protect the body with proven personal equipment—rather than banking on weather-centric messaging alone. Some results from the python analysis are now shown:

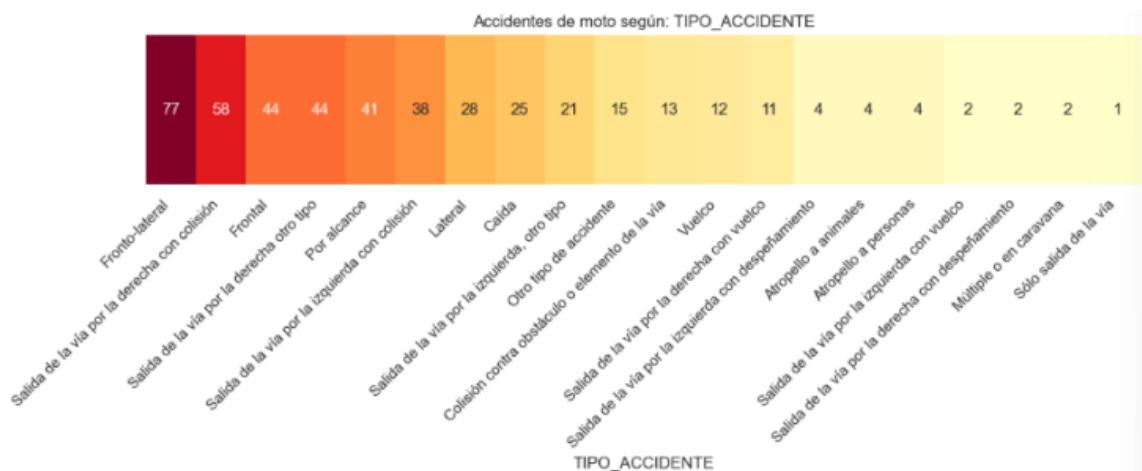


Figure 1: Graphic created from Python

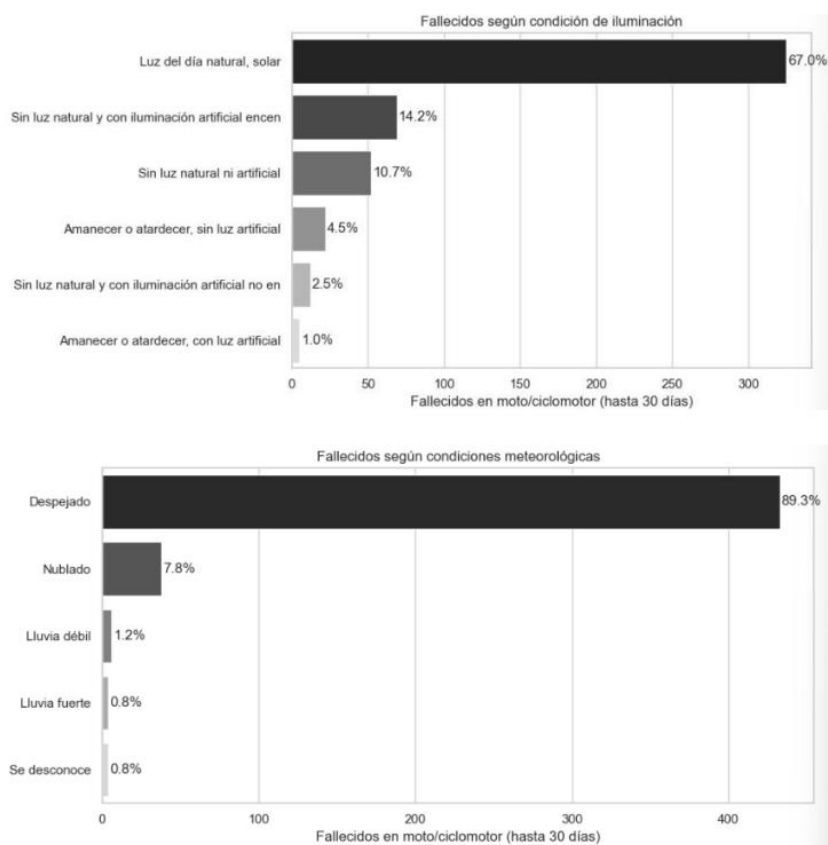


Figure 2: Graphic created from Python

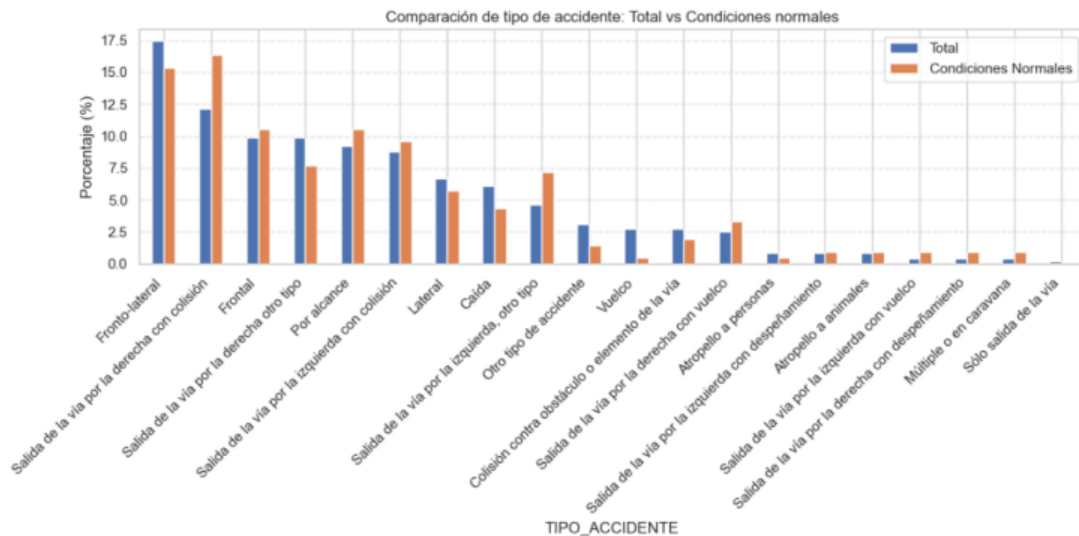


Figure 3: Graphic created from Python

These results from python analysis lead to conclusions that were taken into account with the other studies made for technology and finite elements/multibody simulations (for seeing the active and passive safety and its effects on motorcycles).

3. MOTORCYCLE SAFETY SYSTEMS AND INJURY-SEVERITY READING

The technical review spans motorcycle dynamics (mass distribution, steering, suspension behavior) and the effectiveness of safety technologies. On the active-safety side (ARAS systems), the portfolio includes ABS/C-ABS, traction control and stability aids, TPMS, emergency stop signaling, and connected services such as eCall.

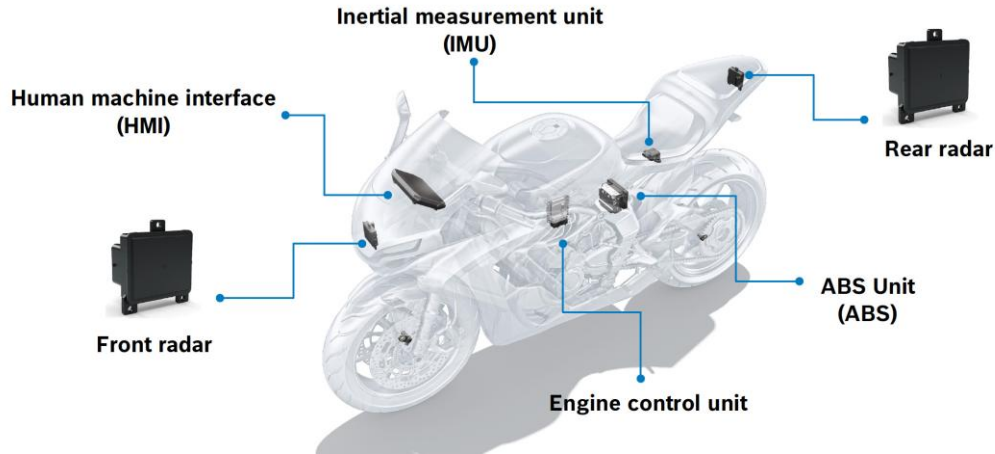


Figure 4: ARAS example in a motorcycle

On the passive-safety side, certified helmets (ECE 22.06 compliance), protective garments with impact absorbers, and rider airbags are highlighted, together with structural elements on the vehicle (e.g., sliders/guards) and roadway SPM barriers that mitigate injury when riders impact guardrails. The review is read through the AIS injury-severity scale, drawing on published studies and simulations to understand how different interventions shift probabilities of severe injury or fatality in realistic collision scenarios. The knowledge acquired during the Master's program was helpful to understand the simulation results, as the ones shown and analyzed were from Madymo and Ls-dyna software, both shown and worked on during the master. This technical framing supports the selection and ordering of plan measures and later underpins economic appraisal. Now some figures from the thesis related with the reports with evaluated injury criteria and simulations from Madymo will be shown:

EVALUATED INJURY CRITERIA WITH RESPECTIVE BIOMECHANICAL LIMITS [7][12]			
Body region	Criterion	Abbreviation	Limit
Head	Head Injury Criterion (36 ms)	HIC(36)	1000 for
	Resultant head acceleration	a_{3ms}	80 g over 3 ms
Neck	Neck tensile force	$F_z, tens, 1ms$	3.3 kN over 1 ms
		$F_z, tens, 45ms$	1.1 kN over 45 ms
	Neck compression force	$F_z, compr, 1ms$	4 kN over 1 ms
		$F_z, compr, 45ms$	1.1 kN over 45 ms
	Neck shear forces	$F_{xy, 1ms}$	3.1 kN over 45 ms
		$F_{xy, 45ms}$	1.1 kN over 45 ms
	Neck rearward moment	M_y, fwd, max	57 Nm
	Neck forward moment	M_y, rwd, max	190 Nm
	Neck injury criterion	NIJ_{max}	1
Thorax	Resultant thorax acceleration	a_{3ms}	60 g over 3 ms
	Chest deflection	$Defl_{max}$	75 mm
	Viscous Criterion	VC_{max}	1 m/s
Pelvis	Resultant pelvis acceleration	a_{3ms}	60 g over 3 ms
Femur	Femur axial force	$ F_z _{max}$	10 kN

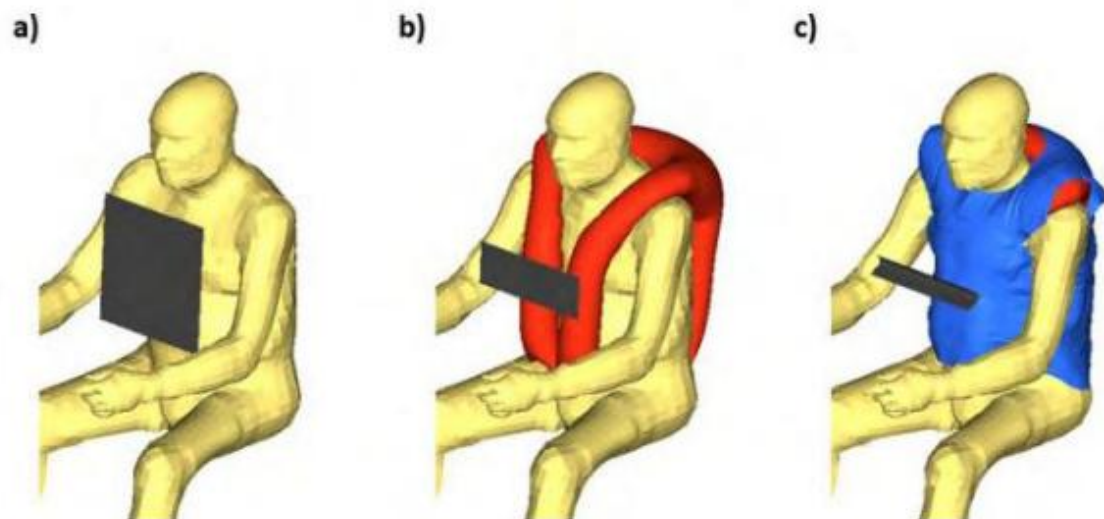
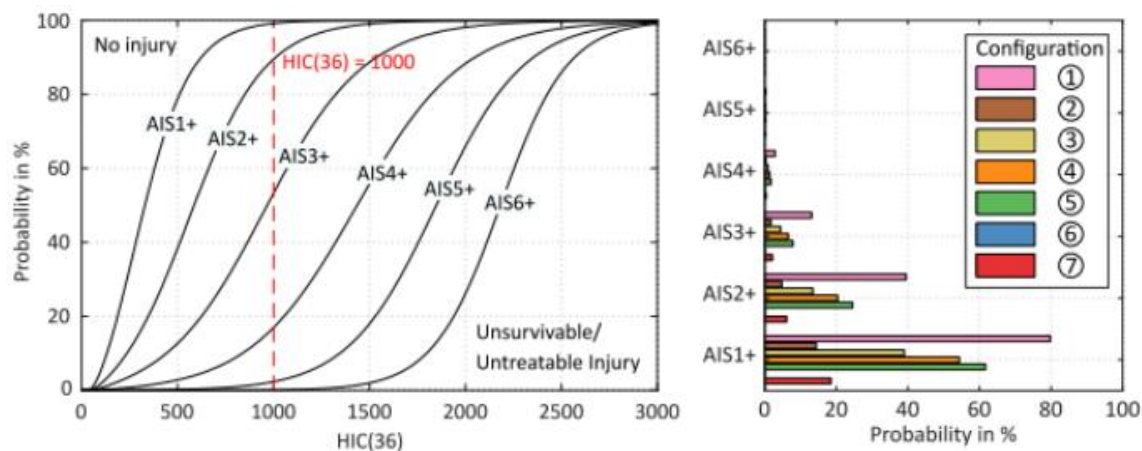


Figure 5: Reports from Scientific Papers in the tesis

The key takeaway from this block is pragmatic: multiple technologies exhibit credible evidence of effect, but not all are equally ready, affordable, or simple to mandate across the fleet. Hence feasibility, social acceptance, and cost burden are treated as first-class constraints when moving from “what works in principle” to “what can and should be implemented first.”

4. PROPOSED PLAN

The proposed roadmap is conceived as a short-term ($\approx 2\text{-}3$ years) but scalable package of measures aligned with the above evidence. Its intention is to deliver measurable reductions in deaths and serious injuries while preserving the central user value of motorcycling. It explicitly acknowledges the limited impact of previous generic plans and therefore concentrates on ten interventions with high expected effect, clear verification, and realistic compliance paths:

1. **Mandatory ABS and C-ABS on all new motorcycles, including ≤ 125 cc, from 2027.** This brings small-displacement city bikes in line with best-practice braking stability standards, addressing frequent urban and peri-urban crash modes.
2. **Higher minimum helmet standard and wider adoption of personal protective equipment.** A step-up in helmet homologation and targeted extension to protective garments is proposed to lower head and torso injury risks observed in common crash patterns.
3. **Mandatory TPMS on all new motorcycles.** Proper tire pressure is linked to grip, braking, and stability; TPMS is a low-friction, high-coverage intervention that supports everyday safety.
4. **Progressive rollout of rider airbags.** Airbags are positioned as a staged requirement—supported by incentives and transitional schemes—given their sizable injury-severity effects and current cost profile.
5. **Incentives for ARAS (advanced rider-assistance systems).** Purchase or retrofit bonuses are proposed to accelerate penetration of blind-spot detection, collision warnings, and stabilization aids, particularly for higher-risk profiles.
6. **Encouragement of independent safety assessment (Euro NCAP-like) for powered two-wheelers.** A rating ecosystem would reward manufacturers fitting effective ARAS and passive-safety features, and help consumers select safer models.

7. **Targeted deployment of motorcyclist protection systems (SPM) and asphalt upgrades.** Barriers and surfacing improvements are prioritized for run-off hotspots to reduce impact energy and consequences once loss of control occurs.
8. **Segmentation of measures by machine type and powertrain.** Requirements and incentives are tailored to moped/scooter (≤ 50 cc), 50–125 cc, and >125 cc segments to match their distinct risk profiles and use cases.
9. **Stronger information on high-risk segments.** Open, frequently updated lists of hazardous segments enable riders, navigation apps, and authorities to align behavior, warnings, and enforcement where harm concentrates.
10. **Other complementary measures.** A small reserve of complementary actions is cataloged for piloting or local adaptation, maintaining focus on interventions with measurable effect.

Two transversal enablers run through the plan. First, open data and auditability (publishing segment lists, treatment status, and outcomes) so the plan can be independently verified and iteratively improved. Second, proportionate enforcement and simple verification, to avoid turning everyday motorcycling into a burdensome ritual while still ensuring compliance with life-saving basics.

5. RESULTS ANALYSIS: ECONOMIC AND FEASIBILITY

A preliminary cost-benefit analysis has been constructed with conservative assumptions to test whether the package, taken as a whole, creates net social benefit. The central illustrative scenario assumes ~70 fewer rider fatalities (range 50–100) relative to a 2023 base of 455 deaths (~15.4% reduction) and applies the same relative reduction to estimated serious-injury counts. Using a value of statistical life of €2.0M per fatality avoided and ~€385.5k per serious injury avoided, the annualized social benefits are estimated at ~€348.8M versus a public-sector plan cost of ~€216.8M, yielding a net positive balance of ~€132M. These figures are documented step-by-step and

purposefully framed as indicative, not definitive; they show that a targeted, short-horizon package can plausibly pay for itself in social terms while saving lives and preventing debilitating injuries.

The cost framework also acknowledges distribution and acceptance constraints. Some effective measures burden riders unequally (airbags and premium PPE), and simple compulsion may face social resistance. For that reason, the plan leans on progressive rollouts, incentives, and co-payments rather than imposing sudden, uniform mandates, especially where cost-per-rider is still high or product availability uneven. Public spending anchors include the recent annual effort on safety campaigns (≈€9.87M in 2023, extended in 2024), while unit costs for SPM deployment and technology incentives are used to build segment- and corridor-level programs. Calendarization, copay design, and transitional pathways are presented as levers to keep equity and practicality alongside effectiveness.

Across the combined national and Madrid datasets, several patterns stand out:

- **Exposure and “normality.”** The bulk of severe crashes occur under normal weather and visibility, which implies that large gains depend on reducing error and impact energy where riders actually ride most of the time, rather than focusing primarily on rare adverse weather situations. This in turn prioritizes curve-speed management, stability aids, intersection treatments, and SPM on corridors with recurrent run-offs.
- **Engine segment and age profiles.** In Madrid, the majority of crashes involve 50-125 cc machines, reflecting their urban utility role; higher-displacement bikes (>125 cc) constitute a smaller share of incidents, yet often link to different environments and speeds. The plan’s segmentation by displacement and use case seeks to avoid blanket rules and to emphasize the measures that map to each group’s actual risks.
- **Crash typology emphasis.** The elevated weight of single-vehicle run-offs under normal conditions reinforces SPM and friction/asphalt quality as cost-effective infrastructure levers; while recurring crossing collisions press for intersection redesign, conspicuity measures, and ARAS that assist hazard perception and braking. These directions are consistent with the plan’s mix of vehicle, equipment, and network treatments.

These findings, coupled with the technical review, justify the chosen measures and their priority order. They also explain the plan's explicit focus on auditability: when systemic energy and human error are the core drivers of harm, measurement and feedback loops must be public and continuous to keep effort where it works best.

6. DISCUSSIONS BEYOND THE PLAN AND

CONCLUSION

A deliberate balance has been sought between safety and the lived experience of riding. The plan aims to raise the floor, braking stability, tire pressure awareness, certified head protection, and progressively wider airbag use, without pushing costs or verification burdens to the point of excluding lower-income riders or making routine trips onerous. Acceptance depends as much on the how as on the what: clear criteria for signage and control, straightforward checks (DOT/ECE labels, TPMS presence), and proportional enforcement are emphasized to secure buy-in and sustained compliance.

Several limitations are acknowledged openly. The AIS-based injury readings are drawn from prior studies and simulations rather than case-by-case reconstruction; the economic model is preliminary and uses public benchmarks and prudent assumptions; and some contextual inferences (exposure under normal conditions) hinge on indirect indicators that would benefit from richer telematics and traffic-flow data. Nonetheless, the approach, official datasets, reproducible code, and explicit, checkable prioritization criteria, has been designed so that others can extend, verify, and refine the conclusions in subsequent iterations. Many measures and paths can be followed to reduce accidents and victims from them, but the drawbacks from a operative, functional, economic and social view must be taken into consideration.

The central conclusion is that substantial casualty reductions are feasible if action concentrates on four coordinated vectors: (i) lowering systemic energy where harm concentrates (speed management and SPM on high-risk segments), (ii) reducing error through infrastructure design and

on-bike assistance, (iii) protecting the body with effective personal equipment (helmets, airbags, certified garments), and (iv) aligning vehicle capability with rider competence (all under an open-data regime that makes progress measurable and correctable). This combination offers a selective, viable, and evaluable path to fewer motorcycle deaths and severe injuries without turning motorcycling into a bureaucratic ritual.

Future work is laid out along three lines. First, model-based impact testing, including finite-element and multibody scenarios, tied to AIS outcomes, could help refine benefit ranges prior to wide deployment of equipment such as airbags or new SPM designs. Second, a deeper socio-economic analysis should examine distributional effects, financing mechanisms, and alternative incentive designs to ensure fairness and uptake across rider profiles. Third, the institutionalization of open, machine-readable high-risk-segment lists and treatment status should be pursued, so that public agencies, navigation providers, and rider communities can co-own the feedback loop that sustains long-term gains.

7. RELATION WITH M2S PROGRAM'S CONTENT

As mentioned, this report has been prepared as a concise summary and explanation of the current and future context of motorcycle safety in Spain. The full development of the proposed plan to reduce accidents, the Python code employed, and the analysis of other reports and simulations are provided in the Annex. In this chapter, the relationship between the thesis and the M2S program's content is discussed.

It is evident that this thesis draws extensively on references and material from the M2S program. In fact, the topic was selected directly from the M2S thesis options that were available. For that reason, many subjects (particularly those related to Safety and Mobility) have influenced this work. Although several courses contributed, the following paragraphs detail the ones with the greatest impact. For example, Vehicle Dynamics was helpful for the analysis concerning the importance of motorcycle dynamics; however, its influence was not as direct as that of other subjects.

The first clear influence is the set of subjects corresponding to Sustainable Mobility and Global Transportation. In these courses, a recurring focus was the role of well-designed mobility in reducing road accidents and casualties. Road safety was a central theme, and the thesis is directly aligned with that emphasis. During the M2S program, relevant European Union and Spanish regulations were discussed, along with specific terms and data related to road-traffic victims, preventive strategies, and the main causes of fatalities. While the influence of these subjects is broad (reflecting the overall mobility framework that underpins this work) particular importance should be given to the prior exposure to ADAS concepts. This foundation helped clarify which sensors and safety systems are also important for motorcycles. It should also be noted that vehicle safety regulations for two-wheeled vehicles were examined within Global Transportation. The classes taught by Sergio Crespo (ANESDOR) were especially valuable, as their content closely matched key elements developed in the thesis. The relevance extended beyond regulations on helmets, gloves, and other protective equipment to active-safety aspects, where several existing ARAS (ADAS for motorcycles) were reviewed. This material provided an overall view of motorcycle safety and the current situation in Spain, offering an excellent starting point for the project because many protective systems and regulatory considerations had already been introduced.

Another highly influential subject, this time with a direct impact on a specific area of the thesis, was Data Analysis and Visualization with Python. The knowledge acquired was definitively useful and was applied throughout the thesis. First, using Python would have been considerably more difficult without the basic programming concepts taught in that course. Beyond the fundamentals, the influence was very concrete: the final project for the subject involved extracting data from various websites and databases related to automation. Some of those exercises involved accident data; although the primary focus was on cars, the tools and methods transferred seamlessly to motorcycle data. Thanks to the program, identifying databases with information on motorcycle accidents in Spain proved easier, as different official websites and data channels had already been mapped. The analytical and visualization tools covered, particularly the Python libraries Pandas and Matplotlib, were essential for the project. Developing the desired code to analyze the datasets would have been much harder without that prior exposure. It was also an opportunity to apply learned basics to real data, including the identification and handling of errors to ensure a correct interpretation of results. As emphasized in the course, rigorous data cleaning is as important as

clear visualization. The computing environment used in the thesis, Anaconda and Jupyter Notebook, was likewise adopted from the course setup.

Following this first area of the work, the next major component concerned the technology and dynamics of motorcycles as they relate directly to rider safety. This content was important for deriving conclusions and aligning them with the patterns observed in the databases, thereby enabling a coherent explanation and evaluation of the proposed solutions and plan to reduce accidents in Spain. Two subjects were particularly influential here: ADAS and Sensor Technology, and Injury Biomechanics (with additional relevance from Restraint Systems and Finite Element Analysis for the study of the airbag). Through the ADAS course, the basic structure of active-safety systems was introduced, which proved useful because many systems already implemented in cars are currently being adapted and installed on motorcycles. As noted earlier, this knowledge was complemented by the ARAS content covered within Global Transportation. The most relevant aspects from the ADAS subject for the thesis were the regulatory landscape for these systems and the understanding of how they function to reduce accidents, not only in cars but, as developed in the thesis, in motorcycles as well. A notable implementation gap remains between motorcycles and four-wheeled vehicles. Having the ADAS background was therefore important for structuring the plan around the rollout of several ARAS, such as ABS for smaller motorcycles and scooters, and TPMS (tire-pressure monitoring systems), already mandatory for cars.

Within the chapter of the thesis focused on motorcycle safety technology and the current state of systems, reports and simulation results on passive-safety elements were also reviewed. One example is a scientific paper cited in references that presents LS-DYNA and MADYMO simulations. Because the M2S program included courses in Finite Element Analysis, Integrated Safety and Restraint Systems, and Crashworthiness, the results of those simulations were easier to interpret and to incorporate into the report with appropriate analysis. The knowledge from Injury Biomechanics was likewise helpful for identifying official parameters to estimate the impact of motorcycle airbags and other passive-safety elements on injury reduction. This is why information from reports using the Abbreviated Injury Scale (AIS) was included; the importance of such scales for assessing the effect of safety systems and injury severity had been emphasized during the program.

Overall, a substantial portion of the M2S program's content proved highly useful for the development of the thesis. Prior exposure to ADAS, deeper study of passive systems such as airbags, and proficiency with tools like Python for analysing and visualizing accident data were all essential to completing the project and reaching stronger conclusions. Beyond direct technical contributions, the program helped consolidate a systems-level perspective that connects mobility policy, vehicle technology, infrastructure, and human factors. This integrative view strengthened the evidence-based approach of the thesis, supported a feasible prioritization of measures (combining active and passive safety with targeted regulation), and clarified how results should be audited and iteratively improved. It also enhanced readiness for future professional work, by fostering the ability to translate data into implementable safety policies, to liaise with industry and public agencies on regulatory roadmaps, and to design pilots that test ARAS and protective equipment under real-world conditions. Finally, it suggested clear avenues for extension, such as the use of telematics and exposure data, field trials for motorcycle-specific systems, and broader collaboration with stakeholders, which would further refine the plan's estimates and accelerate casualty reduction in Spain.

ANEX



TRABAJO FIN DE MÁSTER

Propuesta de plan de reducción de accidentes de motocicletas en España

Autor: Jorge Ocaña del Llano

Director: Juan Norverto Moriñigo

Madrid

Agosto de 2025

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Propuesta de plan de reducción de accidentes de motocicletas en España
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2024/25 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Jorge Ocaña del Llano

Fecha: 22/08/2025

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Juan Norverto Moriñigo

Fecha: 23/08/ 2025

DE NORVERTO
MORIÑIGO JUAN -
09746499L



Firmado digitalmente por DE
NORVERTO MORIÑIGO JUAN -
09746499L
Fecha: 2025.08.23 09:22:08 +02'00'



TRABAJO FIN DE MÁSTER

Propuesta de plan de reducción de accidentes de motocicletas en España

Autor: Jorge Ocaña del Llano

Director: Juan Norverto Moriñigo

Madrid

Agosto de 2025

PROPUESTA DE PLAN DE REDUCCIÓN DE ACCIDENTES DE MOTOCICLETAS EN ESPAÑA

Autor: Ocaña del Llano, Jorge.

Director: Norverto Moriñigo, Juan.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

Se presenta un análisis basado en planes de reducción de accidentes de la DGT para motoristas y análisis de datos (con Python) para identificar patrones de riesgo en motoristas y valorar tecnologías de seguridad activa/pasiva e intervenciones de infraestructura. Se propone un plan priorizado y viable con estimación económica preliminar, alineado con estándares y competencias, y apoyado en conclusiones de otros planes existentes. Como resultado, se obtienen perfiles de riesgo accionables, criterios de priorización coste-impacto y un marco de seguimiento abierto para evaluar y ajustar medidas.

Palabras clave: Análisis, Accidentes, Seguridad y Libertad.

1. Introducción

Se aborda la siniestralidad de motoristas en España con un enfoque específico y basado en datos recientes. El objetivo es identificar patrones de riesgo, cuantificar su impacto y priorizar medidas realistas que reduzcan tanto la probabilidad de accidente como la gravedad de las lesiones, para así elaborar un plan que realmente tenga eficacia con su objetivo.

2. Definición del proyecto

El proyecto consiste en elaborar un plan de reducción de accidentes y muertes a raíz de estos de motociclistas, dada la poca eficacia de los planes realizados por la DGT. Se realiza un análisis con bases de datos oficiales, una revisión de tecnologías de seguridad activa/pasiva y de la normativa vigente, así como el estudio de la eficacia de estos sistemas usando la escala AIS como referencia, y se propone un plan de actuación priorizado con una estimación económica inicial. El trabajo se estructura con una metodología que se segmenta por factores como la cilindrada, edad y entorno.

3. Descripción del modelo/sistema/herramienta

El trabajo se apoya, en Python para extraer información sobre las bases de datos oficiales de accidentes de la DGT y otras entidades, y se utilizan bibliotecas como Pandas o Matplotlib para el análisis y la visualización de datos. Además, la descripción de tecnologías y sistemas de seguridad de la moto y el conductor, se complementan con estudios sobre la eficacia de estos sistemas mediante escala de lesiones AIS, para valorar la incorporación de medidas al plan propio.

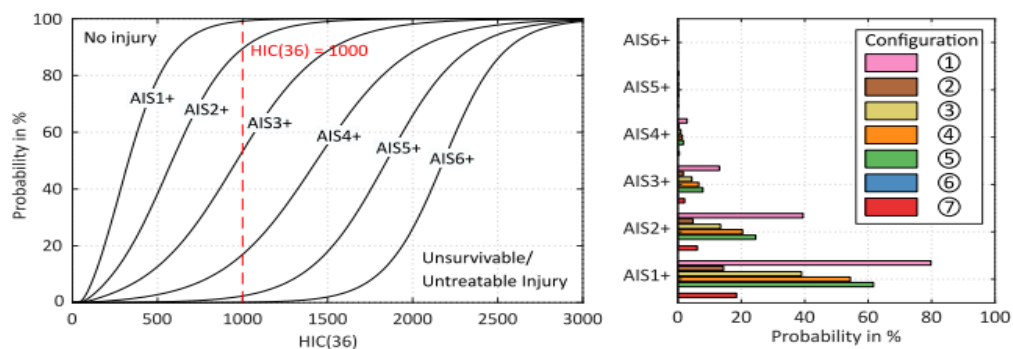


Ilustración 1: Resultados Simulaciones de Airbag en motocicleta con escala AIS

Con estos bloques cubiertos se elaboran una serie de medidas propias que buscan tener eficacia en la reducción de accidentes y de fallecidos en el sector de las motocicletas.

4. Resultados

Se cuantifica la magnitud del problema mediante el análisis de bases de datos

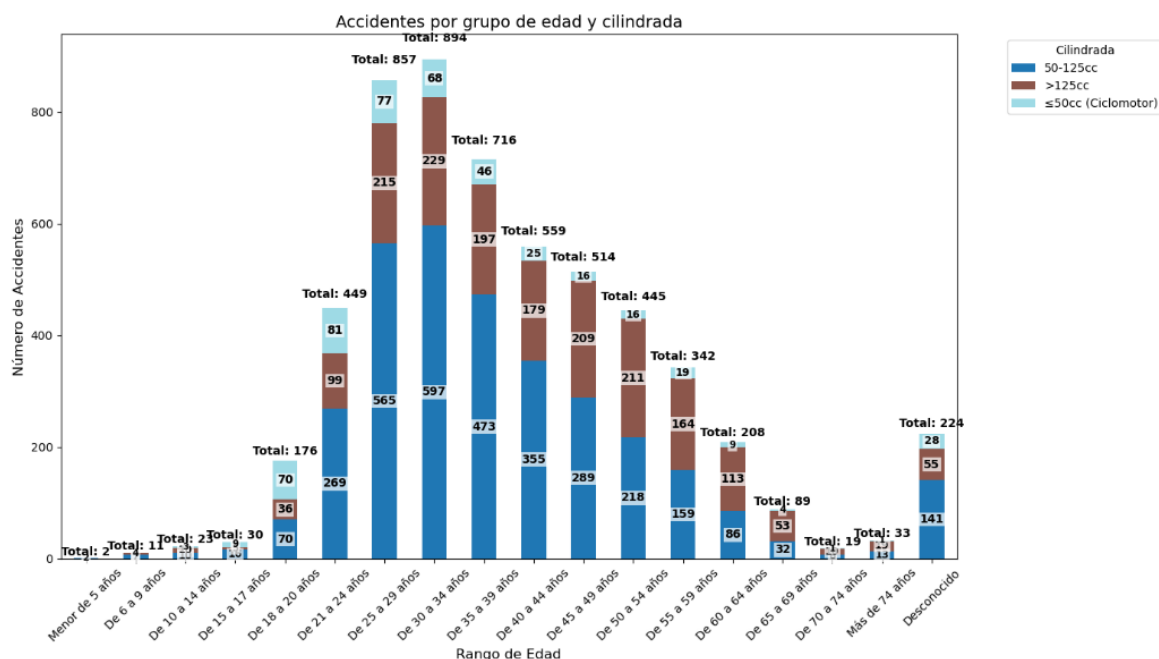


Ilustración 2: Distribución de accidentes de moto por grupo de edad y cilindrada

Y se apoyan los resultados extraídos, con los elementos y contexto tecnológico actual del conjunto motocicleta-conductor. La eficacia de los sistemas de seguridad, tanto activa como pasiva, se confirman con resultados y estudios centrados en sistemas como el airbag o sistemas de seguridad activa para motocicletas (ARAS). Con todo esto, y sabiendo de la ineficacia de las medidas de planes antiguos, se elabora un plan de unas 10 medidas para reducir los accidentes

y los fallecidos en motocicletas. Se obtiene, por tanto, un plan que tiene por objetivo tener un impacto real en la reducción de muertes, pero que no pretende desbalancear la libertad (económica y operativa) del conductor por encima de la seguridad, sino elaborar propuestas que hagan que progresivamente la seguridad de los motociclistas aumente. El plan es de corto plazo (al igual que el análisis económico y de viabilidad), pensado para dos o tres años de primeras medidas, pero busca escalar y se plantean retos y más frentes de ataque que cubrir.

5. Conclusiones

El plan propuesto busca un equilibrio de la libertad y seguridad del motociclista, pero debate de medidas demasiado restrictivas o económicamente superiores a lo que se puede permitir la mayoría, trae consigo fuertes barreras que hacen que sea complicado dar el paso de implementar un plan realmente eficaz. Se ha intentado ver los primeros pasos que poder dar y así asegurar la implementación de la obligatoriedad de sistemas tan importantes como los airbags o distintos ARAS. Y con ello, se han detectado cuatro vectores coordinados, tramos críticos, infraestructura que reduce error, protección personal eficaz y ayudas del vehículo ajustadas al conducto, con seguimiento abierto y auditable. Y para el futuro queda pendiente simular e implantar pilotos para medir impacto, afinar coste-beneficio y financiación, y crear trazabilidad/visualizador; se requiere mayor ambición institucional.

6. Referencias de histórico de planes

Dirección General de Tráfico. (2019). *Plan de medidas especiales para la seguridad vial de motocicletas*. https://www.dgt.es/export/sites/web-DGT/galleries/downloads/conoce_la_dgt/que-hacemos/estrategias-y-planes/Plan-medidas-especiales-motocicletas-2019-2020.pdf

Dirección General de Tráfico. (2025, enero). *2024, récord histórico de desplazamientos en carretera mientras se estabiliza el número de fallecidos en siniestros de tráfico*. <https://www.dgt.es/comunicacion/notas-de-prensa/20250110-2024-record-historico-desplazamientos-en-carretera-mientras-se-estabiliza-el-numero-de-fallecidos-en-siniestros-de-trafico/>

Dirección General de Tráfico. (2030). *Seguridad vial 2030*. <https://seguridadvial2030.dgt.es/inicio/>

Dirección General de Tráfico. (s.f.). *Plan de actuación de seguridad vial 2024-2025*. <https://seguridadvial2030.dgt.es/implementacion/planes-de-actuaciones/>

PROPOSAL FOR A PLAN TO REDUCE MOTORCYCLE ACCIDENTS IN SPAIN

Author: Ocaña del Llano, Jorge.

Supervisor: Norverto Moriñigo, Juan.

Collaborating Entity: ICAI – Comillas Pontifical University

ABSTRACT

An analysis is presented based on DGT motorcycle accident reduction plans and data analysis (with Python) to identify risk patterns among motorcyclists and to assess active/passive safety technologies and infrastructure interventions. A prioritized and feasible plan with a preliminary economic estimate is proposed, aligned with existing standards and competences, and supported by the conclusions of other existing plans. As a result, actionable risk profiles, cost-impact prioritization criteria, and an open monitoring framework are obtained to evaluate and adjust measures.

Keywords: Analysis, Accidents, Safety, Freedom.

1. Introduction

Motorcyclist accident rates in Spain are addressed with a specific, data-driven approach. The objective is to identify risk patterns, quantify their impact, and prioritize realistic measures that reduce both the likelihood of accidents and the severity of injuries, in order to design a plan that truly meets its purpose effectively.

2. Project Definition

The project aims to develop a plan to reduce motorcycle accidents and related deaths, given the limited effectiveness of previous DGT plans. The work includes an analysis of official databases, a review of active/passive safety technologies and current regulations, as well as the study of the effectiveness of these systems using the AIS scale as a reference. Based on this, a prioritized action plan with an initial economic estimate is proposed. The methodology segments the analysis by factors such as engine displacement, rider age, and riding environment.

3. Description of the model/system/tool

The work relies on Python to extract information from official accident databases (DGT and other entities), using libraries such as Pandas and Matplotlib for data analysis and visualization. Additionally, the description of motorcycle and rider safety technologies is complemented with studies on their effectiveness via AIS injury scale, to evaluate which measures should be included in the proposed plan.

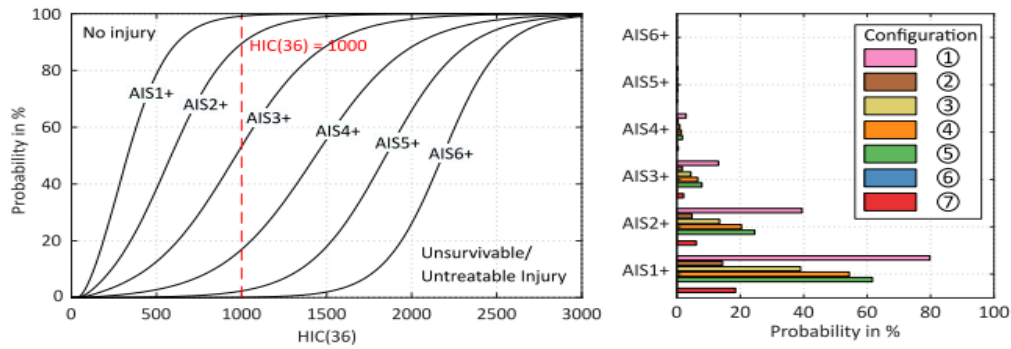


Illustration 1: Motorcycle Airbag Simulation Results using AIS Scale

With these blocks covered, a set of specific measures is designed to effectively reduce motorcycle accidents and fatalities.

4. Results

The magnitude of the problem is quantified through database analysis, supported by the current technological context of the motorcycle-rider system.

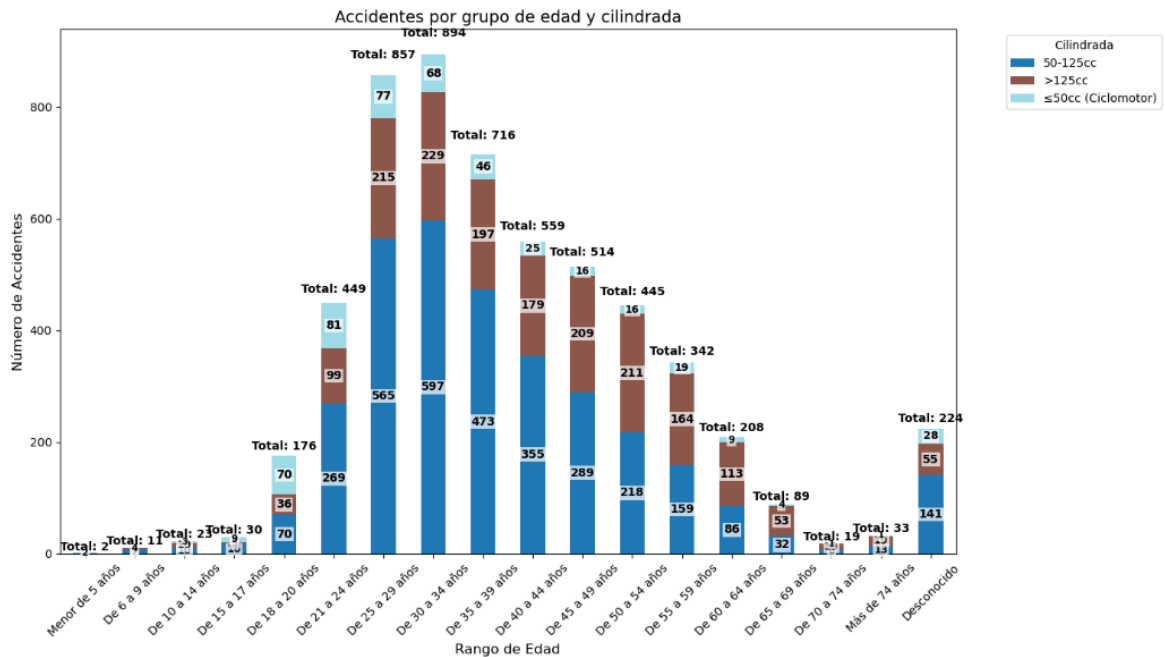


Illustration 2: Distribution of Motorcycle Accidents by Age Group and Engine Displacement

The effectiveness of both active and passive safety systems is confirmed with evidence from studies on airbags and active safety systems for motorcycles (ARAS). Taking into account the ineffectiveness of past plans, a plan with around 10 measures is developed to reduce motorcycle accidents and fatalities. The plan aims to achieve a real impact on reducing deaths without disproportionately compromising the rider's freedom (economic or operational), proposing progressive measures that improve safety over time. It is conceived as a short-term plan (including economic and feasibility analysis), designed for two to three years of initial measures, but with the intention to scale up and tackle additional challenges.

5. Conclusions

The proposed plan seeks a balance between motorcyclist freedom and safety. Overly restrictive or economically burdensome measures pose strong barriers to effective implementation, so the first steps focus on feasible improvements such as making airbags and ARAS systems mandatory. Four coordinated vectors have been identified: critical road sections, infrastructure that minimizes human error, effective personal protection, and vehicle aids adapted to rider capability, all with open and auditable monitoring. Looking ahead, it will be necessary to simulate and implement pilot programs to measure impact, refine cost-benefit and financing strategies, and develop accident traceability and visualization tools. Greater institutional ambition will be essential for success.

6. References from other plans

Dirección General de Tráfico. (2019). *Special measures plan for motorcycle road safety*.

https://www.dgt.es/export/sites/web-DGT/.galleries/downloads/conoce_la_dgt/que-hacemos/estrategias-y-planos/Plan-medidas-especiales-motocicletas-2019-2020.pdf

Dirección General de Tráfico. (2025, January). *2024, historic record of road trips while the number of fatalities in traffic accidents stabilizes*. <https://www.dgt.es/comunicacion/notas-de-prensa/20250110-2024-record-historico-desplazamientos-en-carretera-mientras-se-estabiliza-el-numero-de-fallecidos-en-siniestros-de-traffic/>

Dirección General de Tráfico. (2030). *Road Safety 2030*.

<https://seguridadvial2030.dgt.es/inicio/>

Dirección General de Tráfico. (n.d.). *Road safety action plan 2024–2025*.

<https://seguridadvial2030.dgt.es/implementacion/planes-de-actuaciones/>

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción.....	6
1.1 Contexto	6
1.2 Motivación del proyecto	7
Capítulo 2. Descripción de las Tecnologías.....	9
Capítulo 3. Estado de la cuestión.....	12
Capítulo 4. Definición del Trabajo.....	16
4.1 Justificación	16
4.2 Objetivos	18
4.3 Alineación con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS)	19
4.4 Metodología	20
Capítulo 5. Desarrollo del análisis técnico de datos y Visualización.....	22
5.1 Sesgo de la información de las bases de datos	23
5.2 Análisis y resultados de la base de datos nacional DGT 2023	26
5.3 Análisis de Base de datos Madrid 2024.....	40
5.4 Comparaciones y conclusiones extraídas del análisis de datos	47
Capítulo 6. Tecnología y sistemas de reducción de accidentes y mortalidad.....	49
6.1 Estudio técnico y Marco actual	49
6.1.1 Introducción técnica y contextual.....	49
6.1.2 Elementos técnicos de la motocicleta.....	57
6.2 Sistemas de seguridad pasiva.....	76
6.2.1 Sistemas de protección personales.....	77
6.2.2 Airbags para motociclistas	85
6.2.3 Sliders o defensas en la moto	98
6.3 Otros sistemas ARAS	100
6.4 Reducción de lesiones y evaluación	106
6.4.1 Introducción a estudios y definición de AIS	106

6.4.2 Algunos estudios tomados de referencia	107
6.4.3 Conclusiones del capítulo	117
Capítulo 7. Propuesta de Plan de reducción de accidentes y mortalidad de estos	119
7.1 Medida 1: ABS y C-ABS obligatorio en todas las motocicletas nuevas, incluidas las $\leq 125\text{cc}$, a partir de 2027.....	119
7.2 Medida 2: Elevación del estándar mínimo de casco y extensión del equipamiento de protección personal (EEP).....	120
7.3 Medida 3: Sistema de control de presión de neumáticos (TPMS) obligatorio en todas las motocicletas nuevas	122
7.4 Medida 4: Implantación progresiva del airbag para motoristas	123
7.5 Bonificaciones por incorporación de sistemas ARAS	124
7.6 Fomento de la entrada de entidades como EuroNCAP o similares	125
7.7 Despliegue prioritario y medible de barreras de protección para motoristas (SPM) y mejora del asfalto	126
7.8 Segmentación de medidas en función del tipo de motocicleta y la motorización	128
7.9 Refuerzo de información de tramos de elevada siniestralidad.....	131
7.10 Otras posibles medidas	132
Capítulo 8. Análisis del plan propuesto	134
8.1 Estudio económico del plan propuesto.....	136
8.2 Cuestiones críticas más allá del plan propuesto	145
Capítulo 9. Conclusiones y Trabajos Futuros	149
Capítulo 10. Bibliografía	154
ANEXO I	162

Índice de figuras

Ilustración 1: Resultados Simulaciones de Airbag en motocicleta con escala AIS	6
Ilustración 2: Distribución de accidentes de moto por grupo de edad y cilindrada	6
Ilustración 5: Plan de reducción de accidentes y fallecidos en motocicleta 2008-2012.....	13
Ilustración 6: Guardarraíl con SPM (Ancosev, 2016).....	14
Ilustración 7: Motociclistas fallecidos (2015-2024) (RTVE, 2025)	15
Ilustración 8: ODS 3, 9 y 11	20
Ilustración 9: Captura de unos pocos datos en bruto de base de datos.....	23
Ilustración 10: Muestra del código de procesado de información	24
Ilustración 11: Ejemplo de información de la base de datos tras limpieza.....	25
Ilustración 12: Gráfico tipo accidente a través de Python	26
Ilustración 13: Distribución salida de vía a través de Python.....	27
Ilustración 14: Total de accidentes según vía interurbana o urbana a través de Python	28
Ilustración 15: Total de accidentes según carretera a través de Python	28
Ilustración 16: Condiciones meteorológicas a través de Python	30
Ilustración 17: Condiciones de iluminación a través de Python	31
Ilustración 18: Condiciones del asfalto o firme a través de Python.....	31
Ilustración 19: Condiciones nivel de circulación a través de Python	32
Ilustración 20: Niveles de circulación según la DGT	32
Ilustración 21: Visibilidad a través de Python	33
Ilustración 22: Ejemplo de gráficas sobre condiciones externas de motos y ciclos a través de Python	35
Ilustración 23: Código con el que se agrupó las condiciones normales.....	37
Ilustración 24: Resultados de accidentes bajo condiciones normales agrupadas	38
Ilustración 25: Resultados de accidentes en general	38
Ilustración 26: Comparación de condiciones en accidentes con fallecidos	39
Ilustración 27: Distribución de las motos por cilindrada	41
Ilustración 28: Distribución del parque motor de motos según categoría	42
Ilustración 29: Distribución de cilindrada en accidentes por rango de edad.....	44
Ilustración 30: Accidentes por rango de edad	45

Ilustración 31: Distribución porcentual de accidentes por cilindrada y vía	46
Ilustración 32: Motocicleta eléctrica Rieju Nuuk	50
Ilustración 33: Clasificación Vehículos L1.....	52
Ilustración 34: Clasificación Vehículos L2.....	52
Ilustración 35: Clasificación Vehículos L3.....	53
Ilustración 36: Clasificación Vehículos L4.....	53
Ilustración 37: Clasificación Vehículos L5.....	54
Ilustración 38: Avance Motocicleta.....	58
Ilustración 39: Grados de libertad de una motocicleta.....	59
Ilustración 40: Transferencia de pesos.....	60
Ilustración 41: Motocicleta Naked Ducati Streetfighter V4	63
Ilustración 42: Sistema ABS.....	66
Ilustración 43: Suspensiones delantera y trasera	68
Ilustración 44: Sistema ESA BMW	69
Ilustración 45: Diferencia de áreas según presión de neumáticos	72
Ilustración 46: Transmisión por Cardán	75
Ilustración 47: Certificado ECE 22.06	79
Ilustración 48: Homologación Cascos en España	80
Ilustración 49: Elementos de protección motoristas	84
Ilustración 50: Ejemplo Airbag integrado en chaqueta; Alpinestars	86
Ilustración 51: Ejemplo de Chaleco con Airbag independiente, Dainese	87
Ilustración 52: Escenarios de encuentros entre coches y motos Euro NCAP 2023.....	92
Ilustración 53: Encuesta RACE Uso de airbag en moto	93
Ilustración 54: Encuesta RACE Imprescindibilidad de protección personal.....	94
Ilustración 55: Honda Gold Wing con sistema de Airbag en motocicleta.....	95
Ilustración 56: Componentes airbag integrado en motocicleta	97
Ilustración 57: Sliders moto	100
Ilustración 58: Dispositivos de asistencia para motos diseñados por Bosch	102
Ilustración 59: IINOVV sistema de detección ángulo muerto	105
Ilustración 60: Límites y glosario para el estudio de simulaciones de Airbag.....	109
Ilustración 61: Resultados de cada modelo en porcentaje con respecto a los límites	109
Ilustración 62: AIS de cada modelo y probabilidad asociada.....	110

Ilustración 63: Configuraciones de las simulaciones.....	115
Ilustración 64: Tabla de explicación de Infladores Airbag.....	116
Ilustración 65: Resultado de simulaciones.....	116
Ilustración 66: Sistemas ARAS en motocicletas	125
Ilustración 67: SPM	127
Ilustración 68: eCall BMW	138
Ilustración 69: Caco Stinger con homologación.....	139
Ilustración 70: Impacto del plan.....	144
Ilustración 71: Impacto económico del plan.....	144

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1.1 CONTEXTO

La seguridad vial ha sido y es una de las mayores preocupaciones y principales problemas de salud pública en muchos países, las muertes y accidentes graves que ocurren anualmente suponen cifras muy elevadas. Solo en España, el año pasado hubo 1040 siniestros mortales en los que fallecieron 1154 personas y otras 4634 sufrieron heridas graves¹. Es por estas cifras de muertos y accidentados, que en España y en Europa en general, ya se han llevado a cabo medidas para reducir la siniestralidad y el número de accidentes, con el objetivo de llegar a 0 muertes en carretera para el año 2050². Sin embargo, aún queda mucho para lograr ese objetivo y existen aún planes de reducción poco efectivos. Dentro de esta siniestralidad vial, los accidentes de motocicletas representan un porcentaje alarmante en términos de mortalidad y lesiones graves. Según los datos más recientes publicados por la Dirección General de Tráfico, los motoristas suponen aproximadamente el 25% de los fallecidos en carretera a pesar de representar un porcentaje mucho menor del parque de vehículos total. Esta desproporción evidencia la vulnerabilidad inherente a la conducción de motocicletas y subraya la necesidad urgente de actuar de forma específica sobre este colectivo.

En los últimos años, diversas políticas públicas y estrategias de seguridad vial han tratado de abordar esta problemática. Planes como la "Estrategia de Seguridad Vial 2021-2030" de la DGT incluyen objetivos concretos dirigidos a reducir la siniestralidad de motoristas, mediante campañas de concienciación, mejoras en la infraestructura y requisitos técnicos más exigentes para vehículos y conductores. Sin embargo, los resultados muestran que los avances son todavía insuficientes para alcanzar los ambiciosos objetivos de reducción de víctimas que plantea la Agenda 2030. En paralelo, los avances tecnológicos ofrecen nuevas oportunidades para mejorar la seguridad de los motociclistas. Sistemas de ayuda a la conducción (ADAS) adaptados a motocicletas, equipamiento

¹ interior, «Planes de actuaciones».

² interior, «DGT -».

de protección personal más avanzado (como airbags o cascos inteligentes) y medidas legislativas más estrictas en homologación de equipamiento representan líneas de acción que, hasta ahora, no han sido explotadas en toda su potencialidad.

Este trabajo tiene como objetivo analizar en profundidad la situación actual de la siniestralidad de motocicletas en España, revisar las soluciones implementadas históricamente y estudiar nuevas estrategias de intervención, basadas tanto en el análisis de bases de datos reales de accidentes como en la evaluación crítica de las políticas existentes. De forma específica, se pretende estudiar el impacto potencial de la implementación obligatoria de tecnologías de seguridad activa y pasiva, evaluar la influencia de factores externos como el estado de las infraestructuras o la motorización, y realizar una propuesta concreta para la reducción de accidentes en el medio plazo, alineada con los principios de sostenibilidad y seguridad vial globales.

1.2 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

A raíz de lo mencionado en anteriores apartados a cerca de la elevada siniestralidad de los motociclistas en España (puesta de manifiesto en los datos más recientes de la Dirección General de Tráfico), se demuestra que los planes históricos de reducción de accidentes, aunque efectivos en ciertos aspectos, no han logrado eliminar las cifras preocupantes de mortalidad y lesiones graves en este colectivo. En particular, la desproporción entre el porcentaje de motociclistas fallecidos respecto a su representación en el parque móvil evidencia una necesidad urgente de intervención específica.

El análisis de los planes anteriores revela que, si bien han supuesto avances relevantes en formación, concienciación y mejora de infraestructuras, existen áreas donde la acción puede intensificarse. Los rápidos avances tecnológicos, como la incorporación de sistemas de asistencia a la conducción (ADAS) adaptados a motocicletas y el desarrollo de nuevos sistemas de protección activa y pasiva, no han sido todavía plenamente integrados en la legislación ni en las estrategias de seguridad vial. Asimismo, el creciente volumen de datos disponibles sobre accidentes permite abordar el problema desde una perspectiva más científica y basada en la evidencia. El uso de técnicas de análisis de datos aplicadas a bases de siniestralidad, como se plantea en este proyecto,

puede identificar con mayor precisión las causas más frecuentes de los accidentes y ayudar a diseñar medidas de prevención mejor dirigidas.

Por otra parte, los debates actuales sobre medidas como la instalación masiva de radares, la limitación de la potencia de los vehículos o la obligatoriedad de equipamiento de seguridad adicional requieren un enfoque técnico riguroso que evalúe su verdadera efectividad y sus implicaciones económicas y sociales. En este contexto, este proyecto ofrece una aproximación integral que combina el estudio de antecedentes históricos, el análisis crítico de la situación actual, la evaluación cuantitativa mediante bases de datos y la propuesta fundamentada de nuevas estrategias. Todo ello orientado a reducir la siniestralidad en motocicletas de manera efectiva, sostenible y alineada con los principios de movilidad segura y sostenible promovidos a nivel nacional e internacional.

Capítulo 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

En este capítulo se va a describir brevemente e introducir la tecnología y sistemas que se mencionen durante el desarrollo del trabajo. En primer lugar, cabe mencionar la diferencia de seguridad activa y pasiva, ya que es una tecnología que será recurrente su mención a lo largo de todo el proyecto:

La seguridad en motocicletas al igual que en el resto de los vehículos, se puede dividir en seguridad activa y seguridad pasiva, ambos tipos claves, pero cada tipo con su función. La seguridad activa comprende todos los sistemas y elementos que ayudan a evitar un accidente. Es decir, su función principal es mejorar el control, la estabilidad, la visibilidad y la capacidad de reacción del conductor. En el caso de las motocicletas, esto incluye tanto tecnología embarcada como componentes físicos. La seguridad pasiva, en cambio, incluye los elementos destinados a minimizar los daños al conductor y acompañante en caso de accidente. En motocicletas, la seguridad pasiva depende en gran parte del equipamiento personal del usuario y de algunos dispositivos integrados en la moto.

Este enfoque integral de la seguridad ayuda a entender que, aunque no se pueda eliminar totalmente el riesgo en la conducción de motos, sí es posible reducir significativamente tanto la probabilidad como la gravedad de un accidente si se emplean adecuadamente tanto medidas activas como pasivas.

Dentro de la seguridad activa se introducen conceptos y tecnologías que se explicaran y mencionaran más adelante en el trabajo, entre ellos:

- ABS (obligatorio en >125cc; voluntario o CBS en ≤ 125 cc). Se revisará su evolución hasta el C-ABS (cornering ABS) capaz de modular la presión según el ángulo de inclinación.
- TCS (control de tracción): evita pérdidas de adherencia en aceleración, particularmente relevante en motos de media-alta potencia.
- TPMS (sistema de control de presión de neumáticos): alertan de pérdidas de presión que multiplican riesgo de salida de la vía.
- Otros ARAS: Cruise Control, Forward Collision Warning, Blind-Spot Detection y V2X para motos. Soluciones que se explorarán en el apartado correspondiente.

Dentro de la seguridad pasiva, conviene mencionar tecnología y equipamiento que será un tema recurrente a lo largo del trabajo:

- EEP (Equipamiento de Protección Personal): Elementos y sistemas que varían desde cascos (uso obligatorio, a ropa con protecciones e incluso los airbags de motos que son usados como chalecos o que están integrados en las chaquetas de protección.
- Los airbags que se dividen entre airbags que son llevados por el conductor a airbags integrados a la moto. Estas soluciones se analizarán en particular de forma más amplia, por su potencial de reducir lesiones y su posible implementación como parte de la propuesta propia de plan.
- Elementos como sliders, también conocidos como defensas laterales para la moto.

Para valorar objetivamente el posible impacto de las medidas, en el trabajo se explorarán estudios y soluciones de ensayos y simulaciones que hablarán del AIS (Abbreviated Injury Scale), una escala de severidad de los accidentes, para representar el impacto y consecuencia de estos de manera objetiva. Una herramienta que será importante para justificar el porqué de algunas de las medidas del plan de reducción de accidentes que se propondrá.

También se mencionarán y usarán herramientas de análisis y visualización de datos con el uso de Python como lenguaje de programación, para poder utilizar herramientas de datos aplicados a la siniestralidad. Esto se verá dentro del apartado de objetivos, pero se usará para verificar datos y poder justificar también la toma de medidas del plan. Las bibliotecas de uso entre otras, serán la biblioteca de Pandas para el análisis de datos, y el uso de Matplotlib o Seaborn para representar lo que se ejecute.

También se hace mención a las simulaciones de los estudios que se van a comentar, en las que se utiliza software de simulación de elementos finitos (programas como Ls-Dyna o Ansys son programas típicos que se usan en estos casos para simular ensayos de impacto) o de elementos “multibody” (como el software de MADYMO). Estos sistemas forman parte del alcance del trabajo, ya que a través de estos estudios se llegarán a pruebas empíricas que contrastarán las medidas que se adopten en el plan propuesto. Además, son tecnologías que en el mundo de la seguridad son muy relevantes por su potencial de ver resultados de accidentes sin necesidad de invertir en

dummies (sujetos de prueba diseñados para representar de forma realista las características del cuerpo humano) y realizar simulacros o ensayos reales, que resultan mucho más costosos.

Capítulo 3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Este proyecto por tanto parte como punto inicial del plan de actuaciones de seguridad vial 2024-2025 propuesto por la DGT. No obstante, el alto grado de siniestralidad de motocicletas en España, ha sido un punto que ha motivado el desarrollo de planes de actuación para mejorar la seguridad vial. Desde 2007, la DGT ha impulsado distintas estrategias.

Con la muerte de 224 motoristas en 2007, la DGT creó el GT-52 y aprobó el primer plan específico para motos. Sus cuatro ejes fueron formación avanzada, promoción del casco integral, instalación piloto de Sistemas de Protección de Motoristas (SPM) y ayudas fiscales al ABS. Un primer hito que se desarrolló fue el Plan Estratégico para la Seguridad Vial de Motocicletas y Ciclomotores³, elaborado por el mencionado Grupo de Trabajo GT-52 en el seno del Consejo Superior de Tráfico. Estas propuestas introdujeron medidas como el impulso a la formación, fomento de cursos para la conducción segura, la mejora de infraestructura de carreteras para construir un mayor número de barreras de protección para motociclistas, la promoción del uso de casco y más elementos de protección... Los objetivos fueron:

- Invertir la tendencia al alza del número de fallecidos y heridos graves usuarios de motocicletas y ciclomotores
- Conseguir que el número de fallecidos por millón de motocicletas inicie un decrecimiento sostenido en el tiempo.

El desarrollo del plan tuvo resultados positivos:

³ «Maquetación 1».

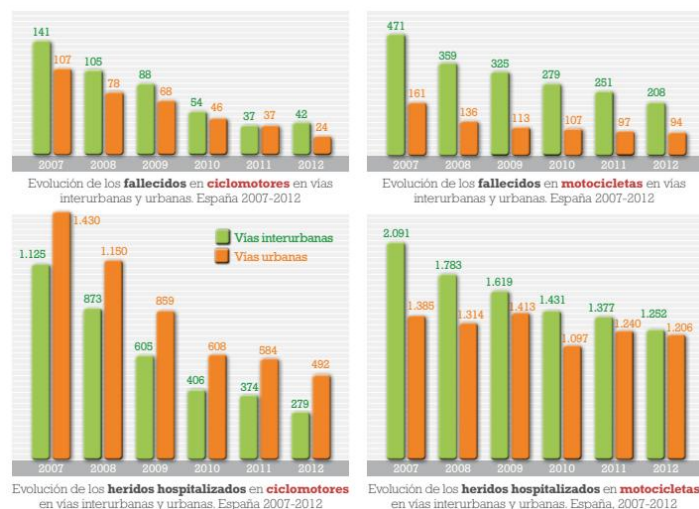


Ilustración 3: Plan de reducción de accidentes y fallecidos en motocicleta 2008-2012

No obstante, pese a que el balance como se puede observar deja un descenso de los fallecidos desde 2007, hay factores que pudieron influir también a este descenso, como el descenso de la movilidad debido al periodo de crisis que atravesaba el país en ese momento. También no se llevaron a cabo la instalación de todos los tramos con SPM en tramos peligrosos.

En 2014, hubo un repunte víctimas, probablemente fomentado por factores como el insuficiente control de la velocidad, la antigüedad del parque motor y la ausencia de tecnologías de seguridad activa y pasiva. Esto se tomó como una tarea para implementar como asignatura pendiente para los próximos años.

Posteriormente, el Plan de Medidas Especiales para la Seguridad Vial de Motocicletas y Ciclomotores 2019-2020 amplió las acciones del anterior y aplicó un enfoque basado en el "Sistema Seguro" y la "Visión Cero", donde se reconoce que el error humano es inevitable, pero no deben aceptarse las muertes y lesiones graves como consecuencias inevitables del tráfico⁴. El plan contempló 17 medidas (incentivos al airbag personal, extensión de SPM, cursos gratuitos, señalización de curvas peligrosas, etc.) con la ambición de reducir un 20 % las muertes en dos años. Se vieron estrategias acompañadas de mayor concienciación, y el planteamiento de mejoras técnicas en los vehículos, como la introducción del ABS (Antilock Braking System) en vehículos,

⁴ «Plan-medidas-especiales-motocicletas-2019-2020.pdf».

incluidas las motos, como obligatorio. Los resultados de este plan de medidas se vieron maquillados por las restricciones de movilidad por el año 2020, y medidas como la nueva implantación de sistemas SPM para proteger la salida de vía de los motoristas en carreteras interurbanas peligrosas quedo fuera del objetivo.

Actualmente, la hoja de ruta por parte de la DGT sigue el ya mencionado Plan de medidas para 2024-2025, en el que se pueden ver 5 medidas principales para reducir la accidentalidad de motocicletas⁵:

1. Cursos de conducción para motos con permiso B con más de 3 años de antigüedad
2. Fomentar la formación continua mediante cursos online
3. Ampliar sistemas de protección para motos (SPM) en carretera regidos por la norma UNE 135900
4. Iniciación de un programa de adquisición de airbags
5. Conferencia Internacional de Seguridad Vial



Ilustración 4: Guardarraíl con SPM⁶

No obstante, pese a los planes de actuación para conseguir reducir la siniestralidad en accidentes, el colectivo compuesto por usuarios vulnerables (peatones, bicicletas y motocicletas) no consigue ver un decrecimiento real en sus fallecidos y hospitalizados, y en concreto, las motocicletas siguen en una misma tendencia sin tener reducciones de fallecidos (o incluso ascendente) los últimos años,

⁵ interior, «Planes de actuaciones».

⁶ *Sistemas de Protección para Motociclistas (SPM) – ANCOSEV – ASOCIACIÓN NACIONAL DE CONSUMIDORES POR LA SEGURIDAD VIAL.*

prueba de que hay que tomar medidas más eficaces e intentar localizar el foco del problema. España cerró 2024 con 289 motoristas fallecidos y numerosos heridos graves en vías interurbanas, la cifra más alta de fallecidos desde 2010. Si se centra el foco al período 2014-2024, las muertes han crecido, mientras que la mortalidad global del resto de usuarios en el mapa vehicular español se ha reducido un 11 %.

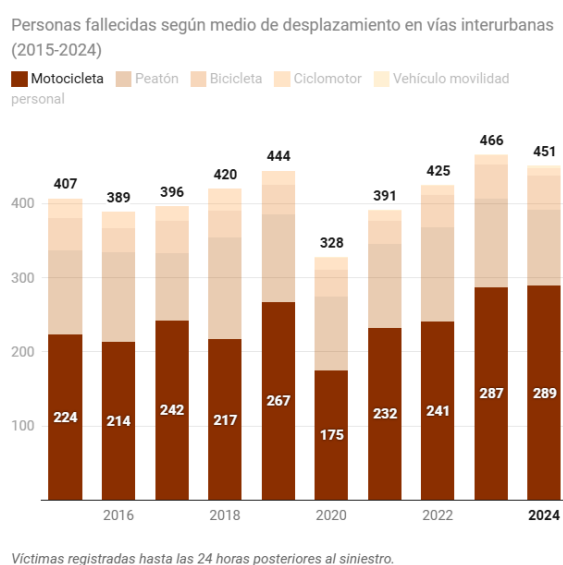


Ilustración 5: Motociclistas fallecidos (2015-2024)⁷

Como se ha podido ver, pese a los planes de reducción propuestos, no parece haber una solución que realmente haya logrado tener un impacto real en el campo de las motocicletas.

⁷ AGENCIAS, «El año 2024 termina con 1.154 muertos en las carreteras».

Capítulo 4. DEFINICIÓN DEL TRABAJO

4.1 JUSTIFICACIÓN

En este apartado se pretende mostrar la justificación del trabajo, en parte debida a la ineficiencia de muchas medidas tomadas o la poca acción respecto a otras medidas para reducir accidentes y víctimas de tráfico en el ámbito de las motocicletas. Como se ha observado muchos planes anteriores resultan insuficientes para invertir la tendencia instaurada de la siniestralidad motociclista, y por ello se pretende desarrollar un plan propio en capítulo más avanzado del trabajo.⁸

Puntos importantes reflejados del último año y en general:

- 289 motoristas fallecidos en 2024 (213 en carreteras convencionales + 76 en vías rápidas), el valor más alto desde 2010 y un +70 % respecto a 2014. Las motocicletas concentran ya el 25 % de todas las víctimas mortales con sólo el 11 % del parque móvil.
- La movilidad alcanzó 462,9 M desplazamientos interurbanos en 2024 (+3 % vs 2023), máximo histórico; la exposición al riesgo sube, pero la letalidad para motoristas no baja.
- En encuestas realizadas por fundaciones como la de Línea Directa, un 46% de los motoristas reconoce no respetar los límites de velocidad.⁹

El plan último de la DGT, como ya se ha mencionado, contempla en base a los últimos datos:

Formación: Curso voluntario “B-moto” y módulos on-line que devuelven 2 puntos del permiso. El perfil de riesgo dominante (varón 40-55 años con más de cinco años de carné) queda casi al margen de la medida.

⁸ «Informe-Siniestralidad_Cierre-2024_v10_FINAL.pdf».

⁹ SER, «En la última década, el 1,6% de los accidentes de moto registrados en La Rioja fue mortal».

Equipamiento personal: Airbag obligatorio solo en las prácticas y examen del permiso A a partir del 1-jul-2025. Fuera de ese ámbito, sigue siendo una recomendación; no existe incentivo fiscal.

Infraestructura: Ampliación de barreras SPM (UNE 135900) hasta 3 000 km “de alta peligrosidad”. A fecha de hoy la DGT no ha publicado el grado de ejecución, lo que impide evaluar el impacto, aunque hay datos de otras medidas anteriores sobre estas barreras en las que se sabe que no se logró el alcance objetivo de instalación.

Difusión: Se han realizado campañas oficiales sobre dispositivos ARAS, subidos a la página oficial de la DGT. En ellos aparecen figuras relevantes dentro del mundo del motociclismo como Dani Pedrosa, pero no existen realmente aún datos de que estos vídeos hayan tenido un impacto real de alguna forma, y muchos sistemas ARAS no están implementados en muchas motocicletas¹⁰.

Se ha querido realizar un primer paso de crítica al plan actual, que servirá como contexto para realizar un propio plan de medidas. Como se explicará en próximos apartados, esta información sumada a un análisis de datos y al estudio de la tecnología actual del parque motor de las motocicletas, servirá como recolección de datos para justificar las medidas y propuestas propias. Como debilidades iniciales de ha podido observar:

- Ausencia de un objetivo cuantificado para motoristas (por ejemplo: –30 % de víctimas en 2025-2030). El plan se limita a “acercar la Visión Cero” sin metas intermedias ni cronograma.
- Ventana temporal corta (24 meses) para medidas que requieren renovación del parque o infraestructura pesada.
- Cobertura voluntaria de las principales acciones; la evidencia indica que la adopción espontánea rara vez supera el 15 % en tres años.
- Sin estímulos a la renovación tecnológica: la edad media de la moto española es de unos 16,9 años, frente a unos 13 años en turismos¹¹. Permanecen en circulación miles de unidades sin ABS ni e-Call, sistemas que además como el e-Call para llamadas de emergencia no es obligatorio para motocicletas.

¹⁰ interior, «Sistemas avanzados de ayuda a la conducción (ARAS)».

¹¹ «El 23,3% de las motocicletas con menos de 25 años de antigüedad no tiene la ITV al día».

- Laguna normativa clave: el ABS o la frenada combinada siguen sin ser obligatorios en scooters $\leq 125\text{cc}$, implicados en numerosos siniestros urbanos.
- Gestión de velocidad y alcohol: el plan no refuerza controles automáticos o mayores restricciones de velocidad en los tramos con mayor mortalidad de motoristas ni activa la anunciada rebaja de la tasa de alcoholemia.
- Evaluación opaca: hoy en día no existe un tablero público de indicadores trimestrales que permita auditar la eficacia real de cada actuación. Es complicado revisar información de la exactitud y precisión de mejoras de muchas de las medidas que se proponen.

Parece complicado ver una mejora en los próximos años si las medidas se mantienen similares a las que se han visto en planes anteriores, y sin que se realicen incentivos fiscales y restricciones normativas.

4.2 OBJETIVOS

A nivel general el trabajo se divide en una serie de objetivos a alcanzar, agrupados en 3 objetivos generales. Se mencionan a continuación dichos objetivos, explicando la metodología a seguir en próximos apartados del documento.

- 1) **Análisis de causas de accidentes de motocicletas:** Para poder tener un criterio sobre el que basar la crítica a planes de reducción de accidentes propuestos por la DGT y llevar a cabo una propuesta personal, es necesario llevar a cabo un estudio y análisis de los accidentes ocurridos y así localizar las causas detrás de estos. El identificar patrones o sesgar los datos lo suficiente como para localizar los focos más críticos, serviría para tener un criterio y poder obtener una propuesta de valor. Este objetivo sigue por la búsqueda de posibles datos estadísticos del INE, o incluso el acceso a bases de datos de accidentes en carretera en los que se permita extraer causas reales (tanto factores externos de carretera u otras condiciones como factores internos debidos al usuario) detrás de los accidentes y ver si las propuestas mencionadas están alineadas con estas. El análisis de estas bases de datos se

llevaría a cabo mediante Python, utilizando la librería Pandas, especializada en el análisis de datos.

- 2) Estudio de exigencias técnicas y tecnología para evitar accidentes y reducir la siniestralidad en motocicletas. Se analizará el estado de la cuestión de la seguridad activa y pasiva en motocicletas, la influencia en accidentes del repartidor de frenada, los sistemas ABS, la homologación de cascos y guantes... Con la aportación de estudios sobre como estos factores pueden reducir las lesiones en los usuarios de motocicleta, incluyendo la mención a la escala de siniestralidad AIS.
- 3) La evaluación de una propuesta de valor para reducir accidentes y siniestralidad en los usuarios de motocicletas. Acompañada de reflexiones sobre las limitaciones de velocidad, el aumento de radares, el planteamiento de si una motocicleta debe ser vista como herramienta o elemento de libertad, y con ejemplos de si realmente es razonable desde el punto de vista de la seguridad del usuario una motocicleta de más de 250cc. Se valorará de igual forma el estudio económico de la propuesta o de medidas que se podrían implementar para la reducción de los accidentes.

4.3 ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)

El proyecto se encuentra alineado con diversos Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) definidos por la Agenda 2030 de las Naciones Unidas. La naturaleza del proyecto, centrada en mejorar la seguridad vial, reducir la siniestralidad y proponer soluciones sostenibles tanto tecnológicas como regulatorias, lo vincula directamente con los siguientes objetivos:

ODS 3: Salud y Bienestar: Este proyecto contribuye directamente al ODS 3 al proponer medidas basadas en datos, análisis de siniestralidad, estudios sobre seguridad activa y pasiva y la integración de tecnologías ADAS, con el fin de reducir los accidentes de tráfico que involucran motocicletas, uno de los colectivos más vulnerables en la carretera.

ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura: El proyecto incluye el análisis de la influencia de la infraestructura viaria y el estado de las carreteras en los accidentes, proponiendo mejoras tanto en diseño como en mantenimiento, así como la incorporación de tecnologías de seguridad obligatorias (como el ABS o el airbag para motoristas). Esto refuerza la innovación en seguridad vial, y la adaptación normativa para una movilidad más tecnológica y segura.

ODS 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles: El desarrollo de un plan integral de reducción de accidentes en motocicletas se vincula con este objetivo al mejorar la seguridad de uno de los medios de transporte más utilizados en entornos urbanos y periurbanos. Las propuestas del proyecto también consideran la infraestructura vial y su influencia en la siniestralidad, contribuyendo así a ciudades más seguras y sostenibles.



Ilustración 6: ODS 3, 9 y 11¹²

4.4 METODOLOGÍA

La resolución del proyecto se llevará a cabo mediante una combinación de análisis cuantitativo, revisión técnica y estudio documental. Para ello, se propone una metodología estructurada en diferentes fases, que, como ya se ha mencionado, permitirá identificar, clasificar y evaluar las

¹² Gamez, «Objetivos y metas de desarrollo sostenible».

causas más comunes de los accidentes de motocicleta en España, así como plantear propuestas de mejora técnicamente fundamentadas.

En primer lugar, se realizará una búsqueda y recopilación de bases de datos oficiales relacionadas con siniestros viales, tales como las publicadas por el Ayuntamiento de Madrid u otros ayuntamientos locales (para obtener datos más precisos y analizar más localmente ciertas tendencias si fuera necesario), el Instituto Nacional de Estadística (INE), y la Dirección General de Tráfico (DGT). Estos conjuntos de datos serán depurados y tratados utilizando técnicas de programación en Python, con el empleo de bibliotecas especializadas como pandas para la manipulación de datos, y matplotlib o seaborn para la visualización de resultados. Con el uso de esta programación se buscará podrá sesgar la información y ver tendencias y observaciones que no se podrían ver analizando la base de datos directamente o yendo a ver únicamente números de datos estadísticos. Adicionalmente, se contempla la posibilidad de realizar un estudio de lesiones basado en el sistema AIS (Abbreviated Injury Scale), lo cual permitirá clasificar la gravedad de las heridas más comunes en accidentes con motocicletas y analizar si determinadas tecnologías (como los airbags para motoristas o cascos con sistemas de absorción avanzada) podrían tener un impacto real en la reducción de daños. Se prevé la elaboración de un estudio económico preliminar asociado a un plan hipotético de implantación de medidas de seguridad activa y pasiva, evaluando el coste-beneficio de dichas medidas y su viabilidad a medio plazo. Este estudio permitirá poner en contexto las propuestas con el gasto público o privado necesario para su implementación. Y desde el punto de vista técnico, se realizará un análisis de las especificaciones y exigencias normativas de las motocicletas actuales, incluyendo aspectos como los repartidores de frenada, los sistemas ABS obligatorios para ciertas cilindradas, la homologación de cascos y guantes, y una introducción conceptual a los sistemas avanzados de asistencia a la conducción (ADAS). Se abordará también la discusión sobre si determinadas configuraciones de motocicleta pueden seguir considerándose seguras desde una perspectiva objetiva o si debiesen aplicarse medidas más restrictivas en su comercialización y uso.

Por último, se llevará a cabo un análisis cuantitativo del impacto de la motorización (tipo de vehículo, uso urbano o interurbano, potencia/cilindrada, etc.) en la siniestralidad, contrastando esta variable con la gravedad de los accidentes.

Capítulo 5. DESARROLLO DEL ANÁLISIS TÉCNICO DE DATOS Y VISUALIZACIÓN

El objetivo de este capítulo es exponer, paso a paso, el análisis cuantitativo realizado sobre dos conjuntos de datos de siniestralidad que se consideran los más completos y recientes disponibles en fuentes oficiales en la fecha de elaboración de este TFM. El principal objetivo es poder analizar causas y datos que, de normal, son difíciles de encontrar meramente por una búsqueda en internet, como causas específicas detrás de accidentes o distintas cilindradas y su influencia en accidentes. Es complicado encontrar información que justo represente lo que se quiere, y por ello se ha querido realizar un análisis de datos para representar cierta información que corrobore o amplie la visión de los accidentes a nivel nacional. Para ello, de entre todas las bases de datos disponibles, se ha optado por realizar un análisis de los datos más fiables y oficiales posibles. Por lo que tras revisar numeras bases y fuentes donde se obtenían estas, se ha optado por escoger una base de la DGT actualizada con los datos más recientes publicados. Estos corresponden a datos del año 2023, sin embargo, se ha considerado como datos suficientemente representativos y recientes como para analizarlos. Esta base de datos se ha tomado como punto de partida para analizar múltiples causas y características de los accidentes de motocicletas en España, ya que se contaban con distintas situaciones de meteorología, estado del firme, tipo de carretera, iluminación... Por otro lado, para analizar otro tipo de posibles causas en los accidentes, como puede ser el tipo de cilindrada de las motocicletas, se exploraron de nuevo nuevas fuentes de información sobre accidentes oficiales, ya que las bases de datos a nivel nacional de la DGT no contaban con esta información. Se decidió tomar los datos de alguna ciudad grande que contará con distintos tipos de vía y mucha actividad en carretera, y tras varias bases de datos revisadas se tomó la base de datos de la Comunidad de Madrid del año 2024 (datos más actualizados de la página web oficial). Con esta base de datos se observarán otras características de accidentes que no se han podido observar en la base nacional, y que como se verá son relevantes y representativas, ya que el tráfico en Madrid se puede extrapolar a otras comunidades autónomas con ciudades grandes. Por tanto, ambas fuentes de seleccionan porque:

- Cobertura y representatividad: La serie nacional ofrece la panorámica macro (todas las comunidades y tipos de vía); la serie madrileña aporta la visión micro de una gran ciudad con alta densidad motorizada.
- Actualización: A la fecha de cierre del trabajo no existen todavía los microdatos DGT-2024 ni el balance municipal 2025; por tanto, 2023 y 2024 son los años más recientes plenamente consolidados.
- Estructura compatible: Ambas bases siguen el esquema normalizado de variables de la DGT, lo que facilita la homologación y el cruce de información.

5.1 *SESGO DE LA INFORMACIÓN DE LAS BASES DE DATOS*

Antes de ejecutar el código analítico (incluido en el contenido de los anexos del trabajo, adjuntos en este TFM) se llevó a cabo un trabajo exhaustivo de:

- Filtrado de columnas: se descartan variables irrelevantes (por ejemplo, todos lo relacionado únicamente con otro tipo de vehículos) y se renombran etiquetas para uniformar criterios entre ambas fuentes. Este último punto, para el caso de la base de datos nacional de la DGT fue especialmente relevante en el caso de la base de datos a nivel nacional, la cual contaba con la información cifrada por dígitos. A continuación, se muestra cómo se visualizaba alguna información en bruto de la base de datos descargada:

SENTIDO_1F	TITULARIDAD_VIA	TIPO_VIA	TIPO_ACCIDENTE
2	3	3	12
2	3	3	4
4	4	9	2
2	3	6	5
2	3	14	19
2	2	1	12
2	3	6	5
1	3	6	16
2	5	3	15
1	3	5	19
1	5	3	12

Ilustración 7: Captura de unos pocos datos en bruto de base de datos

Este tipo de información numérica salía en todas las columnas, y para lograr entender estos números y poder realizar un código en Python que hiciera la equivalencia de los números a la información real que representaban estos dígitos, se consiguió un documento de la DGT que explicaba cada columna y lo que significaban los números para cada una de estas. El archivo en cuestión se denominaba “Diccionario Tabla Accidentes” y al igual que cada base de datos, existía uno para cada año. Con toda esta información se pudo hacer una primera limpieza de la información, pasando toda la información numérica a la información real. A continuación, se muestra una captura del código que se realizó para poder tener la información real y una captura de como quedo la información tras la ejecución de este código (cabe mencionar que se muestra en este caso parte del código como ejemplo, no obstante, se encuentra todo este en el apartado de Anexo A).

```
import pandas as pd

# Rutas de los archivos
data_path = 'C:/Users/jorge/Desktop/TFM/Bases de datos/España_2023/TABLA_ACCIDENTES_23.xlsx'
dict_path = 'C:/Users/jorge/Desktop/TFM/Bases de datos/España_2023/Diccionario_Tabla_Accidentes.xlsx'

# Cargar DataFrame principal como strings
df = pd.read_excel(data_path, dtype=str)

# Cargar Excel de diccionario
xls = pd.ExcelFile(dict_path)

# Función para mapear una columna según la hoja del diccionario
def mapear_columna(df, hoja):
    # Leer la hoja sin encabezado y tomar A y B como Valor, Etiqueta
    dicc = pd.read_excel(xls, sheet_name=hoja, header=None, dtype=str)
    # Asignar nombres a las dos primeras columnas
    dicc = dicc.iloc[1:][[0,1]].rename(columns={0:'Valor', 1:'Etiqueta'})
    # Limpiar espacios
    dicc['Valor'] = dicc['Valor'].str.strip()
    dicc['Etiqueta'] = dicc['Etiqueta'].str.strip()
    # Crear mapa
    tipo_mapa = dict(zip(dicc['Valor'], dicc['Etiqueta']))
    # Función de sustitución
    def aplicar_valor(v):
        v_str = str(v).strip()
        return tipo_mapa.get(v_str, v_str)
    # Aplicar mapeo si hay datos
    df[hoja] = df[hoja].apply(aplicar_valor)
    print(f"Columna '{hoja}' mapeada con {len(tipo_mapa)} entradas.")

# Identificar y procesar columnas a mapear
oh_list = [hoja for hoja in xls.sheet_names if hoja in df.columns]
for hoja in oh_list:
    mapear_columna(df, hoja)

# Mostrar primeras filas resultantes
display(df[oh_list].head())
```

Ilustración 8: Muestra del código de procesado de información

DIA_SEMANA	COD_PROVINCIA	COD_MUNICIPIO	ISLA	ZONA	ZONA_AGRUPADA	CARRETERA	KM	SENTIDO_1F	TITULARIDAD_VIA	...	PRIORI_OTRA
LUNES	Araba/Álava	Municipio menos de 5000 habitantes	nan	Carretera	VÍAS INTERURBANAS	A-1	357	Descendente	Provincial, Cabildo/Consell	...	Sin especificar
LUNES	Araba/Álava	01059	nan	Carretera	VÍAS INTERURBANAS	A-1	345	Descendente	Provincial, Cabildo/Consell	...	No
MARTES	Araba/Álava	Municipio menos de 5000 habitantes	nan	Calle	VÍAS URBANAS	No inventariada	0	Se desconoce	Municipal	...	No
JUEVES	Araba/Álava	Municipio menos de 5000 habitantes	nan	Carretera	VÍAS INTERURBANAS	A-124	75	Descendente	Provincial, Cabildo/Consell	...	Sin especificar
SÁBADO	Araba/Álava	Municipio menos de 5000 habitantes	nan	Carretera	VÍAS INTERURBANAS	A-124	72	Descendente	Provincial, Cabildo/Consell	...	Sin especificar

Ilustración 9: Ejemplo de información de la base de datos tras limpieza

- Tratamiento de valores faltantes: en caso de datos o valores ambiguos se realizó una limpieza de estos, y para cada gráfico o análisis que se quería realizar, se mostraban únicamente aquellos datos representativos.
- Conversión de formatos: Como se ha mencionado la conversión de datos numéricos a reales, trajo la conversión de la información a otros formatos con la que analizarla y ejecutar el código.
- Generación de vistas temáticas: subconjuntos específicos para motocicletas, vías interurbanas o condiciones climáticas se realizaban en función de cada análisis, sesgando la información.

Se recuerda que, dentro del uso de Python, cabe destacar el uso de la librería de pandas, una librería que, como se ha mencionado en otros apartados, está especializada en el análisis de datos, y de la cual se pueden utilizar funciones muy útiles para hacer lecturas de Excel o archivos similares y sesgar y limpiar información de ficheros. Como el objetivo que incumbe a este trabajo no se centra en la explicación de líneas de código, en este capítulo, no se explicará exhaustivamente como se han extraído los datos y resultados, pero sí se incluirán pequeñas explicaciones del código, en el ya mencionado anexo.

5.2 ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LA BASE DE DATOS NACIONAL DGT 2023

El conjunto DGT-2023, con más de cien mil accidentes georreferenciados y setenta y cuatro variables por registro, es la radiografía más detallada disponible de la siniestralidad real. Con esta base de datos se comienza el estudio y desarrollo de código para filtrar y posteriormente representar gráficas y visualizadores (con el uso de las librerías de matplotlib y seaborn entre otras) que se irán mostrando en este apartado (se recuerda que el código con el que se ha conseguido los gráficos que se mostrarán a continuación, se encuentra en el anexo del trabajo). Con los primeros análisis y códigos realizados con Python, se puede ver como en primer lugar, la magnitud bruta confirma que la moto sigue siendo el modo de desplazamiento con peor pronóstico (en proporción a su representación en el parque de vehículos a nivel nacional): 446 motoristas fallecieron dentro de los 30 días posteriores al siniestro (dentro de este número, 403 fueron en las 24 horas tras el accidente), a los que habría que sumar los ciclomotoristas hasta alcanzar 485 víctimas fatales (dato que efectivamente coincide con los datos oficiales de la DGT en internet). Tomando únicamente los accidentes con víctimas que involucran a motoristas fallecidos (incluyendo a todos dentro de los 30 días posteriores al siniestro), se pueden analizar las distintas causas que han sido motivo del siniestro:

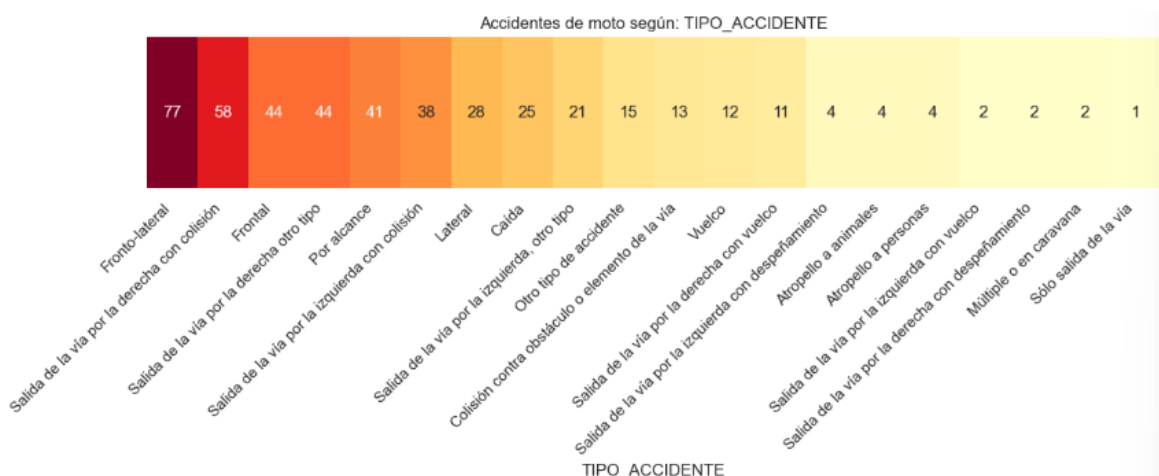


Ilustración 10: Gráfico tipo accidente a través de Python

Como se puede ver en la anterior gráfica, el tipo de accidente que provoca más víctimas en motoristas son las colisiones fronto-laterales. No obstante, hay que analizar como con la información tal cual, se dan distintas “salidas de vía” que no se encuentran agrupadas en un mismo grupo. Agrupando estas en un mismo grupo general que valore todas las salidas de vía sin atender a la causa inicial de estas (ya sea provocadas por colisión, por vuelcos o por salidas debidas a caídas), se puede llegar al número de 181 víctimas por salida de vía, lo cual se alinea con la información de que en los últimos años esta ha sido la principal causa de fallecidos en accidentes de motos. Agrupando solo los accidentes con víctimas por salida de vía obtenemos la distribución de este tipo de accidentes de forma más limpia:

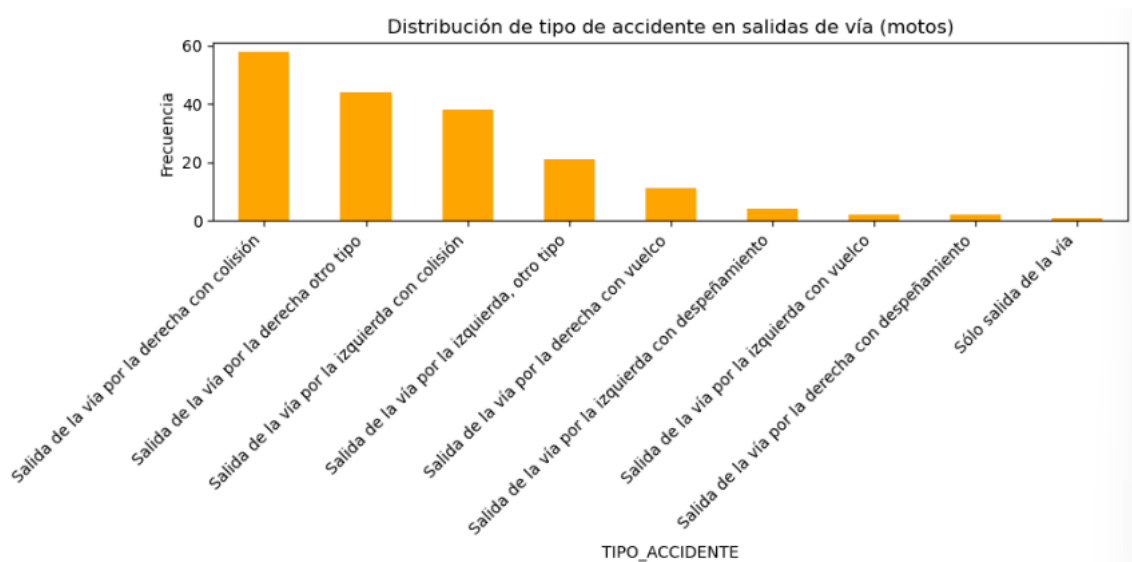


Ilustración 11: Distribución salida de vía a través de Python

Además, si combinamos la información con el tipo de accidente con víctimas más común a la hora de analizar el tipo de vía, obtenemos como la mayoría de las víctimas se dan en vías interurbanas, y en concreto en carreteras convencionales (sobre todo de calzada única).

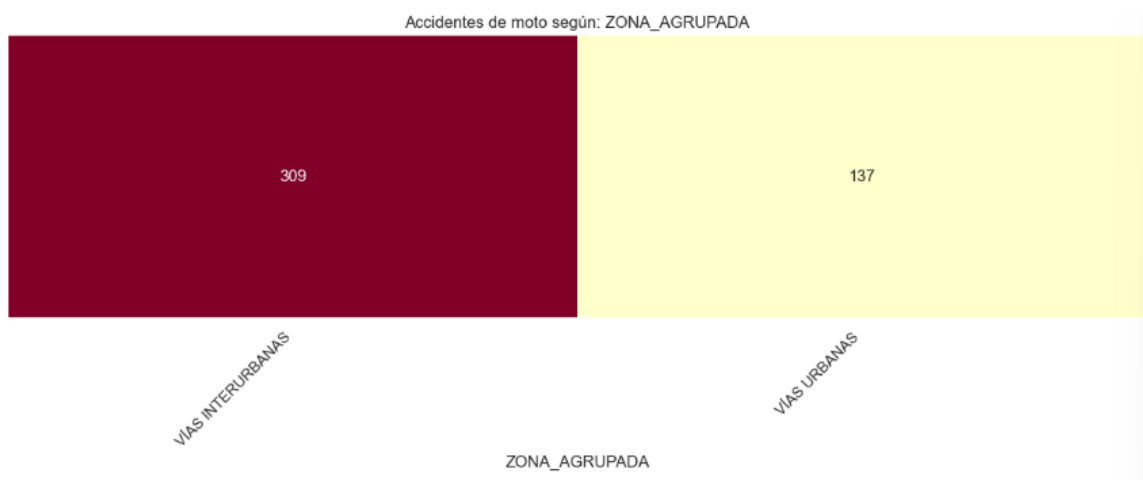


Ilustración 12: Total de accidentes según vía interurbana o urbana a través de Python

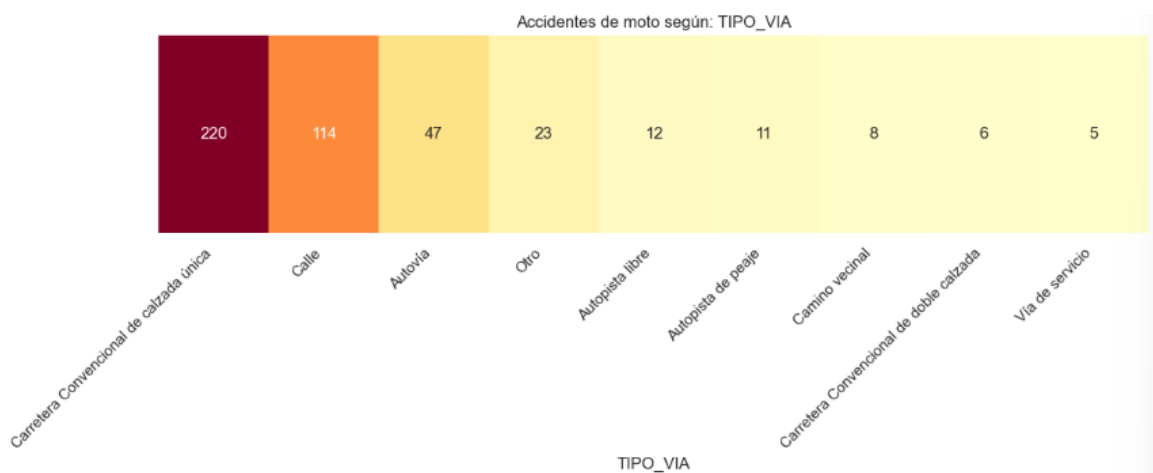


Ilustración 13: Total de accidentes según carretera a través de Python

Se puede establecer que la mayoría de los fallecidos se dan por tanto en carreteras convencionales, y que el tipo más recurrente son los accidentes por salida de vía. De hecho, esta combinación individualmente, a través del análisis y resultados con Python, muestra como también es la causa

principal de muertes en carretera para los motociclistas. Las salidas de vía, y más en carreteras convencionales (que son vías interurbanas como las autovías o autopistas, donde naturalmente se va a mayor velocidad), están ligadas a la velocidad. No existen datos concretos sobre las velocidades de estos vehículos para estos accidentes concretos, pero es muy probable que en muchos casos hubiera exceso de velocidad. Este factor incluye mucho en las caídas en general, el mínimo contacto con otro vehículo u otro obstáculo, o la inclinación excesiva (o la mala condición del asfalto), suamado a la falta de asistencia electrónica en la inclinación de la moto, son un conjunto de factores que incrementan aún más las posibilidades de accidente y muerte por salida de vía. Sin embargo, atendiendo a las medidas del plan propuesto por la DGT para reducir accidentes y víctimas, no hay registro en el plan 2024-2025 de un calendario para generalizar o implementar los sistemas Cornering-ABS (sistema que se explicará más adelante), que permiten mantener el equilibrio de la moto en frenadas, aportando una mayor estabilidad y seguridad. Sistemas como este, serían una medida que tendría un impacto real para reducir este tipo de accidentes. Además, los radares anunciados se concentran en su mayoría en autovías, cuando, como se ve, la mayoría de las víctimas están en carreteras convencionales (que pueden estar ligadas a peores estados de suelo y excesos de velocidades), y con radares más restrictivos también se podrían limitar los excesos de velocidades que involucran los accidentes relacionados con salidas de vía.

Agrupando los datos recogidos en la gráfica mostrada sobre los tipos de accidentes con víctimas involucradas, se ve como un 22% de las víctimas, se vieron involucradas en colisiones fronto-laterales (sumando las fronto-laterales y choques laterales). Este tipo de accidente, pese a que también aparece en vías interurbanas, se puede observar con frecuencia mayor en vías urbanas, donde las variables de visibilidad y detección mutua están muy presentes. Hay un cierto nivel de involucración de agentes relacionados con la prioridad. Dentro la base de datos se incluía información de las prioridades en los accidentes en las intersecciones, foco caliente de accidentes en vías urbanas. Estas prioridades trataban de si en un accidente la prioridad venía marcada por una señal, por un agente, por marcas en las vías... No obstante, en la mayoría de los casos, estaban sin especificar, y las que si estaban especificadas solo marcaban si estaban priorizadas un semáforo u otro tipo de señales en intersecciones. Además, es un registro que solo permite analizar qué tipo de señal había como prioridad, pero no existe el indicador de si la persona fallecida contaba con la prioridad en ese cruce. Por tanto, no se incluyen las gráficas obtenidas sobre estos indicadores. Volviendo al dato de las colisiones fronto-laterales, es importante mencionar, como los factores

dichos sobre visibilidad y detección, son factores que tampoco se contemplan específicamente en las campañas o en el plan de la DGT. Se verán más adelante posibles soluciones a estos accidentes, como sistemas en la moto de detección o incluso visión de ángulos muertos en motocicletas (a través del casco o de sensores en los retrovisores, como en el caso de muchos coches).

Por otro lado, dada la información relevante de la base de datos, se ha querido ver causas externas en los accidentes con víctimas de motociclistas. A continuación, se muestran gráficas extraídas con el filtrado de datos y que permiten ver las causas externas más frecuentes por distintas categorías. Estas causas externas están analizadas precisamente para el foco principal que pretende atacar la DGT, que son las salidas de vía, y que como se ha visto, engloban el mayor porcentaje de fallecidos en accidentes de motocicleta:

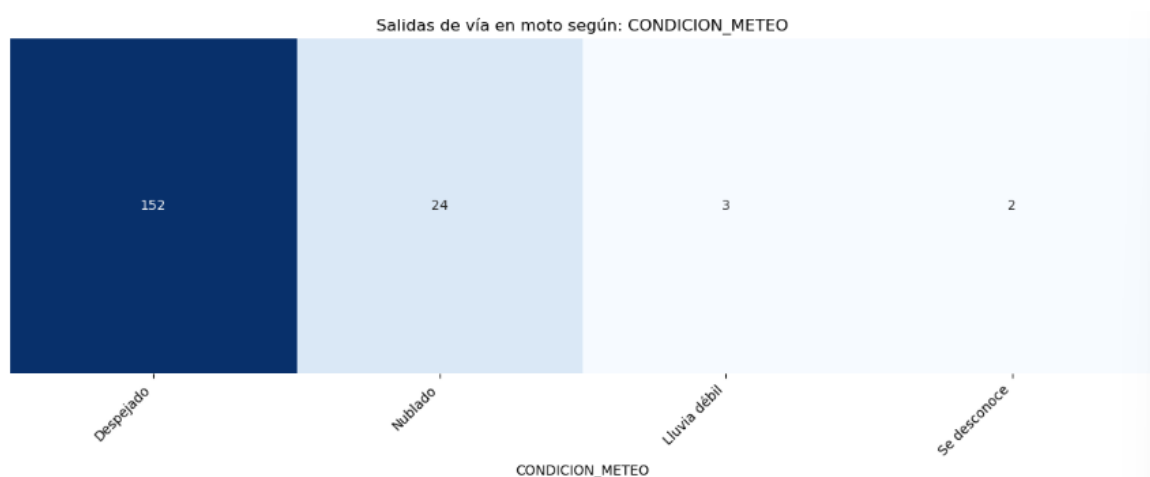


Ilustración 14: Condiciones meteorológicas a través de Python

Como se va a ir viendo, la mayoría de las víctimas mortales en los accidentes de motocicletas, ocurren en condiciones externas que a priori son óptimas, o al menos no son especialmente peligrosas. Esto es importante para analizar, pero también hay que tener en cuenta, que al final, son muchos menos días los días que hace “mal tiempo” en España, que los días que tienen condiciones óptimas para conducir, por tanto, es normal y esperable que los resultados den que hay muchos más fallecidos en condiciones “normales” que no, lo que no quiere decir, que las condiciones desfavorables aumenten la peligrosidad, porque obviamente sí que lo hacen. Lo mismo ocurrirá con el firme o asfalto, donde pese a que hay muchos tramos en malas condiciones, en su

mayoría, las carreteras están en un estado aceptable. El primer ejemplo, es ver como la gran mayoría (casi en su totalidad) de fallecidos, se dieron en accidentes donde las condiciones meteorológicas eran el estándar, con cielo despejado.

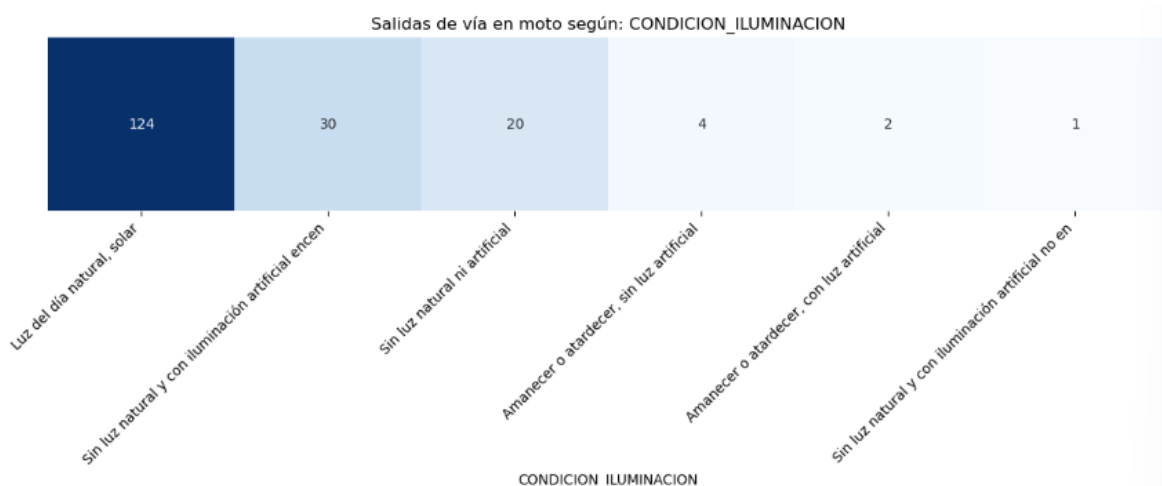


Ilustración 15: Condiciones de iluminación a través de Python

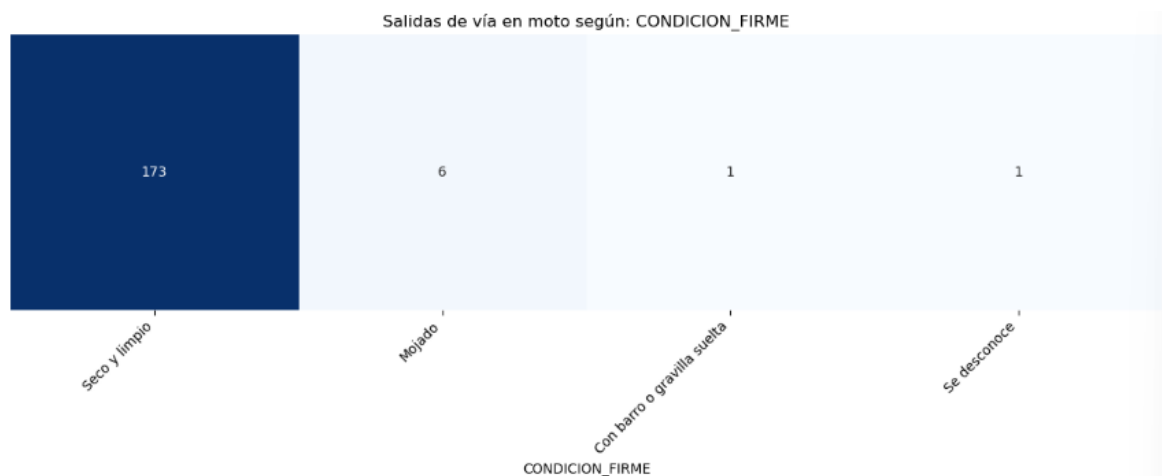


Ilustración 16: Condiciones del asfalto o firme a través de Python

Se puede analizar de igual forma, que el mayor número de víctimas se da también para luz natural de día, y con condiciones de asfalto seco y limpio. Aunque aquí sí que sobresale el dato de 20 fallecidos en condiciones de oscuridad, sin luz natural ni artificial, condiciones que suponen una alta

peligrosidad en carretera, y que son anormales, lo cual señala que hay una alta mortalidad relacionada con iluminación mala o nula.

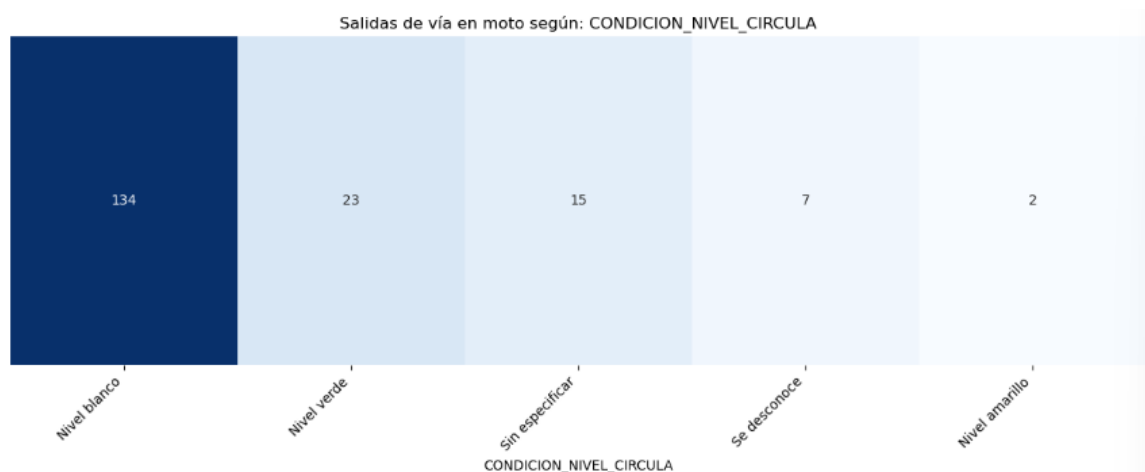


Ilustración 17: Condiciones nivel de circulación a través de Python

En cuanto a las condiciones del nivel de circulación, vemos que predomina con claridad las víctimas cuando el nivel de circulación es blanco. Este color hace referencia a una circulación fluida, sin condiciones adversas (que, como hemos mencionado son las condiciones más frecuentes, por lo que no sorprende que el número de víctimas sea con diferencia el más elevado). Existen otros colores definidos por la DGT para diferenciar los niveles de circulación.

NIVEL DE SERVICIO	CONDICIONES DE CIRCULACIÓN
BLANCO	NORMAL: Circulación fluida
VERDE	CONDICIONADA: Circulación intensa que no permite ir a la velocidad máxima de la vía.
AMARILLO	DISCONTINUA: Detenciones esporádicas.
ROJO	SATURADA: Detenciones frecuentes y prolongadas.
NEGRO	Circulación interrumpida

Ilustración 18: Niveles de circulación según la DGT¹³

¹³ Dir. Gral. Tráfico [@DGTes], «¿Sabes qué significan el nivel blanco, amarillo, negro? Indican la mayor o menor intensidad de circulación en las carreteras. <http://dgt.es/es/el-trafico/> ? <https://t.co/7l6Xp639d2>».

Pese a que el nivel blanco es mucho mayor en número, es importante apreciar como con nivel verde hay un porcentaje significativo sobre el número de víctimas totales (23 fallecidos en estas condiciones). Esto es otro indicativo de como ante situaciones donde no se puede ir a la máxima velocidad de la vía, se dan accidentes de forma frecuente (ya que como ya se ha mencionado, la mayor parte del tiempo el nivel de circulación es blanco). Es razonable achacar parte de esto a una excesiva velocidad por parte de los motoristas (aunque habrá casos de todo tipo), ya que con tráfico menos fluido los motoristas muchas veces mantienen una mayor velocidad por ser un vehículo más pequeño que puede pasar entre medias de coches que van a menos velocidad. Unas situaciones que son muy peligrosas que pueden estar detrás de algunos de estos 23 fallecidos.

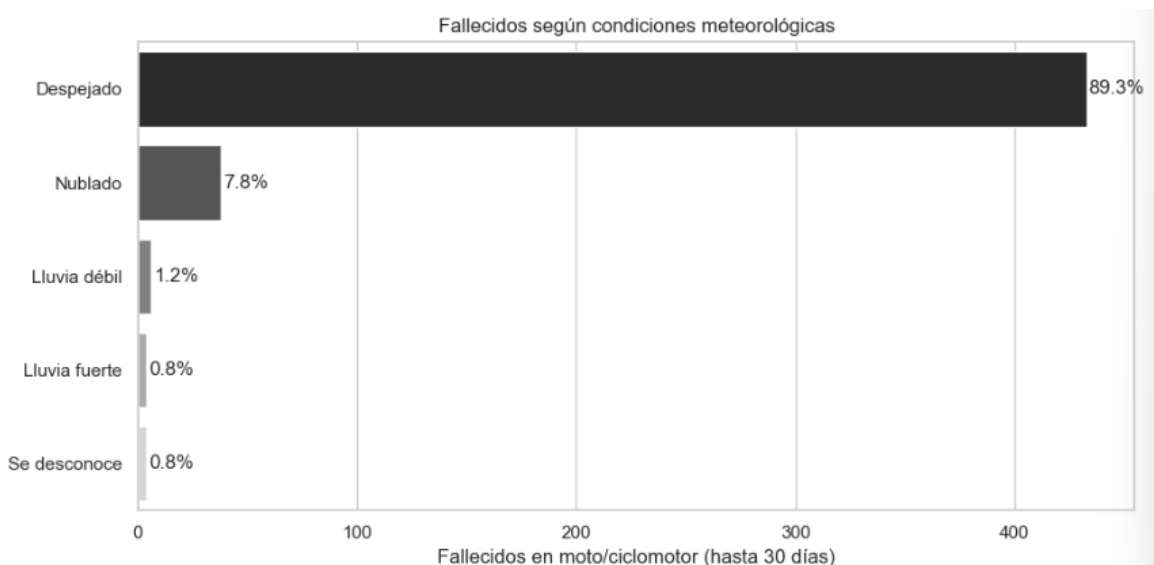
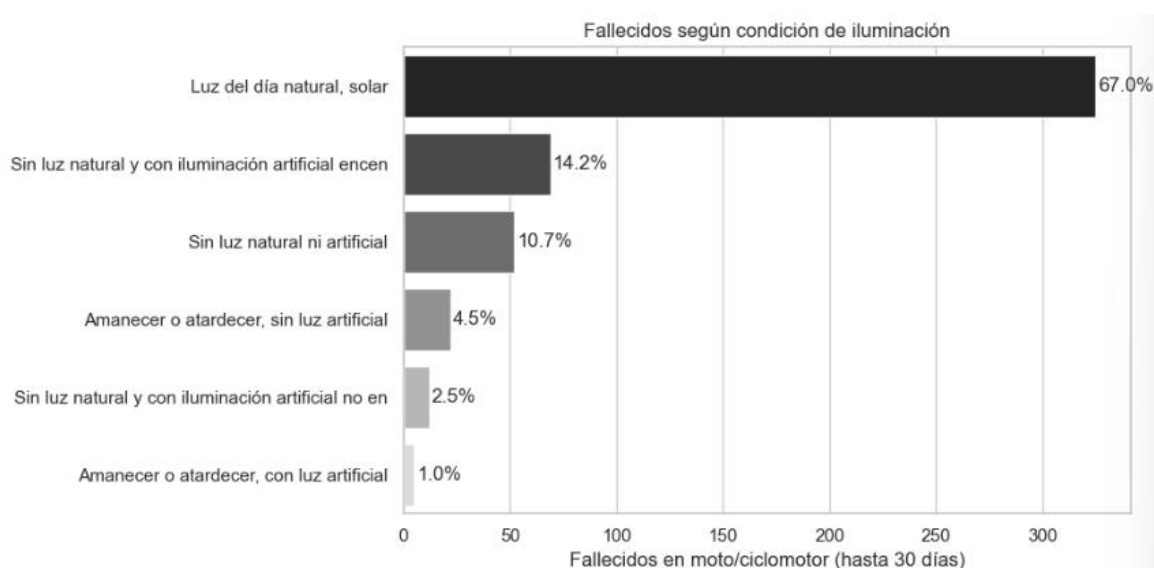


Ilustración 19: Visibilidad a través de Python

Con respecto a la visibilidad de la vía, vuelve a ser la condición con mayor número de víctimas y con diferencia, la que se correspondería con “condiciones normales”, en este caso, buena visibilidad.

Como se ha podido ver, las condiciones externas al motorista influyen directamente en este, pero lo que realmente agrava la situación en cada caso, es la velocidad. La mayoría de los fallecidos, se dan en condiciones normales, con buena visibilidad, suelo en buen estado, nivel de circulación óptimo... y esto solo puede ser reflejo de que la excesiva velocidad está detrás de muchos de estos casos. Esto es un criterio que se va a seguir de cara a la elaboración del plan propio de reducción de víctimas y accidentes, ya que atacar el exceso de velocidad es lo que realmente reducirá las víctimas y muchos accidentes.

Este estudio resulta prácticamente idéntico en porcentajes si incluimos a los ciclomotores (vehículos más frecuentes en vías urbanas debido a estar mucho más limitados en potencia y velocidad, pero que pueden circular por vías interurbanas con algunas restricciones y que igualmente pueden ir a excesivas velocidades). A continuación, se agrupan los fallecidos y porcentajes de conductores de motocicletas en general (ya sean motos o ciclos de cualquier tipo) debidos a causas externas (aunque como se ha mencionado, ligados claramente a la sobre velocidad):



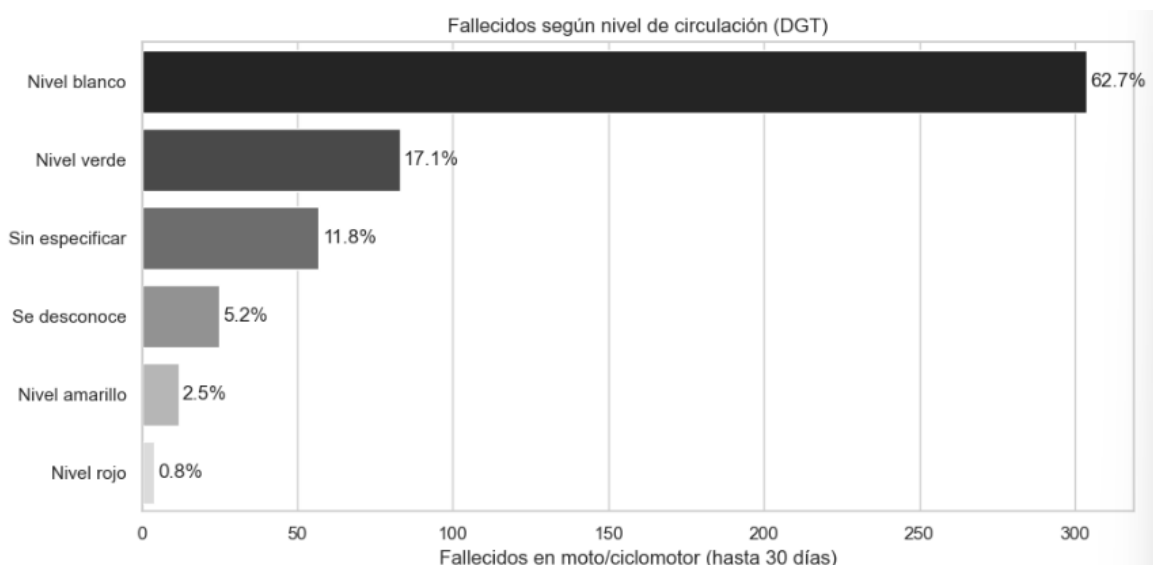


Ilustración 20: Ejemplo de gráficas sobre condiciones externas de motos y ciclos a través de Python

Individualmente es de interés realizar el análisis de cada causa, pero el estudio también se debe contemplar con el análisis conjunto de las causas en común mezcladas, para ver el tipo de causas combinadas que resultan en mayor número de víctimas. Extraído directamente del análisis realizado con Python, se puso en común las causas externas de nivel de circulación, condición del firme, condición de iluminación, condición meteorológica, condición de niebla, de viento y si había visibilidad restringida. Todas estas condiciones eran las que aparecían en la base de datos oficial de la DGT con una representación suficiente para ser evaluadas.

Los resultados que contaban con un mayor número de víctimas fueron:

Nivel circulación	Condición Firme	Condición Iluminación	Condición Meteoro	Niebla	Viento Fuerte	Visibilidad	Conteo
Blanco	Seco y limpio	Luz natural, solar	Despejado	No	No	Buena	126

Blanco	Seco y limpio	Sin luz, ni natural ni artificial	Despejado	No	No	Buena	29
Verde	Seco y limpio	Luz natural, solar	Despejado	No	No	Buena	29
Blanco	Seco y limpio	Sin luz natural y con luz artificial	Despejado	No	No	Buena	28
Blanco	Seco y limpio	Luz natural, solar	Nublado	No	No	Buena	18

Como se puede observar tan solo hay dos combinaciones en las que realmente se pueda definir el contexto o la situación como una situación con cierta peligrosidad. Estos son el segundo caso, que tienen una condición de iluminación donde no hay ni luz natural ni artificial, condiciones en las que la detección y anticipación a los peligros es muy complicada y que refleja un número considerable de víctimas. Lo mismo ocurre para el tercer caso, aunque esta vez, la condición que parece menos favorable es la de la condición de circulación, que en este caso es verde (indicando que los vehículos no pueden ir a la velocidad máxima de la vía por dificultad de circulación).

El resto de los casos, parece que son casos con condiciones favorables, o al menos, que no reflejan peligrosidad en ninguna de los factores analizados. Sin embargo, se dan la mayoría de los accidentes, ya que, como se ha mencionado, son las condiciones más habituales en las que un conductor está en carretera. Muchos de estos accidentes por tanto estarán ligados a la irresponsabilidad del conductor o a otros factores internos del conjunto vehículo conductor (ya sean fallos mecánicos o eléctricos de la moto o actitudes del motorista que el ponen en riesgo, como exceso de velocidad o cansancio). Esto solo refuerza la idea de que hay que mejorar la seguridad de los motoristas, desde limitaciones de velocidad o normativas restrictivas en potencia de motos a mayor implementación y distribución de sistemas de seguridad activa y pasiva en las motocicletas. Al final, el mayor enemigo de un conductor de algún vehículo es el exceso de

velocidad, ya que este, pone inmediatamente al conductor y a su entorno en peligro, y parece que la causas detrás de muchos de estos accidentes podría ir ligada a la velocidad.

Para ver las diferencias entre el tipo de accidente según las condiciones, se evalúo por último un registro de como cambian los accidentes en función de las condiciones mencionadas. En primer lugar, se analizó el número de víctimas en moto y ciclomotor (tras 30 días) bajo lo que se ha decidido agrupar como condiciones normales. Para analizar y agrupar las condiciones normales se muestra a continuación cuales se decidieron:

```
condiciones_normales_flexibles = (  
    (df_mc['CONDICION_FIRME'] == 'Seco y limpio') &  
    (df_mc['CONDICION_NIVEL_CIRCULA'].isin(['Nivel blanco', 'Nivel verde'])) &  
    (df_mc['CONDICION_ILUMINACION'].isin(['Luz del día natural, solar', 'Sin luz natural y con iluminación artificial encen',  
                                           'Amanecer o atardecer, con luz artificial'])) &  
    (df_mc['CONDICION_METEO'].isin(['Despejado', 'Nublado'])) &  
    (~df_mc['CONDICION_NIEBLA'].isin(['Con niebla', 'Con niebla densa'])) &  
    (~df_mc['CONDICION_VIENTO'].isin(['Con viento fuerte'])) &  
    (df_mc['VISIB_RESTRINGIDA_POR'] == 'Buena visibilidad')  
)
```

Ilustración 21: Código con el que se agrupó las condiciones normales

Como se observa en el extracto de código superior, se decide que las condiciones normales sean: Suelo seco y limpio; nivel de circulación blanco o verde; iluminación con luz del día solar o sin luz, pero con iluminación artificial encendida o en un amanecer o atardecer con luz artificial; condiciones meteorológicas de cielo despejado o nublado; que no se dé ni niebla ni niebla densa; que no se de viento fuerte y que la visibilidad sea buena. Con todos estos factores agrupados vemos la siguiente distribución porcentual de accidentes bajo las condiciones consideradas normales y en comparación con todos los casos de fallecidos en motocicleta y ciclomotor (sin tener una agrupación de salidas de vía de distintos tipos, sino teniendo la visión más general):

✓ Registros bajo condiciones normales (flexibles): 218

📊 Distribución porcentual de tipo de accidente en condiciones normales:

TIPO_ACCIDENTE

Salida de la vía por la derecha con colisión	17.89
Fronto-lateral	15.60
Salida de la vía por la izquierda con colisión	10.55
Frontal	9.63
Por alcance	7.80
Salida de la vía por la derecha otro tipo	7.80
Salida de la vía por la izquierda, otro tipo	6.88
Lateral	6.42
Caída	4.59
Colisión contra obstáculo o elemento de la vía	3.67
Salida de la vía por la derecha con vuelco	2.75
Otro tipo de accidente	1.83
Salida de la vía por la izquierda con despeñamiento	1.38
Múltiple o en caravana	0.92
Vuelco	0.46
Atropello a animales	0.46
Salida de la vía por la derecha con despeñamiento	0.46
Atropello a personas	0.46
Salida de la vía por la izquierda con vuelco	0.46

Ilustración 22: Resultados de accidentes bajo condiciones normales agrupadas

📊 Número total de accidentes de moto y ciclomotor: 476

📊 Distribución porcentual de tipo de accidente (TODOS los casos de moto y ciclomotor):

TIPO_ACCIDENTE

Fronto-lateral	17.44
Salida de la vía por la derecha con colisión	12.18
Frontal	9.87
Salida de la vía por la derecha otro tipo	9.87
Por alcance	9.24
Salida de la vía por la izquierda con colisión	8.82
Lateral	6.72
Caída	6.09
Salida de la vía por la izquierda, otro tipo	4.62
Otro tipo de accidente	3.15
Colisión contra obstáculo o elemento de la vía	2.73
Vuelco	2.73
Salida de la vía por la derecha con vuelco	2.52
Atropello a personas	0.84
Salida de la vía por la izquierda con despeñamiento	0.84
Atropello a animales	0.84
Salida de la vía por la izquierda con vuelco	0.42
Salida de la vía por la derecha con despeñamiento	0.42
Múltiple o en caravana	0.42
Sólo salida de la vía	0.21

Ilustración 23: Resultados de accidentes en general

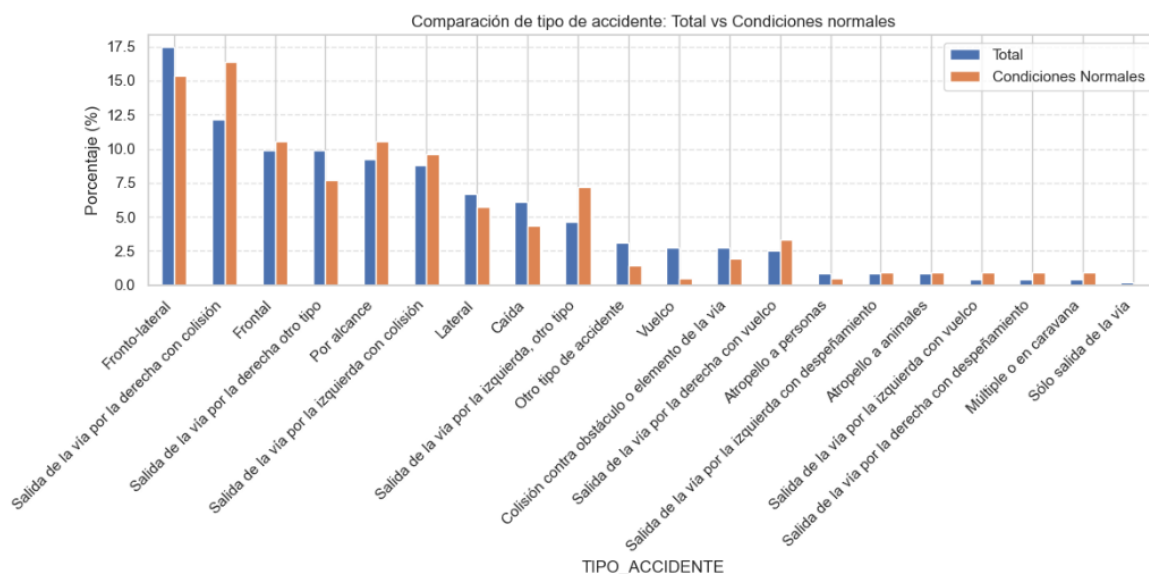


Ilustración 24: Comparación de condiciones en accidentes con fallecidos

Lo primero que cabe destacar es que el número de fallecidos por las llamadas condiciones normales, son casi la mitad del total de fallecidos en este tipo de vehículos, un porcentaje que ya se ha visto antes como se refleja en que la mayoría de las víctimas se den en combinaciones de condiciones no excesivamente peligrosas. Otro argumento que se suma a lo ya mencionado sobre la importancia de no justificar las víctimas por causas externas es analizar el porcentaje en global de salidas de vías en cada caso.

Categoría	Total (%)	Condiciones normales (%)
Salidas de vía	41.21 %	48.17 %
Frontal + lateral + fronto-lateral	34.03 %	31.65 %

Esto confirma que las salidas de vía ganan aún más peso en condiciones normales, reforzando la hipótesis de que no dependen de la climatología sino del comportamiento y diseño vial. También muestra que las colisiones cruzadas (frontal, lateral) se mantienen estables, sin depender de factores externos. En conjunto, los datos avalan una interpretación clave: la mayoría de los

accidentes graves en moto se produce en entornos aparentemente seguros desde el punto de vista meteorológico o de visibilidad. Esto refuerza la crítica de que el actual Plan de Seguridad Vial no prioriza con suficiente urgencia las intervenciones sobre las variables que realmente explican la siniestralidad: control de velocidad en curva, asistencia electrónica a la estabilidad, rediseño de intersecciones y extensión de barreras SPM en zonas de salida de vía. Las condiciones climatológicas adversas entre los siniestros graves refuerzan el argumento de que hay que hacer más que usar dinero en campañas estacionales o genéricas sobre prudencia en días de lluvia o niebla, ya que pese a que son situaciones que aumentan la peligrosidad de la circulación, no hacen que se disparen porcentajes concretos de un tipo de accidentes o alguna causa más concreta. La evidencia empírica demuestra que el riesgo está en el comportamiento del conductor y la falta de apoyo tecnológico, y no únicamente en el mal tiempo.

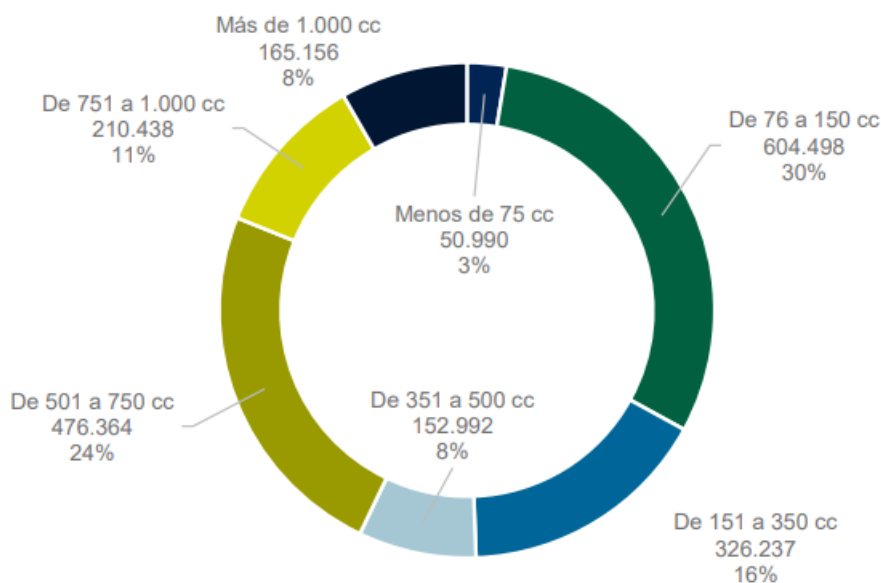
5.3 ANÁLISIS DE BASE DE DATOS MADRID 2024

Para cubrir aspectos que no ofrece la serie nacional de la DGT, se ha incorporado el registro completo de Policía Municipal de Madrid (2024), que incluye accidentes en general de motos, contando con 5.592 choques de motos y ciclomotores. Con este nuevo fichero se pueden analizar campos no explorado, en este caso concreto se van a mirar los accidentes de moto en general y no solo los fallecidos, y factores como rangos de edad o cilindrada de los vehículos accidentados. Uno de los procedimientos que se siguieron para limpiar esta base de datos, fue la agrupación de los vehículos en tres rangos de cilindrada: $\leq 50\text{cc}$ (ciclomotores), $50\text{-}125\text{cc}$ y $>125\text{cc}$. Esto se llevó a cabo para poder agrupar todos los tipos de motocicletas y ciclomotores (agrupando en ciclomotores los de dos ruedas, tanto eléctricos como no eléctricos, y los de tres ruedas, e igual con las motocicletas de dos y tres ruedas y distintas cilindradas). Con esta agrupación se obtuvo que:

Grupo de cilindrada	Accidentes
---------------------	------------

50-125cc	3311
>125cc	1808
≤50cc (Ciclomotor)	473

La mayoría de los accidentes ocurrieron para motos de 50-125cc, un grupo que cuenta con un alto porcentaje de motos dentro del parque motor español, y el grupo con menor número de accidentes son los ciclomotores de menos de 50cc, que también están en consonancia por ser el grupo con menor representación. No obstante, en su gran mayoría, las motos de mayor cilindrada son las que más predominan en España, y no se da que estas tengan el mayor número de accidentes. La distribución del parque motor de motocicletas en España se muestra a continuación:

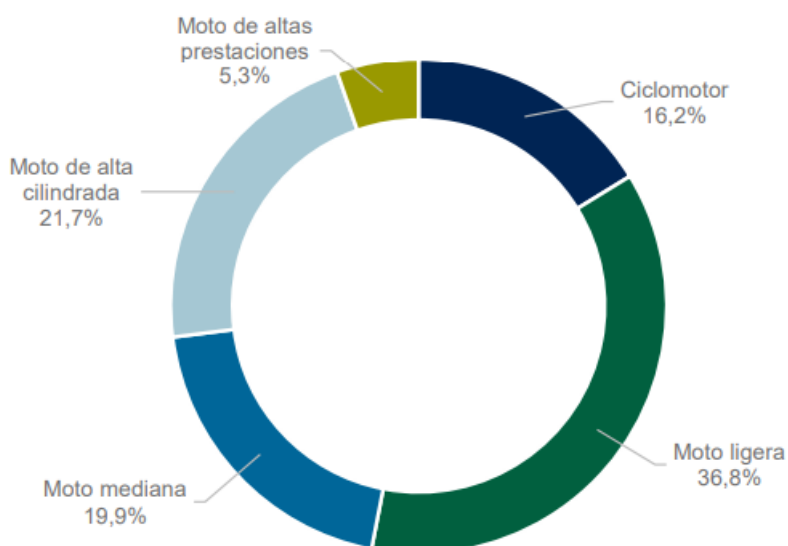


Fuente: Elaboración de Estamos Seguros con datos de la MicroESA.

Ilustración 25: Distribución de las motos por cilindrada¹⁴

¹⁴ «Nota de prensa».

No obstante, la distribución puede atender también a categorías de cilindrada y no a la cilindrada como tal:



Fuente: Elaboración de Estamos Seguros con datos de la MicroESA.

Ilustración 26: Distribución del parque motor de motos según categoría¹⁵

En cualquier caso, no sorprende que las motos de mediana cilindrada de en torno a los 100cc o más, sean las que más accidentes tienen, debido a su presencia marcadas en el parque motor (como motos ligeras).¹⁶

Con estas agrupaciones se comprobó en que rangos de cilindrada habían sido más comunes un tipo de accidentes u otros. Dentro de la base de datos, había representación de los siguientes accidentes: Alcance, atropello a animal, atropello a persona, caída, choque contra obstáculo fijo,

¹⁵ «Nota de prensa».

¹⁶ «Informe con portada_».

colisión frontal, colisión fronto-lateral, colisión lateral, colisión múltiple, otro, “solo” salida de la vía y vuelco. Con esto, se realizó el análisis obteniendo que los ciclomotores ($\leq 50\text{cc}$) sufren sobre todo caídas (45,9 %), mientras que en 50-125cc y $> 125\text{cc}$ predominan las colisiones fronto-laterales (28,1 % y 30,2 % respectivamente). El riesgo de alcance es igual en los dos grupos mayores (20,7 %) pero inferior en ciclomotores (12,5 %). Puede sorprender que las salidas de las vías no cuenten con mucha representación, pero cabe aclarar, que en este grupo solo incluyen los accidentes que suponían “solo salidas de la vía”, es decir que estas salidas no se debían a caídas o choques como en su gran mayoría se deben.

Los datos muestran que los ciclomotores de hasta 50cc afrontan fundamentalmente el riesgo de caída, con casi la mitad de sus accidentes encuadrados en este modo (45,9 %). Esto revela una vulnerabilidad ligada a la propia maniobrabilidad y estabilidad de estos vehículos ligeros en el tráfico urbano, donde las irregularidades del pavimento, las maniobras bruscas y el desequilibrio del conductor juegan un papel crítico. En consecuencia, cualquier estrategia de mejora para este segmento debería priorizar la formación específica en el control de la moto a baja velocidad y la mejora del estado del firme, así como plantear la extensión del ABS o de sistemas de frenada combinada incluso en estos modelos, hoy exentos de dicha obligación. Por su parte, las motocicletas de media (50-125cc) y alta cilindrada ($>125\text{cc}$) comparten un patrón claro: las colisiones fronto-laterales son el tipo de siniestro más habitual, afectando a más de un 28 % de los accidentes en ambos grupos. Este dato indica que el conflicto principal ya no es la pérdida de control individual, sino la interacción con el resto de la circulación, especialmente en intersecciones y cambios de carril donde la visibilidad y la anticipación son determinantes. Para estos usuarios, el plan de seguridad debe reforzar las medidas de percepción mutua y promover sistemas como la alerta de ángulo muerto, iluminación adaptativa, sistemas de frenada automática de emergencia (AEBS) para motocicletas... (muchos de estos sistemas se explicarán con mayor profundidad en el apartado que describe los elementos de seguridad y que influyen en accidentes de las motos). Finalmente, el hecho de que el riesgo de alcance se sitúe en un 20,7 % para ambos grupos de mayor cilindrada, frente a un 12,5 % en ciclomotores, subraya la necesaria diferenciación de las políticas por segmento. Se podrían priorizar la trazada en carriles segregados o el evitar cesiones de espacio inesperadas para motocicletas de baja potencia, y por otro lado, priorizar el implementar sistemas de sensores ARAS o sistemas de frenada automática para cilindradas más potentes.

En otro foco a analizar, se realizó una distribución de cilindrada en accidentes por rango de edad del conductor:

Distribución de cilindrada en accidentes por rango de edad del conductor:

grupo_cilindrada	50-125cc	>125cc	≤50cc (Ciclomotor)
rango_edad			
De 10 a 14 años	43.5	43.5	13.0
De 15 a 17 años	53.3	16.7	30.0
De 18 a 20 años	39.8	20.5	39.8
De 21 a 24 años	59.9	22.0	18.0
De 25 a 29 años	66.0	25.1	9.0
De 30 a 34 años	66.8	25.6	7.6
De 35 a 39 años	66.1	27.5	6.4
De 40 a 44 años	63.5	32.0	4.5
De 45 a 49 años	56.2	40.7	3.1
De 50 a 54 años	49.0	47.4	3.6
De 55 a 59 años	46.5	48.0	5.6
De 6 a 9 años	63.6	36.4	0.0
De 60 a 64 años	41.3	54.3	4.3
De 65 a 69 años	36.0	59.6	4.5
De 70 a 74 años	42.1	52.6	5.3
Desconocido	62.9	24.6	12.5
Menor de 5 años	100.0	0.0	0.0
Más de 74 años	39.4	57.6	3.0

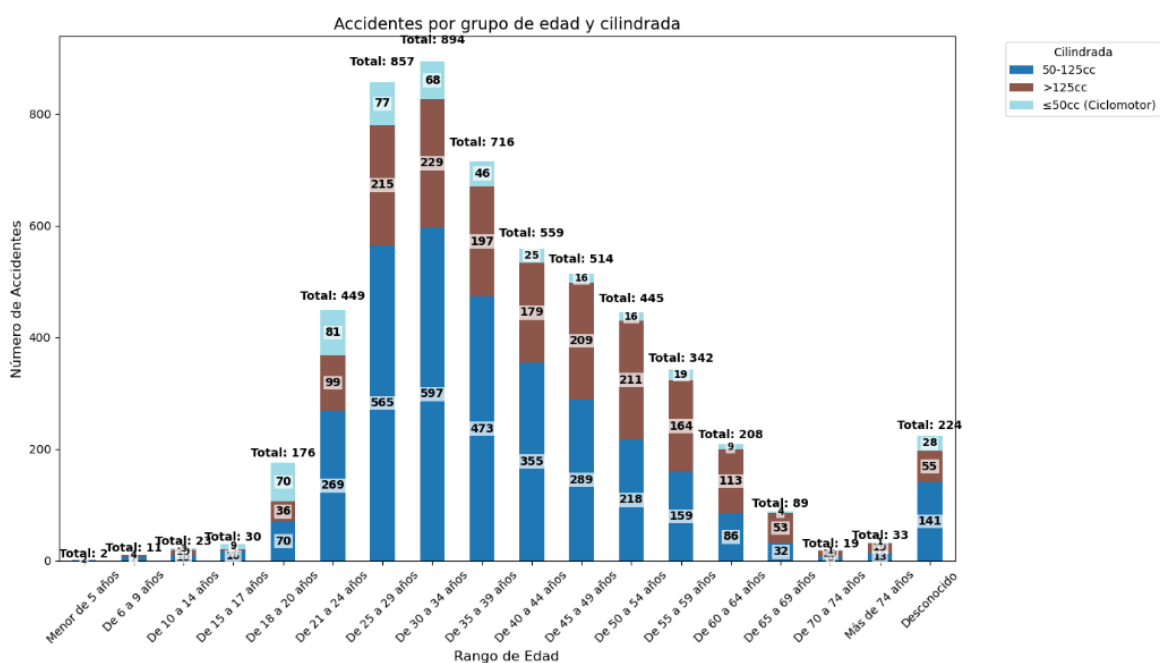


Ilustración 27: Distribución de cilindrada en accidentes por rango de edad

```

ii Conteo de víctimas en accidentes por rango de edad:
rango_edad
De 10 a 14 años      23
De 15 a 17 años      30
De 18 a 20 años     176
De 21 a 24 años     449
De 25 a 29 años     858
De 30 a 34 años     894
De 35 a 39 años     716
De 40 a 44 años     559
De 45 a 49 años     514
De 50 a 54 años     445
De 55 a 59 años     342
De 6 a 9 años        11
De 60 a 64 años     208
De 65 a 69 años      89
De 70 a 74 años      19
Desconocido          224
Menor de 5 años       2
Más de 74 años       33

```

Ilustración 28: Accidentes por rango de edad

Nuevamente, se extraen conclusiones que corroboran ideas y concepciones ya extraídas, y que se seguirán comentado en posteriores apartados. En primer lugar, el grueso absoluto de los incidentes se concentra en la franja de 25 a 34 años, alcanzando su punto máximo entre 25-29 (857 accidentes) y 30-34 (894 accidentes). Estos dos grupos suman más de 1.700 siniestros, lo que equivale a casi el 40 % del total registrado.

Dentro de este bloque poblacional, el 50-125cc domina de forma clara, representando cerca del 70 % de las motos accidentadas. Esto corrobora que la mayor parte de los desplazamientos urbanos laborales o mixtos se realiza con scooters ligeros, un segmento que debe ser prioritario en la formación específica y en la dotación de sistemas de seguridad activa (ABS, CBS), como ya se ha mencionado, más allá de las meras campañas voluntarias.

A partir de los 35-39 años, aunque siguen siendo mayoría las motos de 50-125cc, comienza a elevarse de manera progresiva la proporción de motocicletas de más de 125cc: un 25 % de los accidentes en 35-39 años, que sube al 32 % en 40-44 años, y supera el 50 % a partir de los 60-64 años. Este fenómeno señala la presencia de un colectivo senior que migra hacia cilindradas mayores, a menudo sin reciclaje formativo ni apoyo tecnológico, y que el plan actual ignora al centrar casi todas sus acciones de renovación y equipamiento en los límites de 125cc.

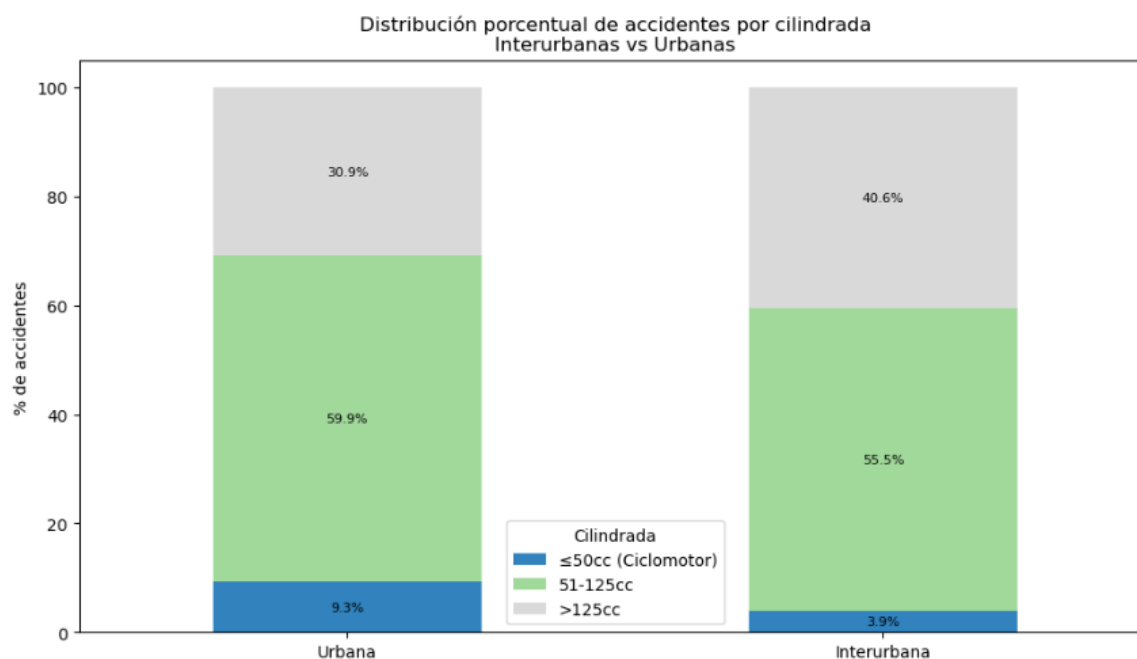


Ilustración 29: Distribución porcentual de accidentes por cilindrada y vía

La comparación entre el entorno urbano y el interurbano revela diferencias significativas en la exposición al riesgo según la cilindrada de los vehículos. En la ciudad, casi seis de cada diez siniestros involucran motos de 50-125cc, mientras que las unidades de más de 125cc representan alrededor del 31 % y los ciclomotores apenas alcanzan el 9 %. Esto evidencia que los desplazamientos cotidianos en áreas de tráfico denso están dominados por scooters ligeros, cuya vulnerabilidad en maniobras a baja velocidad y cambios de carril exige una atención prioritaria. En cambio, en vías interurbanas el peso de las motos de alta cilindrada asciende hasta el 40,6 %, reduciéndose al 55,5 % la cuota de 50-125cc y al 3,9 % la de ciclomotores.

Este trasvase de la siniestralidad hacia máquinas más potentes en carretera explica la mayor gravedad de los accidentes fuera de la ciudad y subraya la necesidad de un plan de seguridad vial con dos líneas de acción diferenciadas. En el ámbito urbano, las intervenciones deben centrarse en mejorar la seguridad activa de los scooters, extendiendo la frenada combinada y ABS adaptados a baja velocidad, reforzando la señalización de carriles y dotando a los conductores de formación práctica en maniobras de tráfico denso. Para las carreteras interurbanas, el foco ha de ponerse en exigir tecnologías de estabilidad en curva (Cornering-ABS, control de tracción), acelerar la

instalación de barreras de contención en tramos críticos y aumentar el control de velocidad en los corredores más transitados por motos de alta cilindrada. Solo una estrategia que reconozca estas diferencias contextuales podrá reducir de forma efectiva la siniestralidad de motocicletas en ambos entornos.

5.4 COMPARACIONES Y CONCLUSIONES EXTRAÍDAS DEL ANÁLISIS DE DATOS

Con en análisis de ambas bases de datos se ha pretendido ver el impacto de distintos factores sobre los accidentes, ya que en ocasiones puede resultar complicado el hecho de buscar información o datos concretos sobre accidentes de motocicletas. Previamente ya se ha comentado que se ha tratado de buscar bases lo suficientemente fiables y representativas como para incluirlas, por ello tras la búsqueda y el ver varias bases de datos, se eligieron la base de datos nacional de la DGT con la información más reciente disponible. En concreto, como se ha visto, se ha buscado analizar causas externas a los accidentes de motos, para así, sesgar la información y ver la influencia real de aspectos como la meteorología, el estado del asfalto o la visibilidad en las víctimas fallecidas en accidentes de tráfico de motos. Esto con el objetivo de poder ver el peso y responsabilidad del propio motorista o de los sistemas del vehículo en los fallecimientos ocurridos, para reforzar la toma de decisiones de cara a la elaboración del plan propio, y para analizar medidas que no ha tomado la DGT en sus planes, o que, si han tomado, pero sin efectividad real. También se ha querido ver aspectos de accidentes en general, y poder analizar por rangos de cilindrada y edad, para poder filtrar por grupos y ver cuales son los que sufren mayor número de accidentes, con el objetivo de que las propuestas sean específicas, y no medidas generales que no tengan porque aplicar a todos los motoristas. A partir de los resultados obtenidos, las comparaciones permiten graduar con más precisión la conveniencia de las medidas oficiales y, sobre todo, detectar los vacíos que todavía existen.

En números absolutos la mayor parte de los siniestros graves se registra bajo condiciones catalogadas como “normales”. Sin embargo, esa prevalencia se explica en gran medida por la

enorme diferencia de exposición: un año típico suma miles de horas de cielo despejado y asfalto seco frente a un puñado de jornadas de lluvia intensa, niebla densa o vientos fuertes. Si se homogeneizara por tiempo real de circulación, las situaciones adversas seguirían mostrando un riesgo específico elevado. Dicho de otro modo, la climatología adversa no es la causa principal del número total de muertos, pero sí actúa como multiplicador cuando se presenta. Por tanto, no es que se deban descartar las campañas estacionales sino complementarlas con intervenciones estructurales que actúen todos los días del año, especialmente sobre la velocidad y factores a mejorar con tecnología como la estabilidad del conjunto moto-conductor en curva. El fichero municipal, además, permite cruzar cilindrada con franja de edad y tipo de maniobra, revelando patrones que el plan oficial apenas menciona. La mayor frecuencia absoluta se halla en conductores de 25 a 34 años sobre scooters de 50-125cc, implicados sobre todo en cambios de carril y giros. Por contra, el riesgo relativo de siniestro grave se traslada hacia mayores de cincuenta años cuando pilotan motos de más de 125cc, segmento que ya domina los registros interurbanos y que tiende a caer en salidas de vía o colisiones fronto-laterales a velocidades más altas.

Los hallazgos ponen en entredicho la suficiencia de las tres medidas operativas que la DGT ha reservado a los motoristas en su plan 2024/2025. La ampliación de barreras con protección SPM es acertada, pero el ritmo anunciado, que apenas cubre unos centenares de kilómetros al año, resulta irrelevante frente a una siniestralidad interurbana dominada por salidas de vía: al compás actual, las carreteras convencionales seguirán décadas sin contención efectiva. Los cursos de conducción para titulares del permiso B con más de tres años de antigüedad nacen con buena intención, pero son cursos generales que carecen de obligatoriedad. La base de datos municipal muestra que el colectivo de 25 a 34 años (el más numeroso entre los accidentados) ya utiliza de forma masiva los scooters de 125cc y, sin obligatoriedad real, no parece que realmente haya gente que se apunte en programas voluntarios. Por su parte, los módulos formativos en línea, aun potencialmente útiles, no parecen tener un impacto real tampoco. En consecuencia, estas acciones burocráticamente correctas carecen del alcance y la precisión que demandan los patrones estadísticos puestos de relieve en este capítulo; su efecto previsible sobre la curva de víctimas es, cuando menos, marginal. El siguiente capítulo revisará las tecnologías de estabilidad y los sistemas de asistencia que sí pueden incidir sobre las causas principales de los siniestros y propondrá un calendario de implantación y de formación presencial obligatoria alineado con la distribución real de cilindrada, edad y entorno de uso que describen los datos.

Capítulo 6. TECNOLOGÍA Y SISTEMAS DE REDUCCIÓN DE ACCIDENTES Y MORTALIDAD

6.1 ESTUDIO TÉCNICO Y MARCO ACTUAL

6.1.1 INTRODUCCIÓN TÉCNICA Y CONTEXTUAL

En este apartado de llevará a cabo el estudio del contexto actual del motociclismo en cuanto a movilidad urbana e interurbana, incluyendo el estudio de las distintas cilindradas y distintos vehículos de dos y tres ruedas (consideras ciclomotores o motos) que existen hoy en día en el parque vehicular. El análisis parte de la base de que el comportamiento de este tipo de vehículos es sustancialmente distinto al de los vehículos de cuatro ruedas. La inestabilidad inherente, la exposición directa del conductor y la sensibilidad a las condiciones del entorno suponen riesgos específicos que deben ser abordados con medidas particulares.

Los vehículos de dos y tres ruedas motorizadas se clasifican técnicamente en función de su potencia, cilindrada, número de ruedas y tipo de uso. Esta clasificación es relevante tanto para el diseño de los elementos de seguridad como para los permisos de conducción necesarios y los patrones de siniestralidad asociados.

- **Ciclomotores:** Son vehículos de dos o tres ruedas cuya velocidad máxima por construcción no excede de 45 km/h y con un motor de cilindrada no superior a 50 cm³ (en el caso de motor de combustión interna) o con una potencia nominal continua máxima inferior o igual a 4 kW en el caso de motores eléctricos. Los ciclomotores están orientados principalmente a la movilidad urbana de corta distancia y pueden conducirse a partir de los 15 años con el permiso AM¹⁷.

¹⁷ interior, «Clases de permisos de conducir».

- **Motocicletas ligeras (hasta 125cc):** Incluyen a las motocicletas y scooters con cilindrada hasta 125cc y potencia no superior a 11 kW. Estos vehículos pueden conducirse con el permiso A1 desde los 16 años, o con el permiso B de coche con al menos tres años de antigüedad. Son muy populares en zonas urbanas y metropolitanas por su facilidad de manejo y bajo consumo¹⁸.
- **Vehículos de tres ruedas:** Aquellos que disponen de dos ruedas en el eje delantero o trasero. Existen ciclomotores de tres ruedas, motos ligeras de tres ruedas (hasta 125cc) y motocicletas pesadas de tres ruedas. Algunos modelos permiten su conducción con el permiso B, aunque requieren homologación específica y estabilidad mejorada (como el sistema de inclinación controlada "tilting"¹⁹).
- **Vehículos eléctricos equivalentes:** Con la expansión de la movilidad sostenible, muchos modelos eléctricos se homologan como ciclomotores o motocicletas según su potencia nominal continua. Aunque el motor no tiene cilindrada, la categoría se determina por la equivalencia en rendimiento. Estos vehículos pueden tener características específicas de peso, aceleración y frenada que afectan al riesgo de accidente.



Ilustración 30: Motocicleta eléctrica Rieju Nuuk²⁰

Otra forma de categorizar estos vehículos es en función de la categoría L, que incluye vehículos de menos de cuatro ruedas, las categorías L1 a L5 se refieren a motocicletas y vehículos similares, diferenciándose principalmente por el número de ruedas, cilindrada del motor y velocidad máxima:

¹⁸ «¿Qué tipos de carnés de moto hay?»

¹⁹ bettiolo.com, «QV3 | Scooter de tres ruedas.»

²⁰ formulamoto.es, «FórmulaMoto | Toda la actualidad sobre las motos».

- L1: Vehículos de dos ruedas, con una cilindrada $\leq 50\text{cc}$ (si es motor térmico) y una velocidad máxima $\leq 50\text{ km/h}$. Son típicamente ciclomotores o scooters pequeños.
- L2: Vehículos de tres ruedas, también con cilindrada $\leq 50\text{cc}$ y velocidad máxima $\leq 50\text{ km/h}$. Son triciclos ligeros.
- L3: Motocicletas de dos ruedas con cilindrada $> 50\text{cc}$ o velocidad máxima $> 50\text{ km/h}$. Aquí entran la mayoría de las motocicletas convencionales.
- L4: Motocicletas de tres ruedas asimétricas (por ejemplo, con sidecar), con cilindrada $> 50\text{cc}$ o velocidad máxima $> 50\text{ km/h}$.
- L5: Vehículos de tres ruedas simétricas (triciclos), con cilindrada $> 50\text{cc}$ o velocidad máxima $> 50\text{ km/h}$.

Cabe mencionar que los vehículos de categoría L también incluyen los cuadriciclos, en L6 los ligeros y L7 los pesados²¹.

Existiendo también las categorías Le para los equivalentes anteriores de motor eléctrico en vez de motor de combustión. A continuación, se mostrarán por categoría los distintos tipos de vehículos atendiendo a esta clasificación (incluyendo grupos eléctricos) y las subcategorías de L1 a L5 (extraída la clasificación de Anesdor²² y la Regulación (EU) 168/2013).

²¹ «ITVASA - Tarifas de vehículos».

²² «Sobre ANESDOR – Anesdor».

Subcategory	L1eA	L1eB	
Subcategory name	Powered cycle	"Speed EPAC" style of 2 wheels moped	Two-wheel moped
Example:			
Dimensions (l x a)	4000 x 1000 mm		
Propulsion	Pedaleo con asistencia de motor	Pedaleo con asistencia de motor	Motor
Max Power	1kW	4kW (5,4cv)	
Max capacity	-	-	< 50 cm ³
VMax	Electric assistance up to 25 km/h	Electric assistance up to 45 km/h	45 km/h
Mass limits	-	-	-
Number of seats (max limits)	2	2	2

Ilustración 31: Clasificación Vehículos L1

Subcategory	L2e-P	L2e-U
Subcategory name	Three-wheel moped for passenger transport	Three-wheel moped for utility purposes
Example:		
Dimensions (l x a)	4000 x 2000 mm	
Propulsion	Motor	
Max Power	4kW (5,4cv)	
Max capacity	< 50cm ³ (Gasolina) / <500cm ³ (diesel)	
VMax	45km/h	
Mass limits	<270 kg	
Number of seats (max limits)	2	2 (+ plataforma carga)

Ilustración 32: Clasificación Vehículos L2

Subcategory	L3e-A1	L3e-A2	L3e-A3	L3e-AxE	L3e-AxT
Subcategory name	Low-performance motorcycle	Medium-performance motorcycle	High-performance motorcycle	Enduro motorcycle	Trial motorcycle
Example:					
Dimensions (l x a)	4000 x 2000 mm				
Propulsion	Motor				
Max Power	11 kW (14,75cv)	35 KW (46,94cv)	-	x = 1,2,3	
Max capacity	< 125 cm3	-	-	x = 1,2,3	
VMax	-				
Mass limits	-			< 140 kg	< 100 kg
Number of seats (max limits)	2			1	

* A1 License – 16 years old

* A2 License – 18 years old

* A License – 21 years old

* A1 - A2 – A License

Ilustración 33: Clasificación Vehículos L3

Subcategory	L4e-A1	L4e-A2	L4e-A3
Subcategory name	Low-performance Motorcycle with sidecar	Medium-performance Motorcycle with sidecar	High-performance Motorcycle with sidecar
Example:			
Dimensions (l x a)	4000 x 2000 mm		
Propulsion	Motor		
Max Power	11 kW (14,75cv)	35 KW (46,94cv)	-
Max capacity	< 125 cm3	-	-
VMax	-		
Mass limits	-		
Number of seats (max limits)	2		

* A1 License – 16 years old

* A2 License – 18 years old

* A License – 21 years old

Ilustración 34: Clasificación Vehículos L4

Subcategory	L5e-A	L5e-B
Subcategory name	Tricycle	Commercial tricycle
Example:		
Dimensions (l x a)	4000 x 2000 mm	
Propulsion	Motor	
Max Power	-	
Max capacity	-	
VMax	-	
Mass limits	<1.000 kg	
Number of seats (max limits)	5	2 (+ plataforma carga)

Ilustración 35: Clasificación Vehículos L5

Por otro lado, es importante mencionar el sistema de permisos de conducción vigente en España. Este sigue las directrices europeas armonizadas, permitiendo una progresión escalonada que busca adecuar la experiencia del conductor al tipo de vehículo. Esta estructura tiene un impacto directo en el uso de las motocicletas y en la exposición al riesgo de accidente²³.

- **Permiso AM:** A partir de los 15 años, habilita la conducción de ciclomotores de hasta 50 cc o equivalentes eléctricos.
- **Permiso A1:** Desde los 16 años, para motocicletas de hasta 125 cc y 11 kW. También incluye triciclos de motor hasta esa potencia.
- **Permiso A2:** Desde los 18 años, permite motocicletas de hasta 35 kW.
- **Permiso A:** Desde los 20 años, acceso a cualquier motocicleta, pero requiere haber tenido el A2 al menos 2 años. No está permitido conducir triciclos de motor de más de 15 kW hasta los 21 años.

²³ «Conducción Motocicletas Permiso B (3años antigüedad)».

- **Permiso B:** Conductores con 3 años de antigüedad pueden conducir motos A1 (125 cc) sin examen adicional.

Esta estructura escalonada busca equilibrar la necesidad de acceso a la movilidad con la seguridad, aunque existen debates sobre su efectividad real, especialmente respecto a los conductores que acceden al A1 desde el B sin formación práctica en motocicletas.

Cabe mencionar que la motorización, expresada en cilindrada y potencia, condiciona no solo el tipo de uso que se da a la motocicleta, sino también el nivel de exposición al riesgo que asume el conductor. En términos generales, los ciclomotores (hasta 50 cc) y las motocicletas ligeras (hasta 125 cc) son utilizados mayoritariamente en entornos urbanos. Su diseño y prestaciones están adaptados a recorridos cortos, menores velocidades y alta maniobrabilidad, lo cual reduce la probabilidad de lesiones graves en caso de accidente. En contraste, las motocicletas de media y alta cilindrada se emplean habitualmente para trayectos interurbanos, turismo o actividades deportivas, lo que conlleva velocidades más elevadas y tiempos de exposición más prolongados en vías rápidas.

Según la DGT, el 70% de los fallecidos en motocicleta conducían en vías interurbanas, y además de todos los accidentes, como se ha mostrado en el gráfico de la distribución porcentual de accidentes por cilindrada en vías interurbanas (extraído del código de programación realizado sobre la base de datos de Madrid en 2023), los accidentes de motos en vías interurbanas cuentan con accidentes en los que hay motocicletas de mayor cilindrada (un 40% son de más de 125cc, y tan solo un 3.9% se corresponden a accidentes de motos de pequeña cilindrada en este tipo de vías²⁴). Estas estadísticas subrayan la correlación entre el tipo de vía, la motorización y la gravedad de los siniestros. Las velocidades alcanzadas por motocicletas de alta cilindrada pueden alcanzar los 120 km/h con facilidad, y aunque esto no supone por sí mismo una infracción, sí implica un mayor riesgo en situaciones de pérdida de control o colisión.

Respecto al tiempo de exposición, diversos estudios indican que los usuarios de motocicletas de mayor cilindrada tienden a realizar trayectos más largos y frecuentes, lo cual incrementa las

²⁴ LAS PRINCIPALES CIFRAS DE LA SINIESTRALIDAD VIAL EN ESPAÑA 2023.

probabilidades acumuladas de sufrir un accidente²⁵. Esta mayor exposición es un factor clave al evaluar el riesgo objetivo. En cuanto a la percepción del entorno, los motociclistas se enfrentan a retos añadidos. Su menor volumen y perfil transversal los hace más susceptibles a quedar ocultos en los ángulos muertos de otros vehículos, especialmente camiones y turismos en maniobras de cambio de carril o giro. Además, al carecer de una estructura cerrada, el conductor de motocicleta tiene menos capacidad para anticipar amenazas en el entorno visual lateral y trasero. Una publicación de la Insurance Institute for Highway Safety (IIHS) señala que "los vehículos de dos ruedas tienen un riesgo desproporcionado de no ser detectados por otros conductores debido a su tamaño y menor visibilidad, especialmente en intersecciones"²⁶.

Esta desventaja perceptiva agrava los riesgos ya asociados a la motorización elevada. Los datos indican que, en términos absolutos, los accidentes en los que se ven implicados ciclomotores ($\leq 50\text{cc}$) son más frecuentes en zonas urbanas, mientras que las motocicletas de media y alta cilindrada ($>125\text{cc}$) predominan en siniestros interurbanos. Esto ya sugiere un patrón de uso diferenciado según cilindrada. Sin embargo, al analizar el porcentaje de accidentes graves o con fallecidos, las motocicletas de más de 125cc concentran un número desproporcionadamente alto respecto al total de su parque. En los gráficos generados a partir de la BBDD nacional, se observa que las motocicletas de alta cilindrada están implicadas en casi el 60% de los accidentes mortales en moto, a pesar de no representar el mismo porcentaje del total de motocicletas censadas. La hipótesis de que una mayor cilindrada = mayor riesgo se refuerza, además, por el hecho de que estas motocicletas permiten una aceleración más rápida y velocidades medias más altas, lo que reduce el margen de reacción y aumenta la severidad en caso de impacto.

En conclusión, aunque no se puede establecer una causalidad directa sin un análisis multivariable que considere factores como la edad del conductor, la experiencia, el uso de casco, etc., sí se constata una correlación entre alta cilindrada y gravedad del siniestro. Este dato debe ser considerado al proponer medidas regulatorias o campañas específicas de concienciación y formación para los conductores de motocicletas de alta cilindrada.

²⁵ Elliott et al., *Motorcycle Safety: A Scoping Study*.

²⁶ «Los vehículos de dos ruedas tienen un riesgo muy alto de sufrir un accidente».

6.1.2 ELEMENTOS TÉCNICOS DE LA MOTOCICLETA

La seguridad que envuelve a un motorista no depende únicamente del comportamiento de este, de las condiciones externas climáticas o del asfalto, o del uso de equipamiento externo. Existen también factores propios de la motocicleta que a su vez están influenciados e influyen a los factores mencionados, y que pueden reducir o aumentar la seguridad del motorista. Elementos como la propia geometría de la motocicleta, el sistema de frenado, la suspensión o los neumáticos desempeñan un papel fundamental en la estabilidad, maniobrabilidad y capacidad de respuesta ante situaciones de riesgo. Comprender su funcionamiento y diseño permite identificar cómo pueden contribuir a prevenir accidentes o a reducir su gravedad.

Este apartado se centra en analizar brevemente los componentes estructurales y dinámicos de la moto, excluyendo los sistemas de protección personal o algunos sistemas de asistencia a la conducción ARAS, que serán tratados más adelante. No obstante, sí que se comentarán sistemas ARAS que estén directamente involucrados con componentes de la motocicleta como frenos o suspensiones. El objetivo es ver la base técnica que pueden tener o tienen las motocicletas actuales, pudiendo ver que sistemas o elementos pueden contribuir a la reducción de la siniestralidad desde el diseño y configuración del propio vehículo.

6.1.2.1 Dinámica de la conducción

La dinámica de una motocicleta difiere notablemente de la de un vehículo de cuatro ruedas, ya que su estabilidad depende activamente del conductor, tanto en movimiento como en detención. Es por tanto una característica que viene implícita por cómo es cada motocicleta, pero que está directamente relacionada con la forma en la que esta es conducida. Esta diferencia fundamental hace que la motocicleta se comporte como un sistema inestable a bajas velocidades y estable a velocidades medias-altas, debido al efecto giroscópico de las ruedas y al avance del tren delantero. Refiriendo el avance como la distancia horizontal entre el punto donde el eje de dirección intersecta el suelo y el punto donde el neumático delantero toca el suelo²⁷.

²⁷ «¿Qué es el avance en una moto?»



Ilustración 36: Avance Motocicleta²⁸

La complejidad de estos vehículos hace que sean menos estables y seguros, ya no solo porque el conductor vaya más descubierto que otros vehículos como los coches, sino porque hay más elementos que estos conductores deben de tener en cuenta para no tener un accidente. Las motos pueden ser vistas como modelos con hasta once grados de libertad, 3 referidos a las coordenadas de traslación (x,y,z), 3 referidos a la rotación (balanceo, cabeceo y guiñada) y 5 grados que pueden describir el movimiento relativo entre las partes de la motocicleta.

²⁸ «La geometría de la moto ¿Qué es qué? | Moto1Pro».

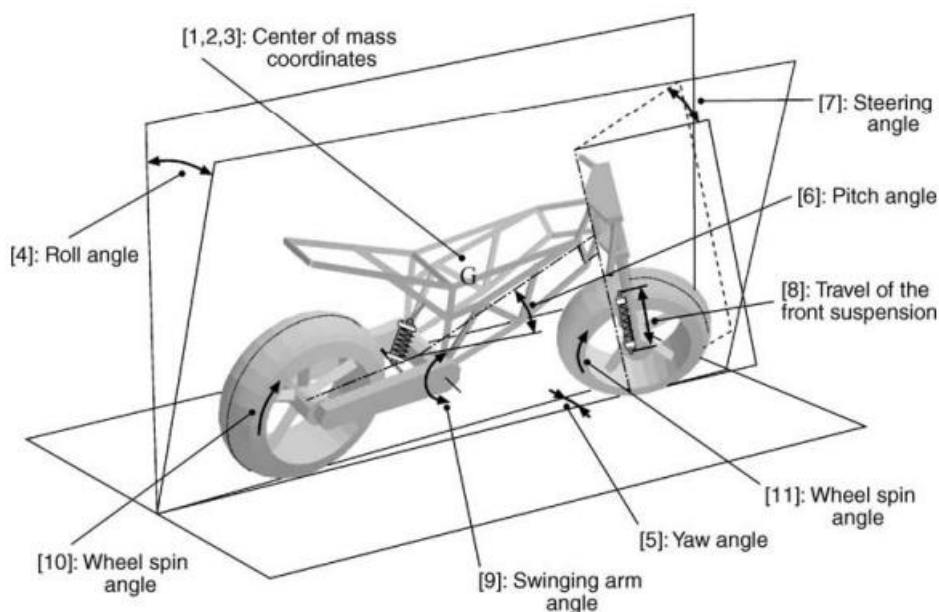


Ilustración 37: Grados de libertad de una motocicleta²⁹

Una característica esencial en la dinámica de las motos es el equilibrio dinámico, que se alcanza cuando el conjunto conductor-vehículo mantiene su trayectoria mediante ajustes constantes en la posición del manillar, el ángulo de inclinación y el reparto de masas. A diferencia de los coches, cuya estabilidad depende del centro de masas bajo y de un soporte de cuatro puntos, el motociclista debe generar estabilidad a través de contramanillar y del propio peso corporal, además, las motocicletas no son estables en reposo y solo alcanzan el estado de equilibrio dinámico a partir de cierta velocidad. Este efecto está especialmente presente en maniobras de curva. Precisamente, en las curvas, el conductor tiene una gran influencia en la dinámica de la motocicleta. Este debe inclinarse acorde al interior de la trayectoria, una inclinación que es necesaria para compensar la fuerza centrífuga, y que condiciona la tracción del neumático y superficie de contacto con el asfalto. El ángulo de inclinación es un elemento que puede suponer muchos accidentes por pérdida de adherencia con el asfalto. Como se ha visto muchos de los accidentes de motocicleta ocurridos son debidos a salidas de la vía, y la DGT también se quiere encargar de seguir incluyendo sistemas de protección ante salidas en autovías y autopistas, y una de las causas de salidas de vías, es precisamente el ángulo de inclinación, que provoca las caídas y posteriores escapes de las

²⁹ Cossalter et al., «The Modal Analysis of a Motorcycle in Straight Running and on a Curve».

carreteras. En condiciones adversas (pese a que la mayoría de los accidentes se sigan dando en condiciones normales) como lluvia o pavimento en mal estado, una inclinación excesiva puede llevar a perder tracción y a un posterior accidente. En general, a altas velocidades, pese a tener más equilibrio, inclinaciones exageradas corren el riesgo de acabar en accidente, debido a que la suspensión de la motocicleta puede no absorber correctamente las ondulaciones de la carretera y del propio vehículo, haciendo que no se disponga de una fuerza normal suficiente como para maniobrar correctamente.

En todo el proceso de equilibrio y de la dinámica en general de la motocicleta, un aspecto fundamental es la transferencia de carga, que juega un papel importante para la seguridad del conductor. Entender y manejar correctamente la transferencia de masa puede hacer que los pilotos de motos puedan optimizar su desempeño y mantener el control ante situaciones adversas o maniobras agresivas. Esta transferencia de carga hace referencia a la técnica de redistribución del peso de la moto entre ambas ruedas, con el fin de realizar correctamente aceleraciones, frenadas y trazadas de curvas, sin poner en mayor riesgo al conductor³⁰.

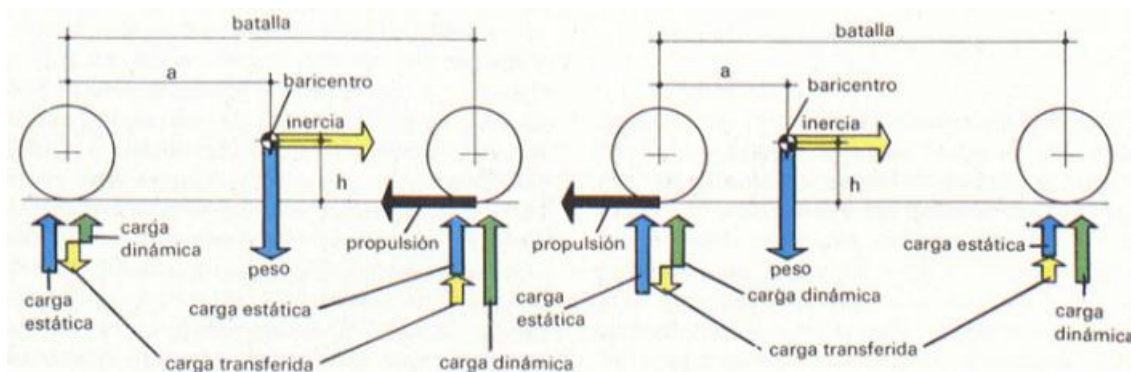


Ilustración 38: Transferencia de pesos³¹

La transferencia de carga es proporcional a la masa de la moto, la altura del centro de gravedad y la aceleración, e inversamente proporcional a la distancia entre ejes³².

³⁰ Motociclismo, «Transferencia de pesos en motos, ¿qué es y en qué consiste?»

³¹ «TRANSFERENCIA DE CARGAS - Definición - Significado».

³² «Estudio dinámico de modelo de motocicleta».

$$\Delta F = \frac{m * h * a}{L}$$

ΔF (N) = Variación de carga en la rueda delantera o trasera, que se aplica a parte de la carga estática a las ruedas como consecuencia de acelerar o frenar

m (kg) = Masa del conjunto moto + piloto

h (m) = Altura del centro de gravedad del conjunto moto + piloto

a (m/s²) = Aceleración

L (m) = Batalla de la motocicleta

Esta transferencia afecta tanto a la estabilidad como a la capacidad de frenado y aceleración. Al frenar, se produce un hundimiento del tren delantero (“pitching”), y al acelerar, un fenómeno llamado squat, que hunde la parte trasera y eleva la delantera. Estas oscilaciones afectan al agarre y pueden hacer que la rueda pierda contacto con el suelo, lo que pone en riesgo la estabilidad y control del vehículo³³. Además, fenómenos como el wobble (oscilaciones rápidas en el eje de dirección) y el weave (oscilaciones en la parte trasera del vehículo) son inestabilidades inherentes al diseño de las motocicletas. Estos se ven agravados por factores como una horquilla delantera demasiado flexible, neumáticos desequilibrados o una distribución de peso inadecuada. Para mitigar estos efectos, se recomienda reforzar la rigidez del chasis, utilizar amortiguadores de dirección y mantener adecuadamente los componentes mecánicos.

El sistema de suspensiones juega un papel crucial en este comportamiento dinámico, perder el contacto con el suelo puede resultar en un accidente en la mayoría de las ocasiones, y un exceso de carga en las suspensiones puede aumentar la probabilidad de que esto ocurra. Por tanto, la correcta regulación de la suspensión, junto con el uso de sistemas anti-squat o anti-hundimiento, permite mantener una distribución más equilibrada del peso y mejora la tracción en situaciones críticas.

³³ «Anti-Squat Geometry -».

En definitiva, la dinámica de la moto es extremadamente sensible a múltiples factores técnicos que, si no se optimizan correctamente, pueden traducirse en una mayor probabilidad de accidente. Desde el punto de vista de la seguridad vial, resulta evidente que una buena comprensión y diseño de los elementos que afectan al equilibrio, tracción y estabilidad puede contribuir de forma significativa a reducir los siniestros, especialmente en motocicletas de alta cilindrada y uso interurbano, donde las fuerzas dinámicas alcanzan valores más elevados.

6.1.2.2 Geometría del chasis y distribución de pesos

La geometría del chasis es uno de los factores estructurales más determinantes en el comportamiento dinámico de una motocicleta. Su diseño condiciona la maniobrabilidad, la estabilidad en recta, la capacidad de frenado y el reparto del peso entre los ejes, todos ellos factores que influyen directamente en la seguridad activa del vehículo. Aunque ya se ha abordado el efecto dinámico de la transferencia de masa, aquí se analiza cómo la arquitectura básica del chasis, su ángulo de dirección, la distancia entre ejes y el tipo de moto afectan al riesgo de siniestro.

Cada categoría de motocicleta (scooter, naked, trail, deportiva, touring) presenta configuraciones geométricas distintas, adaptadas a su uso previsto³⁴. Por ejemplo:

- **Scooters:** tienen un chasis tipo bastidor abierto con ruedas pequeñas y una posición de conducción muy vertical. Esta geometría facilita la maniobrabilidad a baja velocidad y en entornos urbanos, pero penaliza la estabilidad a alta velocidad o en asfalto irregular, aumentando el riesgo de caída por pérdida de adherencia o vibraciones no amortiguadas.
- **Motos naked:** presentan una estructura más robusta, generalmente con chasis tubular de acero o aluminio y una postura de conducción más inclinada hacia delante. Esto mejora el control y la distribución del peso, especialmente en trayectos urbanos o de media distancia. Su ligereza y agilidad las hacen muy versátiles, pero su menor protección aerodinámica y estabilidad frente a viento lateral las hace más vulnerables en carretera.
- **Trail y adventure:** diseñadas para uso mixto carretera-campo, con suspensiones de mayor recorrido, ruedas grandes, posición erguida y centro de gravedad más elevado. Aunque

³⁴ Clasificación de las motocicletas - CZ Revista técnica de Centro Zaragoza.

permiten buena visibilidad y confort, el mayor peso y altura del asiento dificultan el control para conductores de menor estatura o experiencia. Esta categoría registra accidentes relacionados con pérdida de equilibrio en parado o a baja velocidad, especialmente en maniobras urbanas.

- **Motos deportivas:** tienen una geometría muy agresiva, con ángulos de dirección cerrados, distancia entre ejes reducida y una postura de conducción muy inclinada hacia delante. Este diseño mejora la entrada en curva y la velocidad de reacción, pero penaliza la comodidad y la capacidad de reacción ante obstáculos imprevistos en tráfico real. Su uso en vías convencionales aumenta el riesgo si no se adapta la conducción al entorno.



Ilustración 39: Motocicleta Naked Ducati Streetfighter V4³⁵

Además del diseño, como ya se ha mencionado previamente, el centro de gravedad, ocupa un lugar crítico en la seguridad de la moto. Cuanto más bajo y centrado esté, más estable será la motocicleta, sobre todo en curvas o maniobras de emergencia. En motocicletas deportivas o de gran cilindrada, donde el peso del motor se sitúa más abajo y centrado, se optimiza la estabilidad en conducción rápida. Sin embargo, una posición del centro de gravedad excesivamente baja puede comprometer la capacidad de giro rápido, mientras que uno muy alto (como ocurre a veces en motos trail con depósitos elevados) aumenta el riesgo de vuelco.

Los accidentes vinculados a una mala distribución de pesos o una geometría no adecuada para el tipo de conducción son especialmente frecuentes entre conductores inexpertos que cambian de

³⁵ formulamoto.es, «FórmulaMoto | Toda la actualidad sobre las motos».

categoría de moto sin la preparación necesaria, lo cual es un factor importante a tener en cuenta a la hora de elaborar planes como los de la DGT, y cuestionarse si se deberían de establecerse criterios más restrictivos a la hora de adquirir motocicletas de mayor peso y geometría. Por ejemplo, un conductor habituado a un scooter que adquiere una moto deportiva sin entrenamiento previo puede encontrarse con una respuesta mucho más exigente del chasis y una distribución del peso que requiere técnicas avanzadas de control en frenada y curva.

En resumen, el diseño geométrico del chasis no solo afecta al confort o la estética, sino que incide directamente en la capacidad del conductor para evitar situaciones de riesgo. La adaptación del tipo de moto al uso previsto, la estatura del piloto y su experiencia previa son variables fundamentales que deberían considerarse tanto en la compra del vehículo como en el diseño de políticas de prevención, incluyendo incentivos a la formación específica por categoría y medidas regulatorias para restringir el acceso a ciertos modelos sin experiencia previa acreditada.

6.1.2.3 Sistema de frenos y repartidor de frenada

El sistema de frenos constituye uno de los principales elementos de seguridad activa de la motocicleta. Dado que el equilibrio, la estabilidad y la capacidad de detención de una moto dependen en gran medida del comportamiento del sistema de frenado, su diseño, funcionamiento y evolución tecnológica son claves para la prevención de accidentes, especialmente en condiciones adversas.

En motocicletas, a diferencia de los automóviles, el frenado se divide entre dos mandos independientes: uno para el freno delantero (generalmente accionado con la maneta derecha) y otro para el trasero (normalmente con el pedal derecho). Durante una frenada, la transferencia de masa hacia la rueda delantera provoca que ésta asuma un mayor porcentaje de la fuerza de frenado (hasta un 80% en algunos casos³⁶). Esta característica requiere que el piloto aplique ambos frenos de forma coordinada, lo que no siempre ocurre, especialmente en motoristas inexpertos. De hecho,

³⁶ Freno de motocicleta.

la propia Dirección General de Tráfico (DGT) advierte que uno de los errores más comunes es utilizar únicamente el freno trasero por temor a bloquear la rueda delantera, una acción que limita drásticamente la capacidad de detención.

Por otro lado, con el objetivo de simplificar el uso y reducir los errores humanos, las motocicletas ligeras (hasta 125cc) han incorporado sistemas de frenado combinado (CBS). Este sistema acciona ambos frenos simultáneamente al utilizar uno de los mandos, optimizando la distribución de la frenada. Es particularmente útil en motocicletas urbanas o scooters, donde se prioriza la facilidad de uso. Desde 2016, la normativa europea obliga a incluir CBS o ABS en todas las motos nuevas³⁷. El sistema antibloqueo de frenos (ABS) es uno de los avances más importantes en seguridad activa para motocicletas. Su función principal es evitar que las ruedas se bloqueen durante una frenada intensa, lo que podría causar pérdida de control o caída. El ABS actúa detectando el deslizamiento excesivo de las ruedas y reduciendo la presión de frenado de forma intermitente, permitiendo así que la rueda siga girando y mantenga la tracción. Este sistema es de vital importancia ya que las motocicletas equipadas con ABS presentan una reducción del 31% en la tasa de mortalidad en comparación con las que no lo tienen³⁸.

En versiones más avanzadas, como el ABS combinado (C-ABS), el sistema también distribuye automáticamente la fuerza de frenado entre ambas ruedas, dependiendo de la carga, velocidad y condiciones de adherencia. Esta tecnología suele estar presente en motocicletas de media y alta gama, y es especialmente útil en situaciones de emergencia o en superficies irregulares. Honda fue pionera en la implementación de C-ABS, integrando sensores que no solo regulan el bloqueo de ruedas, sino que equilibran dinámicamente la frenada total. En condiciones de baja adherencia o frenadas asimétricas (por ejemplo, en curva o lluvia), el C-ABS reduce el riesgo de derrape y mantiene la estabilidad de la moto. En motocicletas modernas, el repartidor de frenada electrónico forma parte del C-ABS o sistemas más complejos como el Cornering ABS, capaces de ajustar la frenada según el ángulo de inclinación de la moto. Esta adaptación dinámica reduce el riesgo de

³⁷ Moto1Pro, «ABS obligatorio a partir de 2016 y otras leyes europeas para la moto».

³⁸ Organización Mundial de la Salud, *Seguridad de los vehículos de motor de dos y tres ruedas*.

sobrecarga del eje delantero (especialmente en frenadas bruscas) y ayuda a mantener el equilibrio longitudinal. En maniobras en curva, también contribuye a evitar la desestabilización del conjunto³⁹.



Ilustración 40: Sistema ABS⁴⁰

En motocicletas sin ABS ni sistemas de reparto inteligente, el uso desequilibrado de los frenos puede provocar:

- Bloqueo de la rueda delantera (riesgo de caída inmediata).
- Derrape de la rueda trasera (pérdida de trayectoria).
- Aumento de la distancia de frenado en mojado o grava.

Por ello, la formación en técnicas de frenado y la instalación de sistemas de ayuda como ABS o C-ABS son elementos clave para reducir la siniestralidad. Además, en cuanto a la obligatoriedad y resumen de la normativa vigente, con la EURO4 se establecieron los siguientes criterios para la implementación de estos sistemas de frenada⁴¹:

1. Ciclomotores (hasta 50cc): No tienen obligación de equipar ni CBS ni ABS. Siguen utilizando sistemas de frenos convencionales.

³⁹ Ruiz, «▷▷ Honda presenta el revolucionario C-ABS Electrónico».

⁴⁰ «Government to enforce mandatory anti-lock braking system on motorcycles».

⁴¹ «Diferencias entre frenos de moto CBS y ABS - Blogs MAPFRE».

2. Motocicletas de 51cc a 125cc: Obligatorio llevar, como mínimo, un sistema de frenada combinada CBS. El fabricante puede optar por montar un ABS si lo desea, pero no está obligado.
3. Motocicletas de más de 125cc: Obligatorio llevar un sistema antibloqueo ABS.

Existen no obstante iniciativas europeas para que las motos de 125cc y los ciclomotores deban tener ABS obligatorio. La implementación universal de estos sistemas junto con una adecuada formación debe ser uno de los pilares fundamentales de cualquier estrategia moderna para la reducción de accidentes de motos

6.1.2.4 Suspensión y amortiguación

El sistema de suspensión y amortiguación en una motocicleta cumple funciones esenciales para garantizar la estabilidad, el confort de marcha y la seguridad activa del vehículo. El sistema de suspensión de una motocicleta tiene por función absorber los impactos y dar estabilidad en superficies irregulares, mientras que el amortiguador se encarga de minimizar la energía acumulada en el resorte, y es parte del sistema de suspensiones⁴². A diferencia de los automóviles, donde el peso se distribuye de forma más equilibrada entre los ejes, en las motocicletas cualquier variación en la superficie, frenado o carga tiene un impacto mucho más directo sobre el comportamiento dinámico. Por ello, el correcto funcionamiento y diseño de la suspensión es crítico para evitar accidentes derivados de pérdidas de adherencia, rebotes o desequilibrios en curva o frenada.

En las motocicletas actuales, el sistema de suspensión se divide principalmente en dos componentes:

- Suspensión delantera: está habitualmente compuesta por horquillas telescópicas, aunque existen variantes como la horquilla invertida (USD) en modelos deportivos, o sistemas alternativos como el Telelever de BMW, enfocados a lograr mayor comodidad y seguridad⁴³. Estas horquillas absorben los impactos del tren delantero y permiten mantener el contacto de la rueda con el asfalto. Las horquillas invertidas, al tener más masa

⁴² Motociclismo, «Amortiguadores y suspensiones, ¿cuáles son las diferencias?»

⁴³ «Telelever - técnica al detalle».

suspendida en la parte inferior, mejoran la rigidez y el comportamiento en curvas de alta velocidad.

- Suspensión trasera: suele utilizar basculantes con monoamortiguador central o doble amortiguador lateral, según el tipo de moto. En motos de alto rendimiento o trail, el basculante monobrazo facilita cambios rápidos de rueda y mejora la absorción de vibraciones, mientras que los sistemas progresivos de bieletas permiten adaptar el recorrido del amortiguador a la intensidad del impacto.



Ilustración 41: Suspensiones delantera y trasera⁴⁴

Las funciones fundamentales del sistema de suspensión son:

1. Absorber las irregularidades del terreno, manteniendo el confort y evitando que las vibraciones lleguen al piloto.
2. Asegurar la adherencia de las ruedas al asfalto en todo momento, lo que es crítico en frenadas y curvas.
3. Evitar el rebote o el hundimiento excesivo (conocido, como ya se ha mencionado anteriormente, como “hundimiento de horquilla” o “squat” trasero) que podría alterar el reparto de pesos y provocar pérdida de control.

⁴⁴ Galgo, «Tipos de suspensión para motos».

Un sistema de suspensión mal ajustado o deteriorado puede comprometer seriamente la seguridad: por ejemplo, un exceso de rebote puede provocar que la rueda pierda contacto con el suelo tras un bache, mientras que una compresión demasiado blanda puede hacer que el chasis se hunda y afecte al ángulo de dirección en plena curva.

Como modelo más refinado y de mayor gama, para motos de este tipo y modelos como el Trail, han surgido los sistemas de suspensión semiactiva o adaptativa, capaces de ajustar automáticamente la dureza del amortiguador en tiempo real según el tipo de conducción, carga y estado del asfalto. Marcas como BMW (con el sistema ESA - Electronic Suspension Adjustment), KTM o Ducati (Skyhook Suspension) utilizan sensores que miden la velocidad, aceleración, frenado y extensión de la suspensión para modificar la respuesta del sistema.



Ilustración 42: Sistema ESA BMW⁴⁵

Este tipo de suspensiones mejora la seguridad al:

- Reducir el riesgo de rebote o compresión excesiva en cambios de apoyo rápidos.
- Adaptar la moto a distintas condiciones (urbano, autopista, off-road) sin necesidad de ajustes manuales.
- Mejorar la estabilidad durante la frenada evitando que la suspensión delantera se hunda de forma abrupta, lo cual puede cambiar la geometría de dirección y comprometer el control.

⁴⁵ «Dynamic ESA - técnica al detalle».

En el contexto de los accidentes de motocicleta, una suspensión mal mantenida o inadecuada puede ser un factor decisivo. Una configuración excesivamente dura o inadaptada al terreno puede provocar que la rueda pierda contacto momentáneamente sobre baches en plena curva, generando un peligroso deslizamiento lateral. Por el contrario, una suspensión demasiado blanda o con un control de rebote deficiente puede inducir oscilaciones incontroladas durante fases críticas como la aceleración o el frenado, desestabilizando el conjunto de la moto. Además, en motos sin ajuste automático, una simple sobrecarga por equipaje o pasajero descompensa la geometría del chasis y altera el reparto de pesos de manera crítica. En consecuencia, el mantenimiento adecuado y la correcta configuración de la suspensión según la carga y las condiciones de la vía no son meras recomendaciones, sino acciones esenciales para mitigar el riesgo de siniestro, especialmente en trayectos largos o sobre terreno irregular⁴⁶.

En definitiva, una conclusión importante del sistema de suspensión y amortiguación es que es importante que los conductores de sus motocicletas sean conscientes de la importancia de estos sistemas. Medidas interesantes para que se hiciera un buen uso de estos sistemas podría pasar por fomentar el conocimiento sobre el ajuste y el mantenimiento de la suspensión, así como promover la instalación de sistemas inteligentes en vehículos nuevos, una línea prometedora dentro de cualquier estrategia de reducción de accidentes.

6.1.2.5 Neumáticos y contacto con el asfalto

Los neumáticos son el único punto de contacto entre la motocicleta y la carretera, y como tales, su función en la seguridad activa es crítica. El tamaño de esa zona de contacto condiciona todos los

⁴⁶ «Suspensión trasera moto: ¿Dura o blanda?»

aspectos del comportamiento dinámico: frenado, aceleración, inclinación en curva y estabilidad en recta. Por tanto, el conocimiento, mantenimiento y elección adecuada de los neumáticos representa uno de los factores más relevantes en la prevención de accidentes.

Existen diferentes clasificaciones de neumáticos dentro del mundo del motociclismo, entre ellos, basados en su tipo de construcción, dibujo y compuesto en goma en función de su uso podemos clasificar los siguientes entre otros⁴⁷:

- **Neumáticos urbanos o touring:** tienen compuestos más duros para maximizar la durabilidad y suelen presentar un dibujo más pronunciado para evacuar agua en condiciones de lluvia. Se usan en ciudad y viajes por autopista.
- **Neumáticos deportivos o slicks:** están diseñados para ofrecer el máximo agarre en seco, con compuestos blandos o intermedios que alcanzan rápidamente la temperatura de funcionamiento ideal, pero se degradan con mayor rapidez.
- **Neumáticos mixtos o trail:** combinan capacidades asfálticas y off-road, con tacos o laminados más profundos que permiten tracción en terrenos irregulares. Trabajan a baja presión.
- **Neumáticos para lluvia:** con dibujos profundos y compuestos que ofrecen adherencia a baja temperatura⁴⁸.

La elección errónea del neumático o el uso prolongado más allá de su vida útil puede alterar drásticamente la respuesta de la moto, especialmente en maniobras de emergencia. A esto también influye la presión y el mantenimiento de los mismos, como ocurre con otros vehículos. Presiones inferiores a las recomendadas aumentan el área de contacto, pero reducen la estabilidad y provocan sobrecalentamiento y desgaste irregular. Presiones demasiado altas reducen el área de apoyo y pueden producir pérdida de tracción en curva o sobre pavimento deslizante.

⁴⁷ «Tipos de neumáticos para motos -canalMOTOR».

⁴⁸ «Tipos de neumáticos: Consejo neumático de moto - Pneus Online».



Ilustración 43: Diferencia de áreas según presión de neumáticos⁴⁹

El desgaste del neumático, medido en milímetros de profundidad del dibujo, debe controlarse periódicamente. La normativa exige un mínimo de 1 mm de profundidad en $\frac{3}{4}$ de la anchura del dibujo de la banda de rodadura para motos de más de 50cc, y para motos de menor cilindrada, se exige que los surcos del dibujo original de la banda de rodadura sea visibles⁵⁰.

En condiciones de frenada de emergencia o en superficies deslizantes, la calidad y estado de los neumáticos puede marcar la diferencia entre detenerse a tiempo o sufrir un accidente. Un buen neumático, en correcto estado y con presión adecuada, optimiza la respuesta del sistema de frenos y mejora el control direccional, especialmente en motos que no cuentan con sistemas como ABS. En motos sin estos sistemas de seguridad, la frenada brusca con neumáticos fríos o en mal estado puede provocar un bloqueo de rueda, lo que a menudo resulta en caída por deslizamiento lateral (que como se ha visto es una de las principales causas de muertes en accidentes de motocicletas). Aquí es donde los sistemas como el ABS y el Control de Tracción (TCS), que se definirá más adelante, adquieren especial relevancia, permitiendo mantener el agarre aún en condiciones comprometidas.

⁴⁹ «Medida y presión de los neumáticos».

⁵⁰ «Profundidad del dibujo de los neumáticos de moto: ¿cuál es el límite legal? | MICHELIN».

En el análisis de siniestros, múltiples informes concluyen que una parte significativa de las caídas en motocicleta, especialmente en curva o sobre mojado, están relacionadas con una pérdida de adherencia provocada por neumáticos en mal estado, presión incorrecta o temperatura inadecuada.

La importancia de los neumáticos en la seguridad del motorista no puede subestimarse. Desde su tipo hasta su mantenimiento, cada aspecto influye directamente en la capacidad de la moto para reaccionar ante situaciones imprevistas. Las campañas de concienciación, así como el uso de sensores de presión y desgaste en modelos modernos, son pasos necesarios hacia una conducción más segura. Incorporar revisiones obligatorias específicas para neumáticos en motocicletas, así como fomentar la formación sobre su influencia en el manejo, podrían tener un impacto tangible en la reducción de accidentes.

6.1.2.6 Transmisión

La transmisión en una motocicleta es el conjunto de elementos encargados de transferir la potencia generada por el motor a la rueda trasera, permitiendo el movimiento del vehículo. Si bien suele pasar desapercibida para muchos usuarios, la transmisión tiene implicaciones importantes en la dinámica del vehículo, el mantenimiento y, en consecuencia, en la seguridad vial. Los sistemas de transmisión más habituales en las motocicletas modernas son tres: cadena, correa (o banda dentada) y cardán (eje de transmisión). Cada uno presenta ventajas y desventajas desde el punto de vista técnico y de la seguridad.

1. Transmisión por cadena: Es el sistema más común, especialmente en motocicletas deportivas y de cilindrada media-alta. Consiste en una cadena metálica que conecta el piñón del motor con la corona de la rueda trasera. Entre sus ventajas se encuentran la eficiencia en la transferencia de potencia y la capacidad de soportar altos niveles de par motor. Sin embargo, requiere un mantenimiento frecuente: debe limpiarse, lubricarse y tensarse periódicamente. El descuido de estos cuidados puede generar riesgos serios como pérdida de tracción, bloqueos o incluso la rotura

de la cadena, lo cual en algunos casos extremos ha derivado en accidentes por enganche o pérdida repentina de control⁵¹.

2. Transmisión por correa dentada: Es utilizada en muchas motocicletas de tipo custom, scooters de alta gama y algunas motos urbanas. Sustituye la cadena por una correa de goma reforzada con fibras sintéticas. Su principal ventaja es que requiere mucho menos mantenimiento que la cadena y es más silenciosa. Además, al no necesitar lubricación, resulta más limpia. Desde el punto de vista de la seguridad, la correa es menos propensa a fallos bruscos por desgaste y tiene un comportamiento más progresivo en caso de deterioro. Sin embargo, no es tan resistente a cargas extremas, por lo que no se suele utilizar en motos de gran potencia o uso deportivo.

3. Transmisión por cardán: Este sistema, también conocido como eje de transmisión, se encuentra habitualmente en motos de turismo o gran cilindrada como algunas BMW, Honda o Yamaha. Funciona de manera similar a la transmisión de un automóvil, con un eje giratorio que transmite el movimiento desde el motor a la rueda trasera a través de un sistema de engranajes. El cardán destaca por su durabilidad y bajo mantenimiento, lo que lo convierte en una opción segura y fiable para largas distancias⁵². No obstante, la transmisión por cardán añade un peso considerable a la moto, afectando la suspensión trasera por tratarse de masa no suspendida. Además, provoca una pérdida de potencia estimada en torno al 10% por fricciones internas, y puede alterar el comportamiento dinámico en aceleraciones o frenadas. También encarece significativamente el coste del vehículo⁵³.

⁵¹ «Los tipos de transmisión de moto -canalMOTOR».

⁵² Grup, «Cardan de la moto».

⁵³ Loïc, «Motorcycle Final Drive».



Ilustración 44: Transmisión por Cardán⁵⁴

Al igual que lo ya visto en anteriores sistemas, la elección del sistema de transmisión influye directamente en el comportamiento del vehículo, especialmente en maniobras de aceleración o frenado en condiciones adversas. Por ejemplo, una cadena demasiado floja o sucia puede generar saltos o tirones que desestabilicen la moto, especialmente al circular en curva o sobre superficies deslizantes. Asimismo, la falta de mantenimiento puede provocar fallos que, en circulación, se traducen en pérdidas de control con consecuencias graves. Por tanto, aunque no se trate de un sistema electrónico de seguridad activa, el estado del sistema de transmisión es clave en la prevención de accidentes, y su supervisión debe formar parte de las estrategias educativas y preventivas orientadas a los motoristas. Además, algunos fallos mecánicos en la transmisión, aunque poco frecuentes, pueden derivar en bloqueos de la rueda trasera o pérdida repentina de tracción, situaciones que, como ya se ha mencionado, requieren una alta destreza por parte del conductor para ser gestionadas sin incidente. Esto refuerza la importancia de combinar un sistema de transmisión fiable con formación específica sobre mantenimiento preventivo y respuesta ante fallos mecánicos.

⁵⁴ «Todo sobre la transmisión por cardán en una motocicleta».

6.1.2.7 Ergonomía y control

Aunque la ergonomía suele asociarse a la comodidad del usuario, en el caso de las motocicletas tiene una implicación directa en la seguridad activa del conductor. La posición de conducción, el diseño de los elementos de control y la interacción del cuerpo del motorista con la moto afectan al equilibrio, a la capacidad de respuesta en situaciones de emergencia y a la fatiga, todos ellos factores que inciden directamente en la siniestralidad. El triángulo que forman manillar, asiento y estribas puede definir el comportamiento ergonómico de cada motocicleta. Si este no se ajusta adecuadamente a la anatomía del conductor, puede generar molestias, fatiga muscular o una distribución inadecuada del peso corporal, factores que incrementan la probabilidad de error humano en trayectos largos o exigentes.

También hay que considerar la altura del centro de gravedad, que ya se ha visto la importancia del mismo, pero también tiene relevancia desde el punto de vista ergonómico. Las motos con asiento más bajo y peso centrado permiten una conducción más intuitiva y segura, especialmente para motoristas noveles o de menor envergadura física. La accesibilidad del vehículo tiene una correlación directa con su manejo, y por tanto, con la prevención de accidentes.

Por último, los mandos accesibles y bien posicionados (como freno, embrague, intermitentes o claxon) contribuyen a que el conductor no desvíe la atención de la carretera. Una mala disposición de estos elementos o una respuesta imprecisa puede suponer una pérdida de tiempo crítico en situaciones de riesgo. En conclusión, una ergonomía adecuada no es solo una cuestión de confort, sino un elemento técnico clave para la seguridad.

6.2 SISTEMAS DE SEGURIDAD PASIVA

Si bien gran parte de la siniestralidad en vehículos de dos ruedas puede atribuirse a factores activos como el control del vehículo, la adherencia o la percepción del entorno, una proporción significativa de las lesiones graves o mortales está directamente relacionada con la ausencia o deficiente funcionamiento de elementos de seguridad pasiva. Por seguridad pasiva, aunque ya se ha definido en apartados previos, se recuerda que son aquellos dispositivos o tecnologías diseñados para mitigar las consecuencias del accidente una vez que este ya se ha producido, a diferencia de los sistemas activos, que buscan evitar el siniestro. En el caso de los motociclistas, esta línea divisoria

es especialmente crítica, ya que, a diferencia de los ocupantes de vehículos cerrados, los usuarios de motos y ciclomotores no disponen de carrocería, cinturones ni estructuras deformables que absorban la energía del impacto.

En esta sección se abordarán, por tanto, los sistemas de protección personal como cascos, guantes, chaquetas o espalderas, los distintos tipos de airbag para motoristas y su grado de implantación, así como algunos elementos físicos de la motocicleta orientados a reducir los daños en caso de caída, como los sliders o defensas laterales. Se prestará especial atención a la normativa, los niveles de protección certificados y la evidencia empírica disponible sobre la efectividad de estos sistemas en la reducción de la lesividad. Este análisis técnico no solo tiene valor descriptivo, sino que permitirá evaluar hasta qué punto la promoción, obligatoriedad o mejora de estos dispositivos debería formar parte de nuevas estrategias de reducción de la siniestralidad en motocicletas, alineadas con las directrices europeas de seguridad vial.

6.2.1 SISTEMAS DE PROTECCIÓN PERSONALES

El primer tema que tratar son los sistemas de protección personales, aquellos que el propio conductor lleva puestos como medida de seguridad pasiva para reducir las consecuencias de los accidentes. Este tipo de protecciones están reguladas, y se van aplicando distintas normativas con el paso de los años. Es uno de los puntos críticos en el estudio de planes de reducción de víctimas, ya que con la obligatoriedad de algunos de estos sistemas se pudieron reducir el número de fallecidos. No obstante, como se verá más adelante, no todos los sistemas valen por igual, es necesario llevar aquellos que son homologados por ley y que cuentan con el mínimo de protección necesario. Se explorará también la idea de si las normativas actuales están obsoletas en cuanto a la tecnología de protección del motorista, y si se debieran volver más restrictivas con la posibilidad de implantar como obligatorios sistemas más efectivos.

En primer lugar, se tiene como sistema de protección para el motorista, el casco. El casco es el principal elemento de protección pasiva para motoristas y ciclomotoristas, y su uso ha demostrado reducir significativamente la mortalidad y la gravedad de las lesiones craneoencefálicas en caso de accidente. En España, la obligatoriedad de este paso por dos etapas, una primera en 1982 donde se implantó su uso obligatorio para motos superiores a 125cc, en vías interurbanas. No obstante, no fue hasta 1992, año clave en la implementación de sistemas de seguridad para las motocicletas,

su uso se volvió obligatorio para todos los ocupantes de vehículos de dos ruedas a motor, en cualquier tipo de vía⁵⁵. Esta obligatoriedad ha sido clave para reducir las muertes por traumatismos craneales en siniestros de moto.

Sin embargo, como ya se ha mencionado, no basta con llevar un casco, sino que este debe ser legal y cumplir unos estándares de seguridad. España, como los demás miembros de la Unión Europea, adopta el estándar europeo. Este estándar es conocido como UNECE R22:

- **UNECE R22:** Esta norma regula las características técnicas y las pruebas de seguridad de los cascos a nivel europeo. El nombre proviene de que es el reglamento número 22 de la Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas. Un casco homologado bajo esta norma es válido para los países europeos y en más de 50 países adheridos al acuerdo. La homologación viene identificada con una etiqueta, a la cual, le sigue una “E” con un número, correspondiente al país (E9 para España) y versión de la norma.

Bajo esta normativa, la primera certificación de casco se introdujo en 1982, certificación denominada ECE 22.02, no obstante, esta certificación ya no se adecua a los estándares de seguridad actuales. Las certificaciones y homologaciones fueron avanzando hasta llegar a la ECE 22.05, que ha sido durante 20 años el estándar en la homologación de los cascos para más de 50 países. Para cumplir y homologar un casco son necesarios unos ensayos y realizar unos prototipos para ser tratados y ver si se cumplen con los estándares, después los cascos de cualificación previo a ser comercializados y al final se realiza una fase de conformidad para comprobar la calidad del modelo homologado⁵⁶.

Las pruebas que se realizan prueban la resistencia del casco ante diversas pruebas sobre cada parte del casco y visera. Se evalúan según la amortiguación de golpes, el ángulo de visión, la resistencia a la abrasión, la deformidad con el impacto, la calidad de la pantalla, el sistema de retención y el ángulo de apertura de la pantalla entre otros. Esta certificación ECE 22.05 fue sustituida en 2022

⁵⁵ Motociclismo, «Norma del casco obligatorio».

⁵⁶ Blog, «Homologación ECE 22-05».

por la actual ECE 22.06, que entró en vigor para todos aquellos cascos de motos fabricados y comercializados a partir de ese año.

Esta actualización de la homologación buscaba ampliar las debilidades del certificado anterior, como el número de puntos de impacto que se ensayaban en los simulacros (pasando de 6 a 18 puntos), e intentado buscar criterios más restrictivos que pudieran asegurar la seguridad de cualquier casco homologado en la actualidad. En general también se llevaron a cabo ensayos a diferentes velocidades y alturas para tener más datos de referencia para cada casco.



Ilustración 45: Certificado ECE 22.06⁵⁷

En la actualidad es este certificado el que cuenta con una serie de mejoras significativas y más ventaja en cuanto a pruebas rigurosas, con respecto a otros tipos de normativas de homologación de cascos. Es por ello, que es clave que los cascos cumplan con esta normativa, ya que es la actual forma más segura de proteger al motorista de los impactos en la cabeza⁵⁸.

Para identificar la correcta homologación del casco, hay que fijarse en la etiqueta del mismo:

⁵⁷ Blog, «ECE 22.06. NUEVA HOMOLOGACIÓN ¿La necesito?»

⁵⁸ «Certificación ECE 22.05 y la diferencia entre los cascos aprobados por ECE».



ETIQUETA HOMOLOGACIÓN CASCO

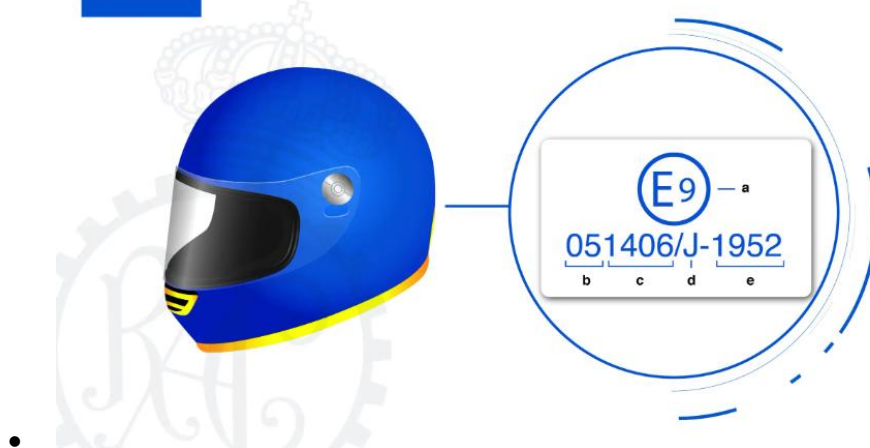


Ilustración 46: Homologación Cascos en España⁵⁹

- a) Letra y número: E9, referido a Europa y el caso concreto de España
- b) Es el número de la norma actual que este vigente, actualmente, ya se ha implementado la normativa ECE 06.
- c) Hace referencia al número de homologación del casco.
- d) Tipo de seguridad del casco (P: cascos integrales, la más segura; NP: cascos modulares; J: cascos jet, menos seguros).
- e) Número de serie, que permite consultar a que pruebas ha sido sometido el casco.

Las sanciones en España pueden alcanzar los 200€ por no llevar casco, llevarlo mal abrochado o llevar un casco no homologado. Por ello es importante utilizar la homologación ECE R22 con su correspondiente versión actual (ECE 06), ya que otras homologaciones como la DOT (normativa americana), a nivel legal, no se puede utilizar en España.

Pese a ser una de las certificaciones más estrictas, hay críticos no convencidos por esta norma, por no incluir prueba de penetración y ser probado el casco siempre en los mismos puntos de impacto. En relación al plan de reducción de accidentes, al fin y al cabo, las homologaciones de cascos están a la orden del día en España con respecto al modelo de las naciones unidas, por seguir la misma

⁵⁹ RACE, *Homologación de cascos* / RACE.

certificación, no obstante, en esta certificación actual se quedan fuera nuevas tecnologías innovadoras que igual es interesante revisar para aumentar la seguridad. El mercado ha incorporado en los últimos años innovaciones como los sistemas de visera antivaho (Pinlock), mecanismos de extracción rápida en caso de accidente (sistemas EQRS), y mejoras en la ventilación o en la reducción de ruido. Otro de los casos interesantes puede ser la tecnología mostrada por Intelligent Cranium Helmets (ICH) en el CES 2025. Esta tecnología se basa en un casco que consta de sistemas de IA, radares y cámaras integrados al mismo, lo cual permite proyectar imágenes e información. Son cascos capaces de visualizar puntos muertos, e incluso están algunos equipados con viseras fotocromáticas, y gracias a sus cámaras se puede recoger información útil y ayuda en la geolocalización del motorista. Esto solo nos muestra que hay en la actualidad tecnología realmente interesante que se está desarrollando e incluso implementando como el caso de los modelos iC-R, presentados por la compañía ICH antes mencionada⁶⁰. Por ello, un hecho interesante que debería de plantearse es si es necesario incorporar un mínimo de tecnología como esta, que pueda ser verdaderamente útil en la seguridad del motorista, evitando accidentes o reduciendo la mortalidad de estos, ampliando así la homologación e implementando una nueva certificación o una normativa innovadora a nivel nacional.

Además, la concienciación sobre el uso correcto del casco, sumada a controles más estrictos y campañas informativas, continúa siendo una medida prioritaria en los planes de reducción de la siniestralidad. En este sentido, la DGT y asociaciones como ANESDOR han promovido recientemente campañas orientadas a jóvenes usuarios de ciclomotor, donde el uso incorrecto del casco continúa siendo un problema.

Por otro lado, a parte del casco, otros elementos de protección personal juegan un papel clave en la mitigación de lesiones durante un accidente en motocicleta. Aunque el uso de algunos de estos elementos como las espalderas o chaquetas no es obligatorio en España (con la excepción del casco y desde 2024 de los guantes, que es obligatorio su uso al conducir en todo tipo de carreteras, aunque es una medida, que a día de hoy no parece estar del todo vigente, es en este año 2025 cuando deberían terminar de implantarse), cada vez es más reconocido su valor por instituciones como la Dirección General de Tráfico (DGT) y asociaciones de seguridad vial. Precisamente, este

⁶⁰ «El futuro ya está aquí: el casco con inteligencia artificial y radar que redefine la seguridad vial».

será otro punto que tratar como parte del plan de acción en la reducción de accidentes, ya que la obligatoriedad de otros sistemas aparte de cascos y guantes, como chaquetas o espalderas, podrían resultar en accidentes menos lesivos en algunos casos. Ya se comentará más adelante este elemento, pero la chaqueta, por ejemplo, si es un modelo adecuado, fabricado con material resistente y amortiguaciones para el cuerpo en caso de caída, es capaz de ofrecer una protección de más del 90% en caso de sufrir un accidente⁶¹. Estos elementos, en general, deben cumplir de igual forma con normativas europeas de homologación que aseguren su eficacia en la protección frente a abrasión, impacto y desgarró (pese a no ser obligatorios, sí que hay que asegurar su correcta eficacia).

Los guantes homologados para motoristas están regulados por la norma EN 13594⁶², que establece requisitos de resistencia al desgarró, la abrasión, la perforación y la amortiguación de impactos en los nudillos. Los guantes certificados no solo protegen de lesiones cutáneas en caso de caída, al evitar el típico raspado de palmas y dedos, sino también de fracturas o lesiones óseas gracias a sus refuerzos rígidos. Como se ha mencionado, el uso de guantes homologados ya podría empezar a ser obligatorio en España, una buena medida, que se tomó el año pasado para proteger aún más al motorista y exponer menos uno de los puntos más vulnerables en caídas, las manos. Esta medida es obligatoria para todo tipo de trayectos y no es solo una decisión legal, sino que realmente tiene una efectividad, ya que se estiman que las lesiones en las manos se pueden reducir hasta un 40%⁶³. No obstante, la medida aún sigue sin haber entrado en curso.

Las chaquetas y pantalones técnicos deben cumplir, desde 2020, con la norma EN 17092, que clasifica estas prendas en distintos niveles de protección (AAA, AA, A, B y C) según su resistencia. Las categorías AAA y AA están destinadas a un uso interurbano o deportivo, mientras que la categoría A es común en ropa urbana más ligera. Esta norma evalúa criterios como la abrasión, la resistencia al rasgado, la integridad de costuras y la eficacia de los sistemas de cierre. Las zonas de

⁶¹ Cuervas, «¿Qué equipación es obligatoria en una moto?»

⁶² «UNE-EN 13594:2015 Guantes de protección para motociclistas. Re...»

⁶³ Allianz Direct, «¿Es obligatorio llevar guantes en la moto?»

mayor riesgo, como hombros, codos, caderas y rodillas, deben estar reforzadas con materiales más resistentes⁶⁴.

En cuanto a las protecciones internas, estas se rigen por las normas EN 1621-1:2012 (para extremidades como hombros, codos o rodillas⁶⁵) y EN 1621-2:2014 para las espaldaderas. Estas últimas son esenciales para prevenir lesiones medulares y fracturas vertebrales. Las espaldaderas homologadas absorben el impacto de forma progresiva y deben cubrir la columna en su totalidad. Se dividen en nivel 1 (máxima fuerza transmitida ≤ 18 kN) y nivel 2 (≤ 9 kN), siendo este último el más seguro, aunque también más rígido. Existen versiones integradas en chaquetas y otras de tipo chaleco independiente⁶⁶.

Por último, las botas específicas para motoristas también forman parte fundamental del equipamiento de seguridad personal, aunque su uso esté menos extendido. Deben cumplir con la norma EN 13634, que evalúa la resistencia a la abrasión, al corte, a la compresión lateral y la rigidez transversal. Este tipo de calzado protege tobillos, espinillas y pies frente a esguinces, fracturas y aplastamientos, siendo especialmente relevante en accidentes donde la moto cae lateralmente o arrastra al conductor. Al igual que en el resto del equipamiento, su uso reduce significativamente la gravedad de las lesiones en extremidades inferiores.

⁶⁴ «UNE-EN 17092-1:2020 Prendas de protección para motociclistas. ...»

⁶⁵ «UNE-EN 1621-1:2013 Ropa de protección frente a impactos mecáni...»

⁶⁶ «UNE-EN 1621-2:2014 Ropa de protección frente a impactos mecáni...»



Ilustración 47: Elementos de protección motoristas⁶⁷

Un problema importante, una vez más, es la falta de concienciación sobre la existencia de estas homologaciones. Muchas prendas comercializadas como “ropa de moto” no ofrecen ninguna garantía real si no cuentan con etiquetado CE visible, el cual debe incluir referencia a la norma aplicable y nivel de protección. De igual forma, los usuarios suelen priorizar la estética, el precio o la comodidad térmica frente a la seguridad.

Desde el punto de vista técnico y normativo, tanto la Unión Europea como fabricantes responsables están impulsando la estandarización de estos elementos y campañas de concienciación. Esto se puede ver en como en 2024, se ha implementado la obligatoriedad en el uso de guantes, aunque esto puede tener que extenderse, ya que, si estos sistemas, como se ve, son útiles en la reducción de lesiones en accidentes, convendría implementar la obligatoriedad de su uso.

⁶⁷ «Medidas para la protección de los motoristas».

6.2.2 AIRBAGS PARA MOTOCICLISTAS

Los sistemas de airbag para motoristas son dispositivos de protección pasiva que se activan en fracciones de segundos antes de que el cuerpo impacte con el suelo u otro objeto, creando una capa de aire que reduce la fuerza transmitida al torso, columna y cuello. A diferencia de los airbags de automóviles, diseñados para espacios cerrados, estos sistemas están integrados en ropa o chalecos y se basan en sensores colocados en la motocicleta o en la prenda. Su propósito es minimizar las lesiones en zonas vulnerables como el pecho, la espalda, las clavículas y la zona cervical, que son comunes en colisiones a alta energía.

Dentro de este tipo de airbags que están incluidos en las prendas o como parte del motorista, se distinguen dos formatos:

- Chaquetas con airbag integrado: incorporan el sistema dentro de la propia prenda, sin necesidad de dispositivos externos. Ejemplos incluyen la Dainese D-Air y la Alpinestars Tech-Air, que integran sensores, cartuchos de gas y la bolsa inflable directamente en la chaqueta o el mono⁶⁸.
- Chalecos o vests con airbag independiente: se colocan sobre la ropa o debajo, como el Helite Turtle o el Dainese Smart Jacket, y permiten combinar el sistema con diferentes prendas, lo que favorece su uso urbano o en diferentes estaciones del año⁶⁹.

También hay una evolución desde sistemas cableados (antiguos, con cordón unido a la moto) hasta airbags electrónicos que utilizan IMU (unidades inerciales) y acelerómetros (situados en prenda o motocicleta) para detectar caídas o impactos. Los sistemas modernos, como el Tech-Air 5, integran giroscopios y algoritmos inteligentes que pueden desplegar el airbag en menos de 20-40ms, disponibles tanto en modos “Street” como “Race”. Desde el punto de vista técnico, el funcionamiento de los airbags para motoristas se basa en sensores que detectan parámetros como aceleración lineal, rotación, inclinación y cambios bruscos de movimiento. En los modelos electrónicos, una Unidad de Medición Inercial (IMU) capta estos datos en tiempo real, y un algoritmo integrado analiza si se trata de una situación de accidente (colisión, pérdida de control,

⁶⁸ Motocard, «8 Chaquetas con airbag para moto».

⁶⁹ «Airbag moto».

impacto lateral, etc.). Si se superan ciertos umbrales predefinidos, se activa una pequeña carga pirotécnica o un cartucho de CO₂, que infla la bolsa de aire en milisegundos (generalmente entre 20 y 40ms). En el caso de los sistemas mecánicos o cableados, la activación ocurre al separar físicamente el cable anclado entre la moto y el chaleco, lo que libera el gas comprimido. Ambos mecanismos están diseñados para desplegar el airbag antes del impacto del motorista con el suelo u otro obstáculo. Entre los modelos actuales podemos encontrar:

- Alpinestars Tech-Air 5: un chaleco electrónico que incluye sensores tripartitos (tres giroscopios y tres acelerómetros), capaz de reducir la energía recibida hasta un 95 % frente a protecciones pasivas. Su bolsa cubre espalda, pecho, hombros y costillas, con tiempos de activación entre 20 y 40 ms. Requiere mantenimiento periódico (revisión o reemplazo de cartuchos de gas cada 3 activaciones)⁷⁰.



Ilustración 48: Ejemplo Airbag integrado en chaqueta; Alpinestars

- Dainese D-Air: disponible en versión racing y urbana ("Road"). Se caracteriza por su integración invisible y mínima diferencia de peso respecto a ropa convencional. Diseñado para proteger

⁷⁰ «Alpinestars Tech-Air 5 Airbag Vest Review | Rider Magazine».

pecho, espalda, hombros y collarbones, utiliza sensores electrónicos, incluyendo detección de inclinación y caídas⁷¹.

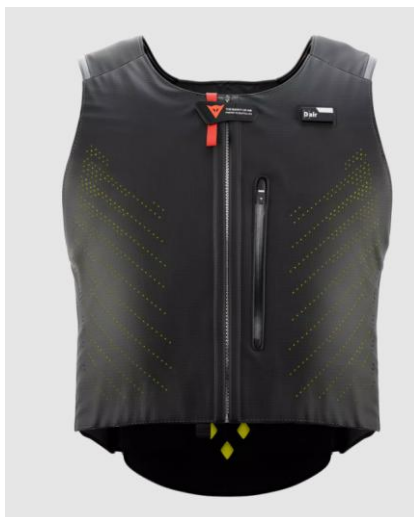


Ilustración 49: Ejemplo de Chaleco con Airbag independiente, Dainese

- Helite (E-Turtle y otros): chalecos bag-vest inflables sin cable, que cumplen la norma EN 1621-4 y protegen sin necesidad de conexión a la moto.

La regulación de estos airbags para motociclistas en Europa ha avanzado de forma lenta y desigual. Actualmente, el único estándar europeo aplicable a estos dispositivos es la EN 1621-4:2013, una norma pensada originalmente para airbags mecánicos (accionados por cordón) que, si bien supuso un importante paso inicial, presenta limitaciones evidentes frente a las nuevas generaciones de airbags electrónicos con IMUs.

Esta norma se inscribe dentro del grupo de estándares europeos EN 1621, centrados en los Equipos de Protección Individual (EPI) para motoristas. Mientras que EN 1621-1 y EN 1621-2 regulan protectores para extremidades y espalda respectivamente, la norma EN 1621-4 se dirige

⁷¹ «SMART AIR - CHALECO AIRBAG MOTO | BLACK | Dainese».

exclusivamente a los sistemas de protección por airbag de impacto, especificando su comportamiento ante choques, durabilidad y tiempo de inflado.

Entre los requisitos técnicos que contempla esta norma se encuentran los siguientes⁷²:

- El tiempo de activación debe ser igual o inferior a 200 milisegundos desde la detección del evento de impacto.
- Una vez inflado, el sistema debe mantener la presión durante al menos 5 segundos para garantizar una protección eficaz.
- En las pruebas de impacto, la energía transmitida al cuerpo debe ser inferior a ciertos umbrales para obtener la certificación. Para los protectores de nivel 1, el valor medio de fuerza transmitida debe ser inferior a 4,5 kN y ningún pico puede superar los 6 kN; para los de nivel 2, el promedio máximo es de 2,5 kN y ningún impacto puede superar los 3 kN.
- La zona de cobertura mínima debe proteger espalda o pecho, con criterios estrictos sobre uniformidad del inflado y ausencia de bordes o elementos duros que puedan causar daño adicional.

Esta norma fue diseñada para dispositivos mecánicos, lo que implica que no contempla la evaluación del algoritmo de detección, la lógica de activación electrónica ni los sensores IMU (Unidad de Medición Inercial), ampliamente presentes en los modelos más modernos. Por este motivo, a pesar de contar con tecnologías más avanzadas, muchos airbags electrónicos comercializados actualmente no están certificados bajo la EN 1621-4. Un ejemplo de ello es el Tech-Air 5 de Alpinestars, que en su documentación legal de 2024-2025 advierte explícitamente que no está homologado bajo dicha norma.

Este vacío normativo ha sido ampliamente criticado por expertos del sector, ya que impide que los consumidores puedan comparar objetivamente distintos productos y pone en entredicho la fiabilidad de algunas certificaciones CE. Conviene aclarar que el mercado CE, obligatorio según el Reglamento Europeo 2016/425 sobre EPI, simplemente indica que el fabricante declara

⁷² AIRBAG MOTO ROCKTOOL, «Chaleco airbag homologado 1621-4».

conformidad con los requisitos esenciales de seguridad, pero no implica necesariamente el cumplimiento de EN 1621-4. Ante esta situación, el Comité Europeo de Normalización (CEN) ha iniciado trabajos para una revisión de la norma EN 1621-4, con el objetivo de adaptarla a los nuevos sistemas electrónicos⁷³. Se espera que como próximos pasos se publique una nueva versión que incluya pruebas específicas para dispositivos con algoritmos y sensores, considerando su fiabilidad en situaciones reales, la tasa de falsas activaciones y el comportamiento frente a distintos tipos de accidentes.

Existen iniciativas independientes que intentan suplir la falta de una norma adaptada. Por ejemplo, el laboratorio francés CRITT Sport Loisirs, en colaboración con la SRA (organización de aseguradoras), ha desarrollado un sistema de clasificación por estrellas que analiza parámetros como el tiempo de activación, la cobertura y la eficacia real. Esta evaluación se ha convertido en una referencia para algunos consumidores, aunque no sustituye a una homologación oficial.

Aunque EN 1621-4 fue un avance para dotar de criterios mínimos de seguridad a los airbags para motoristas, su falta de adaptación a las tecnologías actuales limita su utilidad en el mercado contemporáneo. La futura revisión de esta norma será esencial para garantizar que los sistemas electrónicos, cada vez más extendidos, puedan validarse con criterios rigurosos, mejorando la transparencia para los usuarios y la seguridad en carretera. De hecho, la revisión de la norma será importante para poder regular un tipo de airbag que pueda ser seguro, asequible y obligatorio para los motoristas. Este es otro de los vacíos que se encuentran en la normativa de prevención y reducción de accidentes, ya que sistemas como los airbags son muy relevantes y de gran ayuda para reducir el impacto y proteger al conductor, pero siguen sin contar con una norma que imponga su obligatoriedad. La DGT sí que tiene iniciativas y menciones dentro de los planes lanzados donde se impulsa su uso para luchar contra la alta siniestralidad en moto y la eficacia que tienen estos dispositivos para reducir lesiones graves, pero el principal inconveniente es el coste de estos. No obstante, pese a no contar con una norma que se prevea para implementar su obligatoriedad, la DGT ha tomado medidas recientes, como que este Airbag para motocicletas sea obligatorio para sacarse el carné A desde el uno de Julio de 2025⁷⁴. Una medida que no es que sea muy decisiva en

⁷³ interior, «Airbag para los conductores de las motocicletas».

⁷⁴ «La DGT quiere generalizar el airbag en las motos. Su atajo: hacerlo obligatorio para sacarse el carnet A».

la implantación de estos dispositivos pero que al menos muestra un interés por querer implantar el dispositivo. En el plan que se propondrá, se seguirá abordando este tema.

Evaluar la eficacia real de los airbags para motociclistas implica analizar tanto estudios experimentales como datos empíricos derivados de siniestros. A pesar de que su adopción todavía no es masiva, existen informes técnicos, evaluaciones independientes y experiencias acumuladas en contextos profesionales (como competiciones) que permiten extraer conclusiones relevantes sobre su utilidad en la prevención de lesiones graves. Uno de los primeros análisis de relevancia lo aportó el estudio MAIDS (Motorcycle Accident In-Depth Study), coordinado por ACEM y financiado por la Comisión Europea, publicado en 2004⁷⁵. Aunque este informe no se centró exclusivamente en airbags, sí analizó de manera exhaustiva la cinemática de las lesiones en motoristas. En sus conclusiones, identificó que el tórax y la cabeza eran las regiones corporales con mayor incidencia de lesiones mortales o graves en colisiones de motocicletas, especialmente en impactos frontales o laterales. Estos hallazgos sentaron las bases para el desarrollo de protecciones específicas como los airbags torácicos. Desde entonces, diversas investigaciones han buscado cuantificar la reducción de lesividad que estos dispositivos ofrecen. Según datos presentados en el *Informe de Evaluación de Tecnologías de Seguridad en Moto* del Instituto de Seguridad Vial de la Fundación MAPFRE (2022), los airbags personales pueden reducir entre un 25% y un 50% la energía transmitida al torso y al cuello⁷⁶, dependiendo del tipo de impacto. Los estudios realizados con maniqués instrumentados (crash test dummies) muestran que los airbags bien diseñados disminuyen de forma significativa las fuerzas pico y las aceleraciones asociadas a lesiones medulares o costales.

Además, en el contexto español, la DGT ha podido observar con los análisis de accidentes como gracias al airbag, se consiguen como se ha dicho, proteger las zonas críticas del tórax, una zona en la que el 35% de los motoristas fallecidos y más del 25% de los hospitalizados sufren lesiones⁷⁷. Se ha incluido recomendaciones explícitas sobre el uso del airbag para motoristas en su Plan de Medidas Especiales para la Protección de Usuarios Vulnerables (2023-2024), señalando que los

⁷⁵ «Maids - In-Depth investigation of motorcycle accidents».

⁷⁶ De, *INFORME TÉCNICO RELATIVO AL ANÁLISIS DE LA EFECTIVIDAD DE LOS SISTEMAS DE SEGURIDAD ACTIVA Y PASIVA DE MOTOCICLETAS Y DE AQUELLOS QUE SE AÑADAN AL EQUIPAMIENTO DEL MOTORISTA (Expediente: 3DGT00000397)*.

⁷⁷ «Chaleco airbag: el regalo de su vida».

dispositivos con activación electrónica representan una de las estrategias más prometedoras para la mitigación de daños en accidentes graves. Aunque todavía no existen datos estadísticos extensos sobre su eficacia en accidentes reales en España, algunos informes periciales recabados por el Observatorio Nacional de Seguridad Vial (ONSV) reflejan una reducción en la gravedad de lesiones torácicas en accidentes donde el conductor portaba chaleco con airbag activado correctamente.

Uno de los entornos donde más se ha evidenciado la eficacia del airbag es el de la competición profesional. Pilotos de MotoGP, Moto2 y MotoE están obligados a portar monos con airbag integrado desde 2018, tras la regulación impuesta por la Federación Internacional de Motociclismo (FIM). Marcas como Dainese (D-Air) y Alpinestars (Tech-Air) han reportado numerosos casos en los que los sistemas de airbag activados evitaron lesiones graves en caídas a alta velocidad. El tiempo de activación de un chaleco airbag homologado por la ya mencionada norma 1621-4, garantiza un tiempo siempre inferior a 200 milisegundos, un tiempo crucial para proteger zonas como clavículas y costillas antes del impacto contra el asfalto.

Por otro lado, el programa piloto de Euro NCAP para motocicletas, publicado como idea para la Visión 2030 de Euro NCAP⁷⁸, y aún en fase de implementación, incluye en su hoja de ruta la evaluación de protección pasiva mediante maniqués en impacto lateral, lo que podría derivar en un estándar común para comparar la eficacia de los distintos airbags disponibles comercialmente. Entidades de reputación en el sector de la movilidad y seguridad como Euro NCAP podrían ser un agente de especial relevancia para implementar y aumentar la seguridad de las motocicletas y ciclomotores. Con clasificaciones como las suyas se podrían identificar en el mercado de una manera más oficial y con unas valoraciones profesionales y reputadas, las motocicletas menos y más seguras, así como realizar estudios de tecnología de la motocicleta para evaluar su impacto en la seguridad del conductor. Uno de los primeros estudios de esta organización que involucraba el uso de motos, se basaba en el estudio del comportamiento y escenarios de choques entre coches y motos, y es una primera toma de contacto para estudios de seguridad para la seguridad de conductores de estos vehículos y como parte de la Visión 2030 de Euro NCAP.

⁷⁸ Taal, «New Euro NCAP Vision 2030 Includes Motorcycles».

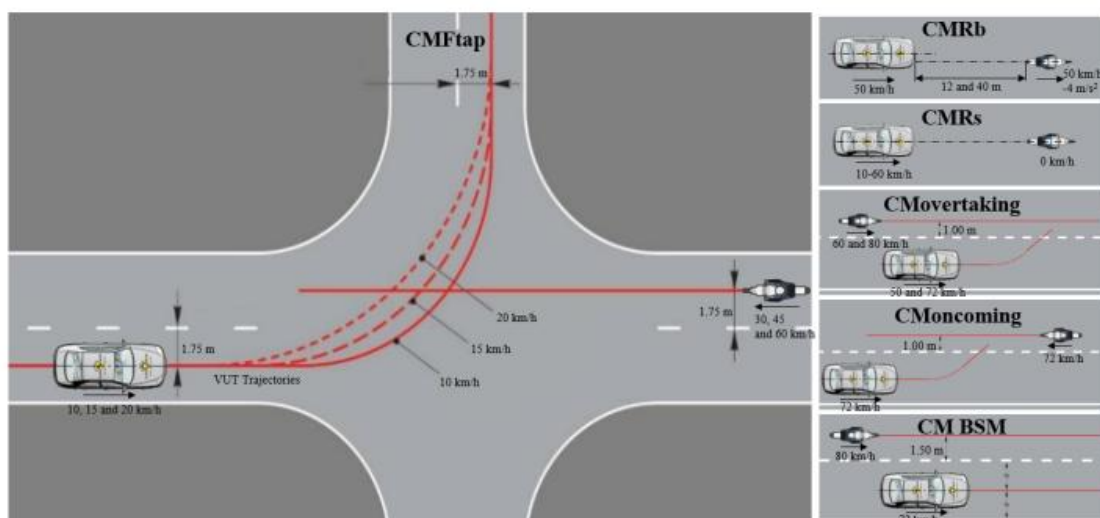


Ilustración 50: Escenarios de encuentros entre coches y motos Euro NCAP 2023⁷⁹

Tanto los estudios experimentales como la experiencia práctica refuerzan el valor preventivo del airbag para motociclistas. Su capacidad para absorber energía cinética antes del impacto directo, especialmente en zonas vitales como el tórax y cuello, convierte a estos dispositivos en una de las tecnologías más prometedoras de la última década en materia de seguridad pasiva. Sin embargo, su eficacia depende también de factores como la correcta colocación, el mantenimiento adecuado y la fiabilidad del sistema de activación en tiempo real. No obstante, si son visibles los puntos positivos y la posibilidad de estos de reducir eficazmente las lesiones en los accidentes, ¿por qué planes de reducción de accidentes como el de la DGT no abogan por la obligatoriedad de estos sistemas? Principalmente hay una serie de barreras de adopción de estos sistemas, y como se ha mencionado anteriormente, una de ellas es su coste. A fecha de 2025, el coste de un chaleco con airbag electrónico oscila habitualmente entre 400 y 900 euros, mientras que los sistemas integrados en monos o chaquetas técnicas de alta gama pueden superar los 1.200 euros. Este rango de precios resulta prohibitivo para una gran parte de los motoristas, especialmente aquellos que utilizan la motocicleta como medio económico de transporte urbano. La falta de incentivos o subvenciones públicas específicas en la mayoría de los países europeos, incluyendo España, agrava aún más esta limitación económica.

⁷⁹ Damon et al., *EURO NCAP'S FIRST STEP TOWARD RIDER SAFETY WITH NEW CAR-TO-MOTORCYCLIST SCENARIOS*.

Otra barrera relevante es la complejidad técnica y el mantenimiento. Los airbags electrónicos incorporan sensores inerciales (IMU), acelerómetros, microprocesadores y sistemas de inflado que requieren revisiones periódicas o actualizaciones de firmware. Algunos modelos exigen recargas de gas tras una activación, mientras que otros cuentan con componentes no reutilizables. Este nivel de mantenimiento no siempre es comprendido ni aceptado por el usuario medio, que puede sentirse desbordado por la necesidad de gestionar un equipo que se percibe como “tecnológicamente complejo”.

La falta de concienciación también representa un obstáculo considerable. Aunque el airbag ha ganado visibilidad en el ámbito deportivo y en medios especializados, todavía es escasamente conocido por una parte importante del público general. Según una encuesta realizada RACE en 2021-2022, de entre aquellos encuestados que conducían una moto con permiso A1, A2 o A, un 91% nunca había utilizado una chaqueta de protección con airbag.

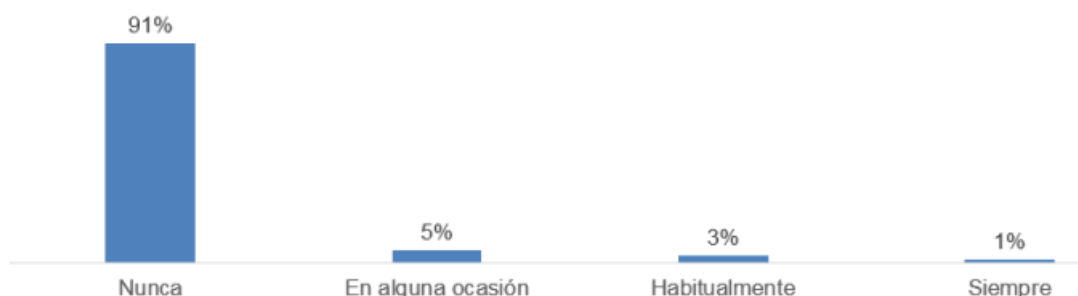


Ilustración 51: Encuesta RACE Uso de airbag en moto

No obstante, esto chocaba directamente con otra pregunta realizada en la encuesta donde un 99% consideraban que es mucho o bastante imprescindible llevar buen equipamiento de protección personal cuando se conduce en moto.

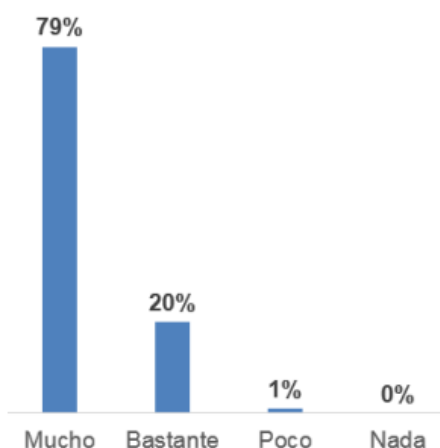


Ilustración 52: Encuesta RACE Imprescindibilidad de protección personal⁸⁰

Esta brecha informativa se traduce en una baja demanda, que a su vez limita la presión del mercado para reducir costes o mejorar la accesibilidad. Y de nuevo, volviendo al aspecto monetario, se retroalimenta la poca demanda con altos costes y menos posibilidad de adquirir estos airbags. Por lo que parece un punto que requiere de una financiación por parte del gobierno si de verdad se quiere conseguir reducción de lesividad en los accidentes de moto (al igual que la inversión en sistemas para la reducción de los accidentes en sí).

A estos factores se le puede sumar la percepción errónea de algunos conductores de que los airbags solo son necesarios en trayectos interurbanos o deportivos, cuando en realidad las estadísticas de siniestralidad urbana justifican su uso incluso a velocidades reducidas. La creencia de que “en ciudad no hace falta tanto equipamiento” persiste entre ciertos colectivos, dificultando la normalización del airbag como un elemento estándar de protección, al nivel del casco. La tecnología del airbag para motoristas ha demostrado su eficacia y se encuentra cada vez más desarrollada, pero su adopción generalizada sigue enfrentando barreras significativas relacionadas con el coste, la comprensión técnica, el mantenimiento y la concienciación social. Superar estas limitaciones requerirá tanto estrategias de comunicación pública como incentivos económicos que faciliten su integración en la movilidad diaria del motorista, y que pueda definir el futuro de estos en el uso para los conductores.

⁸⁰ «Informe-RACE-Chalecos-con-airbag-para-motoristas».

Precisamente continuando con este futuro de estos elementos de seguridad, se puede ver como la evolución del airbag para motoristas está experimentando un punto de inflexión. Tradicionalmente limitado a sistemas de chalecos o chaquetas, su ámbito de aplicación se está ampliando hacia soluciones más integradas y adaptadas al entorno urbano. Uno de los ejemplos que se puede ver en estos nuevos airbags para motocicletas, se dan en los casos como los propuestos por Honda o Autoliv, que durante los últimos años han estado diseñando airbags integrados en la propia motocicleta, a parte de los ya vistos y mencionados airbags para el conductor. Este tipo de airbags surgen como una solución para intentar reducir los riesgos para el conductor en impactos frontales, imitando de cierta manera los sistemas de airbags que se encuentran en los coches. Con esto también se pretende reducir las posibilidades de que el conductor salga disparado hacia delante en una colisión frontal. Otro de los focos de este tipo de sistemas de seguridad pasiva, es conseguir que el airbag quede bien anclado al chasis de la moto, aumentando la superficie de apoyo firme de este. Estas empresas mencionadas ya han desarrollado ensayos con elementos finitos sobre simulaciones de colisiones con automóviles para ver las consecuencias, e incluso implementando ensayos con dummies. Honda presentó ya hace años una primera tecnología de este tipo de airbags en forma de V que ofrecía una estabilidad incrementada cuando el conductor entraba en contacto con este. El modelo en el que se implementó fue para la moto Gold Wing en 2006 y fue la primera del mundo en tener un dispositivo como este.



Ilustración 53: Honda Gold Wing con sistema de Airbag en motocicleta⁸¹

No obstante, es ahora cuando se están llevando a cabo más simulaciones y casuísticas sobre la viabilidad de estos sistemas. De hecho, para este mismo año Autoliv tenía preparado implementar

⁸¹ «Motorcycle Airbag System | Honda Technology | Honda Global».

estos sistemas en modelos de motos, empezando la producción de motos con estos sistemas. Los componentes del sistema y su funcionamiento se dividen en:

- **Sensores de impacto:** El sistema cuenta con acelerómetros y sensores de velocidad angular distribuidos estratégicamente en la motocicleta, especialmente en la horquilla delantera y en el chasis. Estos sensores detectan desaceleraciones abruptas y patrones cinemáticos característicos de colisiones frontales, como una fuerte desaceleración en línea recta. La información recolectada es enviada en tiempo real a la unidad de control electrónico (ECU) del airbag.
- **ECU del Airbag:** Esta unidad actúa como el cerebro del sistema. Su función es procesar de forma ultrarrápida los datos suministrados por los sensores y determinar si la situación corresponde a una colisión que justifique el despliegue del airbag. Para evitar activaciones innecesarias, como en frenadas de emergencia sin impacto, la ECU está programada con algoritmos que discriminan entre eventos peligrosos y situaciones normales. Si se confirma una colisión grave, la ECU envía una señal al inflador para que se active.
- **Módulo del Airbag:** Este módulo integra varios elementos clave del sistema: el airbag plegado, el inflador pirotécnico y el conjunto de correas de sujeción. Se ubica normalmente en la parte superior del depósito de combustible, entre el manillar y el tanque. Las correas, fijadas firmemente al bastidor de la moto, se despliegan junto con el airbag para asegurar una resistencia estructural adecuada en el momento del impacto.
- **Inflador:** El inflador es un generador de gas de tipo pirotécnico, similar al que se utiliza en los sistemas de airbag automotrices. Al recibir la señal de activación desde la ECU, provoca una reacción química que libera gas a alta presión, inflando el airbag en aproximadamente 0.05 segundos. Esta rápida expansión permite que el airbag esté completamente desplegado antes de que el conductor entre en contacto con él.
- **Airbag:** El airbag se infla en dirección al torso del conductor, con el objetivo de reducir la velocidad y energía del impacto. Su forma y orientación están diseñadas para redirigir el cuerpo del piloto hacia arriba y ligeramente hacia atrás, disminuyendo así el riesgo de lesiones graves provocadas por el contacto con el manillar, el parabrisas o el vehículo contra el que se impactó. Luego de cumplir su función, el airbag se desinfla rápidamente para no obstaculizar el movimiento posterior del conductor.

Airbag System

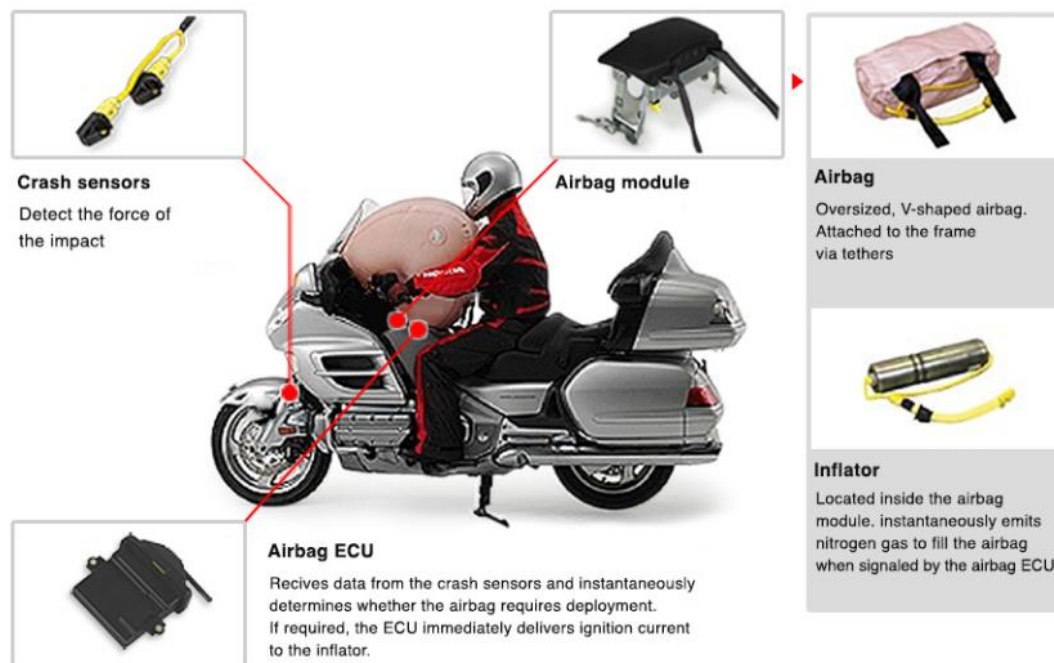


Ilustración 54: Componentes airbag integrado en motocicleta⁸²

Además de estos sistemas, como se ha mencionado es importante que este airbag quede en contacto con el chasis de la moto para no perder estabilidad. Es por ello que uno de los retos del airbag en motos es, a diferencia de los autos, la ausencia de una superficie fija detrás del airbag. Por eso, Honda, por ejemplo, usa correas de anclaje que sujetan el airbag al chasis. Estas correas:

- Se despliegan junto con el airbag.
- Controlan la dirección del inflado, para que el airbag no simplemente se dispare hacia atrás sin control.
- Le dan rigidez estructural al sistema en el momento del impacto.

La activación de estos sistemas es típicamente cuando el motor está encendido y en caso de choque frontal, cuando se detecta por los sensores una aceleración o desaceleración anormal, la ECU

⁸² «Motorcycle Airbag System | Honda Technology | Honda Global».

detecta la colisión y dispara el inflador. Estas activaciones y sistemas siguen aún con pegas y ciertos detractores, sobre todo porque su limitación del efecto es para colisiones frontales, y en otro tipo de accidentes típicos, como pueden ser las salidas de la vía por caídas o choques que provocan caídas, no se activan. Y no es solo que no se activen, sino que si lo hiciesen habría riesgo de que el conductor fuese lanzado, dependiendo de cómo se dé el impacto, pudiendo perjudicar más que ayudar a reducir la energía del impacto. No obstante, un desarrollo adecuado junto con el uso de otros sistemas de seguridad pasiva, podrían ser interesantes de cara a la reducción de la gravedad de accidentes de moto. No parece, eso sí, que pueda verse como una medida aplicable a España a corto plazo, como una medida obligatoria en un plan de reducción de accidentes.

En conjunto, el desarrollo de airbags para motociclistas refleja un compromiso creciente por parte de la industria hacia la protección del conductor, abriendo el camino a sistemas cada vez más inteligentes, efectivos y accesibles. Esto hace que sea algo importante de cara a que entidades como la DGT impongan normativas de uso de este tipo de sistemas, ya que pueden realmente reducir los accidentes o al menos las consecuencias de estos. Ya se han visto los inconvenientes de su implementación, como el coste, pero se explorará la idea dentro de la propuesta del plan propio.

6.2.3 SLIDERS O DEFENSAS EN LA MOTO

Los sliders u otro tipo de defensas en la moto son también relevantes en un contexto de un plan integral de reducción de accidentes y víctimas. Este dispositivo no es considerado muchas veces como un dispositivo de seguridad pasiva propiamente como lo puede ser un airbag, no obstante, sí que está involucrado en la reducción del daño al conjunto motocicleta y conductor.

Estos sliders actúan como protectores anticaídas en muchas ocasiones, y son componentes que absorben parte del impacto y limitan el daño de la motocicleta ante caídas o accidentes leves. Por lo general están fabricados con materiales con elevada resistencia, como plásticos de alta densidad o metal, y se instalan en los laterales o en el chasis de la moto. El objetivo real de estos es la

reducción significativa del daño que pueda causar una caída a las partes más importantes del vehículo⁸³. Existen otras variantes similares:

- Sliders de chasis, comunes en motos de turismo o aventura, ofrecen protección adicional a la estructura principal del vehículo.
- Topes de horquilla o basculante, pensados para proteger suspensiones y ruedas.
- Protectores de motor, que cubren las tapas laterales del motor para absorber los impactos ante caídas laterales.
- Sliders de rueda, para proteger ambas ruedas ante las caídas.

En un enfoque integral de seguridad para motociclistas, los sliders y defensas cumplen un papel relevante no en la prevención del accidente en sí, sino en la reducción de las consecuencias:

- Post-accidente inmediato: ayudan a controlar los daños mecánicos y reducir el riesgo de que piezas afiladas o calientes entren en contacto con el conductor, lo que puede agravar lesiones.
- Prevención indirecta: en situaciones como caídas en parado o en maniobras lentas, pueden evitar lesiones leves por atrapamientos de pierna o quemaduras.
- Reducción del coste de reparación: aunque esto es un beneficio secundario, también implica que la moto pueda estar menos tiempo fuera de circulación, algo relevante para flotas de trabajo o servicios de entrega/movilidad.

En cualquier caso, los sliders no sustituyen en ningún caso los elementos de protección personal del conductor, y su eficacia disminuye en accidentes a alta velocidad. No evitan el accidente, pero son un elemento clave en la mitigación de daños, tanto para la motocicleta como, en ciertos escenarios, para el conductor. Su incorporación dentro de un plan integral de seguridad es especialmente recomendable en motos urbanas, de reparto o de formación, donde las caídas leves

⁸³ Motociclismo, «Sliders de moto, ¿qué son y para qué sirven?»

son frecuentes. Además, contribuyen a una cultura de mantenimiento preventivo y responsabilidad estructural en el uso de la moto.



Ilustración 55: Sliders moto⁸⁴

6.3 OTROS SISTEMAS ARAS

Los Sistemas Avanzados de Asistencia a la Conducción para motocicletas (ARAS, por sus siglas en inglés: Advanced Rider Assistance Systems) representan un campo en rápida evolución tecnológica, con el objetivo de reducir el número y la gravedad de los accidentes. A diferencia de sistemas como el ABS o el CBS, ya tratados anteriormente, en este apartado se presentan otros sistemas complementarios no abordados previamente, como el control de tracción o sensores, radar, conectividad o algoritmos de asistencia⁸⁵.

- **Control de tracción y sistemas anti-wheelie:** El control de tracción (Traction Control System, TCS) es uno de los sistemas ARAS más implantados actualmente en motocicletas de media y alta gama. Su función es evitar que la rueda trasera patine al acelerar, especialmente sobre superficies deslizantes o con escaso agarre. Utiliza sensores de velocidad en ambas ruedas para detectar discrepancias, y en caso de detectar un

⁸⁴ «Sliders y Defensas para Moto: Todo lo que necesitas saber...»

⁸⁵ «DGT - Sistemas avanzados de ayuda a la conducción (ARAS)».

deslizamiento, reduce la entrega de potencia del motor o actúa sobre la inyección electrónica para recuperar la tracción. Este sistema es especialmente útil en situaciones de lluvia o curvas cerradas, y su implantación ha demostrado reducir significativamente los accidentes por pérdida de adherencia. Relacionado con él, el sistema anti-wheelie evita que la rueda delantera se eleve del suelo (caballito no intencionado) durante aceleraciones fuertes. Este fenómeno, más frecuente en motos deportivas de alta potencia, puede llevar a la pérdida de control del vehículo. El sistema actúa de forma similar al control de tracción, interviniendo sobre la entrega de par o sobre el freno trasero para mantener ambas ruedas en contacto con el suelo. Al igual que otras funciones electrónicas, suele gestionarse desde la IMU (unidad de medición inercial), lo que permite una intervención progresiva y adaptada al ángulo de inclinación y aceleración de la moto⁸⁶.

Estos sistemas se consideran fundamentales no solo en conducción deportiva, sino también en contextos urbanos o interurbanos donde una aceleración imprevista sobre un paso de peatones, pintura vial mojada o gravilla puede tener consecuencias graves. Su integración no requiere intervención del conductor, lo que los convierte en herramientas pasivas de prevención extremadamente eficaces.

- **Sistemas de prevención activa y asistencia al conductor:** Uno de los sistemas más conocidos, también por su extendida implementación en coches, es el *Adaptive Cruise Control* (conocido como control de crucero), que permite adaptar la velocidad al tráfico, limitando la velocidad a un cierto valor manual o automático. Otro de los más relevantes es el *Forward Collision Warning* (FCW) o sistema de advertencia de colisión frontal, que alerta al conductor si se aproxima peligrosamente a un vehículo anterior. Este sistema, desarrollado por fabricantes como Bosch en colaboración con KTM y Ducati, se basa en radares frontales y ha sido objeto de pruebas en circuitos cerrados y entornos reales. Según Bosch, su implementación puede reducir significativamente colisiones traseras, aunque aún no hay estudios independientes de impacto cuantitativo disponibles para motocicletas. El *Blind Spot Detection* (BSD), o sistema de detección de ángulos muertos, utiliza sensores de radar traseros para advertir al conductor si un vehículo se encuentra en una zona no

⁸⁶ Climent, «Qué es el sistema de control de tracción de una moto y cómo funciona».

visible a través de los espejos. Este sistema es especialmente útil en vías rápidas o interurbanas y ya ha sido implementado por marcas como BMW (en su modelo C 650 GT) y Ducati (Multistrada V4). Su utilidad radica en mitigar uno de los factores más frecuentes en accidentes: los cambios de carril con motociclistas no detectados por otros vehículos.

El *Lane Change Warning* y sistemas similares como el *Rear Cross Traffic Alert* complementan lo anterior, ayudando al motorista durante las maniobras de adelantamiento o salidas de estacionamiento.

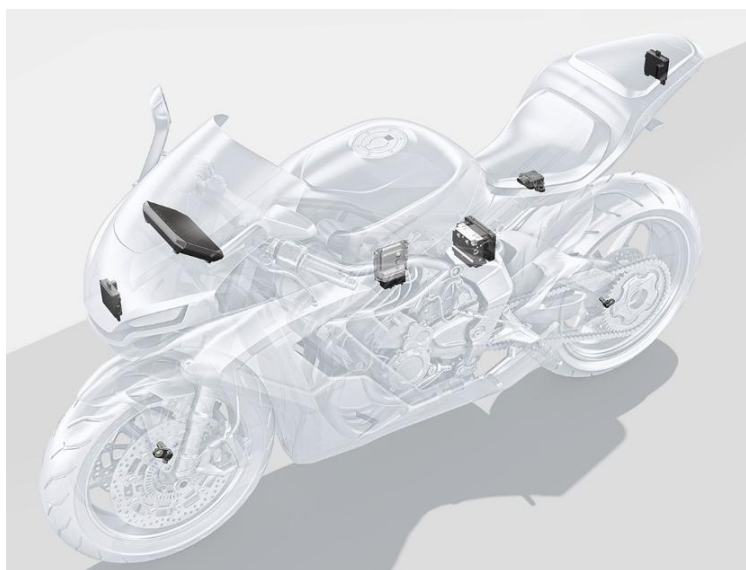


Ilustración 56: Dispositivos de asistencia para motos diseñados por Bosch⁸⁷

- **Sistemas de control dinámico y estabilidad:** Aunque sistemas como el ABS y el control de tracción ya se han analizado, otros como el *Motor Slip Regulation* (MSR) o control de freno motor permiten evitar bloqueos de rueda en reducciones bruscas de marcha⁸⁸. Del mismo modo, el *Hill Start Assist* (asistente de arranque en pendiente) facilita el arranque en cuestas, evitando retrocesos involuntarios que pueden derivar en caídas o colisiones, especialmente en motos pesadas. El *Steering Damper* o amortiguador de dirección ayuda a estabilizar el manillar a altas velocidades o en superficies irregulares, reduciendo el riesgo de “shimmies” o sacudidas del tren delantero. Aunque se trata de un elemento mecánico

⁸⁷ «Advanced rider assistance systems».

⁸⁸ «KTM PowerParts - Intensifica tu conducción | KTM España».

más tradicional que electrónico, puede considerarse un componente pasivo relevante en la prevención de accidentes por pérdida de control.

- **Mejoras en visibilidad y percepción:** Entre los sistemas orientados a mejorar la visibilidad destacan la *Adaptive Headlight* (luz adaptativa en curva), que ajusta la iluminación según el ángulo de inclinación, y la *Daytime Running Light* (luz diurna LED), pensadas para hacer más visible la moto durante el día⁸⁹. Algunos modelos de BMW, Yamaha o Triumph ya integran faros adaptativos, y diversos estudios de seguridad (como los promovidos por el IIHS en EE. UU.) destacan que la visibilidad activa contribuye a reducir accidentes frontales y en intersecciones. El *Emergency Stop Signal* (ESS) alerta con luces intermitentes rápidas en caso de frenada de emergencia, mejorando la reacción del vehículo que circula detrás.
- **Sensores y monitorización avanzada:** Los *Tire Pressure Monitoring Systems* (TPMS) son sistemas que permiten conocer en tiempo real la presión de los neumáticos, una variable crítica en la estabilidad de la motocicleta. Una presión incorrecta puede incrementar la distancia de frenado y reducir el agarre en curva, aumentando el riesgo de caída. Estos sistemas, obligatorios en automóviles en la UE desde 2014, están comenzando a implementarse en motos de gama media-alta. Asimismo, algunos fabricantes incorporan sensores de inclinación, temperatura, humedad o acelerómetros como parte de unidades de medición inercial (IMU). Estas unidades permiten gestionar dinámicamente el ABS, control de tracción o sistemas de suspensión, adaptando el comportamiento del vehículo en tiempo real⁹⁰.
- **Conectividad V2X y tecnologías emergentes:** Una línea de desarrollo relevante es la conectividad entre vehículos (V2V) y entre vehículos e infraestructuras (V2X), que permitiría a las motocicletas “comunicarse” con coches, semáforos u otros elementos del entorno. Aunque aún en fase piloto, fabricantes como Honda o Yamaha colaboran con

⁸⁹ «Adaptive Headlight - Technology in Detail».

⁹⁰ «¿Qué es TPMS y cómo funciona TPMS ? | Schrader TPMS Solutions».

consorcios como C-ITS y proyectos europeos como SAFERIDER para implementar estas tecnologías⁹¹. Se espera que su evolución permita anticipar situaciones de peligro antes de que sean detectadas visualmente por el conductor.

Aunque muchos de estos sistemas aún se encuentran en fase de expansión o no son obligatorios, su potencial para reducir la siniestralidad es considerable. Con todo esto también resulta interesante ver cómo hay sistemas ARAS que, sí que son obligatorios en otros vehículos o que sí que cuentan con normativa específica, mientras que para las motocicletas este no es el caso. Un ejemplo son los sistemas de medición de presión del neumático para motos. A día de hoy, no existe ninguna normativa europea o española que obligue a las motocicletas a equipar de serie un sistema de control de la presión de los neumáticos (TPMS). Aunque su presencia es cada vez más común en modelos de gama media y alta como un valioso elemento de seguridad, como ya se ha mencionado anteriormente, su instalación sigue siendo una decisión del fabricante y no un requisito legal para su homologación. Esta situación contrasta con la de otros tipos de vehículos, lo que a menudo genera confusión. A continuación, se detalla el estado actual de la regulación y las claves para entender por qué las motos, por ahora, están exentas.

La obligatoriedad del TPMS en Europa se rige principalmente por el Reglamento General de Seguridad (GSR) de la UE, (UE) 2019/2144, y su reglamento técnico asociado, el UN R141. Sin embargo, es crucial entender su ámbito de aplicación⁹²:

- Turismos (Categoría M1): El TPMS es obligatorio en todos los coches nuevos vendidos en la UE desde noviembre de 2014.
- Vehículos Pesados (Categorías M, N y O): Desde julio de 2024, esta obligación se ha extendido a todos los vehículos comerciales nuevos, incluyendo camiones, autobuses y remolques.

El punto clave es que estas regulaciones no incluyen a los vehículos de categoría L, que es a la que pertenecen las motocicletas, ciclomotores, triciclos y cuatriciclos. Por tanto, legalmente, las motos no están afectadas por esta imposición, y aunque es un sistema de seguridad eficaz, y de coste

⁹¹ Seguridad.

⁹² «TPMS Obligatorio desde Julio de 2024 en Europa | MICHELIN Connected Fleet».

relativamente bajo, se queda como un sistema que no parece ser una prioridad legislativa, lo cual parece una reiteración en muchos casos para este tipo de sistemas. Mencionando así de igual forma el resto de ARAS, en este año 2025, la situación actual por lo general se basa en tecnologías que no son legalmente obligatorias.

Algunas de las mencionadas, sobre todo las relacionadas con visibilidad están ya en normativas, como el caso de la luz diurna LED (*Daytime Running Light*), son un requisito para motos posteriores a la homologación Euro 4 en motocicletas (entrada en vigor en 2017). Sistemas como el control de tracción, el MSR o el anti-wheelie, no son obligatorios en ninguna ley en España, no obstante, su presencia es casi implícita en motos de alta potencia porque sino no se podría garantizar un mínimo de seguridad y superar ciertas pruebas para su venta. Por otro lado, los sensores que ya están muy estandarizados en muchos coches (como el aviso de colisión frontal, detector de ángulo muerto o el aviso de cambio de carril), para su implementación en motos se requiere de altos costes, y parecen ser un factor de diferenciación en modelos más caros de marcas como Ducati, BMW o KTM. Aunque es probable que se incluyan en hipotéticas homologaciones Euro 6 o Euro 7, siguen siendo sistemas no obligatorios.



Ilustración 57: IINOVV sistema de detección ángulo muerto

Toda esta tecnología supone un gran incremento en la posible reducción de accidentes. Ya hay numerosos fabricantes de coches y homologaciones que cubren el mercado de estos dispositivos y

tecnologías para coches, y para motocicleta no se puede quedar atrás. La implantación progresiva de ARAS en motocicletas debería acompañarse de campañas de formación y concienciación, así como de estándares de homologación que garanticen su eficacia sin comprometer la maniobrabilidad o el control del conductor.

6.4 REDUCCIÓN DE LESIONES Y EVALUACIÓN

6.4.1 INTRODUCCIÓN A ESTUDIOS Y DEFINICIÓN DE AIS

En este apartado se van a revisar distintos artículos científicos que aportan pruebas experimentales que complementan lo ya visto en cuanto a los datos analizados extraídos de bases de datos de España, y a las conclusiones exploradas tras el estudio de sistemas de protección y de seguridad activa y pasiva. Se quiere, por tanto, analizar el impacto de algunos de los sistemas y tecnología vista, llevados a pruebas experimentales y a simulaciones. Para lograr esto se ha seleccionado varios artículos de información científica sobre accidentes de motocicletas por todo el mundo y se van a utilizar para lograr ver y analizar puntos que pueden ser muy útiles para justificar las posteriores propuestas de medidas dentro de la elaboración del plan propio de reducción de accidentes y lesividad de estos.

Es importante, previo al análisis de los estudios elegidos, definir y recordar el término de AIS, que se ha mencionado brevemente en el capítulo de descripción de tecnologías. La Escala Abreviada de Lesiones (AIS, por sus siglas en inglés: *Abbreviated Injury Scale*) es un sistema de clasificación anatómica, utilizado y estandarizado a nivel mundial, que permite codificar y medir la gravedad de las lesiones traumáticas. Esta escala asigna una puntuación del 1 (lesión menor) al 6 (lesión mortal) a cada traumatismo en función de la región corporal afectada, proporcionando un método objetivo para evaluar el impacto de un siniestro. Actualmente se considera herido grave todo lesionado con AIS nivel 3 o superior⁹³. Por ejemplo, un esguince cervical corresponde a AIS 1 (leve), mientras que una fractura de fémur es AIS 3 (lesión grave) En el estudio de la seguridad vial de motociclistas, el

⁹³ «Nueva definición de herido grave».

uso de la escala AIS es una herramienta indispensable, ya que permite analizar con precisión las consecuencias de los accidentes, identificar los patrones lesionales más frecuentes y evaluar la efectividad de los sistemas de protección. En este apartado se analizarán, por tanto, diversas investigaciones académicas que emplean la escala AIS para cuantificar las lesiones sufridas por este colectivo, sentando una base empírica crucial para el desarrollo de un plan de reducción de la siniestralidad y sus consecuencias.

De entre los distintos informes y artículos explorados, a continuación, se muestran los que se han seleccionado para realizar su análisis y la recopilación de datos útiles para la elaboración del plan.

6.4.2 ALGUNOS ESTUDIOS TOMADOS DE REFERENCIA

- Estudio de seguridad sobre concepto de Airbag para motos:

Un plan de seguridad vial para motos debe de tener datos empíricos de, por ejemplo, la eficacia real de los airbags en estos vehículos. El primer estudio seleccionado para esto es el artículo "Novel Passive Safety Concept for Motorcycles with Combined Multi-Body and Finite Element Simulations" (Maier et al., 2020), cuyo objetivo es investigar un concepto de seguridad pasiva que rompe con la idea tradicional de la eyección del piloto, poniendo un sistema de airbags que no solo busca absorber el impacto sino también, guiar y controlar la trayectoria de este ante el impacto⁹⁴. La robustez de las conclusiones se apoya en una metodología de simulación avanzada que combina la eficiencia de los modelos multicuerpo (MB) con el detalle de los elementos finitos (FE) en el entorno de software MADYMO (software más especializado en modelos multicuerpo). Este enfoque híbrido permite modelar con precisión la dinámica global del vehículo y, a la vez, el comportamiento complejo de los sistemas de seguridad deformables, como los cinturones y los airbags. Para dotar al modelo de un alto grado de realismo, este fue validado y ajustado utilizando datos de ensayos de choque (crash tests) reales realizados por la organización Dekra. La gran fortaleza metodológica, y una propuesta directamente transferible a un nuevo marco regulatorio, es que el concepto de seguridad no se evaluó en un único impacto, sino en siete escenarios de

⁹⁴ Maier et al., *Evaluation of a Novel Passive Safety Concept for Motorcycles with Combined Multi-Body and Finite Element Simulations*.

accidente distintos (frontales, angulares, laterales) definidos en la norma internacional ISO 13232, que representan las colisiones más frecuentes en el mundo real.

Los resultados de la simulación en estos siete escenarios demuestran la eficacia y el potencial del concepto. El sistema, que combina cinturones en los muslos con cinco airbags (frontal, dos en los retrovisores y dos laterales), logra una trayectoria controlada del dummy en la fase primaria del accidente. En los choques frontales, los cinturones sujetan la pelvis, lo que provoca una rotación predecible del torso que es suavemente amortiguada por los airbags frontales, evitando el catastrófico impacto de la cabeza contra el vehículo oponente. En los impactos laterales, los grandes airbags de los flancos se despliegan y utilizan la carrocería del coche como superficie de reacción, creando un escudo protector para el piloto.

El análisis cuantitativo de las cargas biomecánicas es la prueba definitiva. Como se resume en el estudio, en la mayoría de los siete escenarios de impacto, los criterios de lesión para la cabeza, el cuello y el tórax se mantuvieron por debajo de sus límites biomecánicos. Más específicamente, al convertir los valores del Criterio de Lesión Craneal (HIC) en probabilidad de lesión según curvas de riesgo estandarizadas, se observa que la probabilidad de sufrir una lesión cerebral grave (AIS 3 o superior) no supera el 13.1% en el peor de los casos, y para la mayoría de los escenarios se mantiene por debajo del 8%. De manera similar, el riesgo de una lesión de cuello AIS 3+ se mantuvo por debajo del 11.6% en todos los casos. Estos valores, consistentemente bajos a través de un abanico tan amplio de colisiones, demuestran que un sistema de retención bien diseñado tiene el potencial de mitigar drásticamente las lesiones más letales.

EVALUATED INJURY CRITERIA WITH RESPECTIVE BIOMECHANICAL LIMITS [7][12]			
Body region	Criterion	Abbreviation	Limit
Head	Head Injury Criterion (36 ms)	HIC(36)	1000 for
	Resultant head acceleration	a_{3ms}	80 g over 3 ms
Neck	Neck tensile force	$F_{z, \text{tens}, 1ms}$	3.3 kN over 1 ms
		$F_{z, \text{tens}, 45ms}$	1.1 kN over 45 ms
	Neck compression force	$F_{z, \text{compr}, 1ms}$	4 kN over 1 ms
		$F_{z, \text{compr}, 45ms}$	1.1 kN over 45 ms
	Neck shear forces	$F_{xy, 1ms}$	3.1 kN over 45 ms
		$F_{xy, 45ms}$	1.1 kN over 45 ms
	Neck rearward moment	$M_{y, \text{rwd}, \text{max}}$	57 Nm
	Neck forward moment	$M_{y, \text{fwd}, \text{max}}$	190 Nm
Thorax	Neck injury criterion	NIJ_{max}	1
	Resultant thorax acceleration	a_{3ms}	60 g over 3 ms
	Chest deflection	$Defl_{\text{max}}$	75 mm
	Viscous Criterion	VC_{max}	1 m/s
Pelvis	Resultant pelvis acceleration	a_{3ms}	60 g over 3 ms
Femur	Femur axial force	$ F_z _{\text{max}}$	10 kN

Ilustración 58: Límites y glosario para el estudio de simulaciones de Airbag

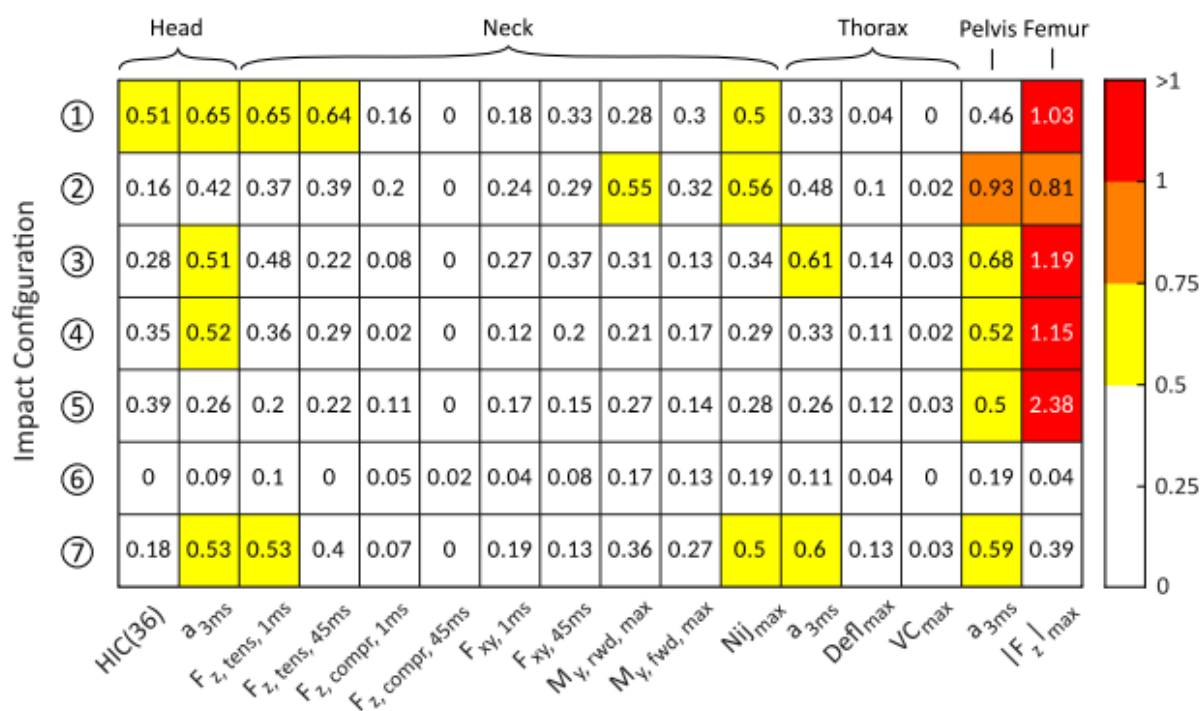


Ilustración 59: Resultados de cada modelo en porcentaje con respecto a los límites

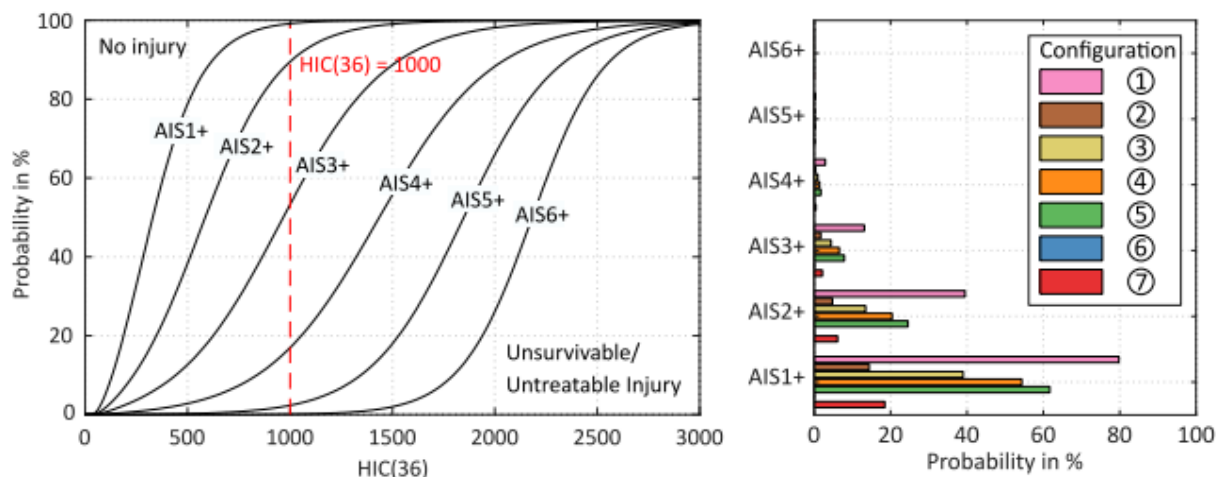


Ilustración 60: AIS de cada modelo y probabilidad asociada

A partir de esta evidencia, se pueden articular propuestas innovadoras para un nuevo plan de seguridad. En primer lugar, se pueden sacar conclusiones como que se debería promover la I+D en "sistemas de seguridad integrados" que combinen retención y protección, superando el enfoque en componentes únicos. El plan puede proponer la creación de una nueva categoría de motocicletas de alta seguridad con incentivos fiscales. En segundo lugar, se debe abogar por una nueva normativa de certificación que exija pruebas virtuales en múltiples escenarios de impacto, siguiendo el ejemplo de la metodología de este estudio. Esto garantizaría que los sistemas de seguridad sean eficaces en condiciones realistas y variadas. Finalmente, este estudio proporciona la evidencia necesaria para abrir un debate serio y basado en datos sobre el paradigma de la retención del piloto. Lejos de ser una idea descabellada, la ingeniería moderna demuestra que puede ser la clave para un salto cualitativo en la seguridad, con el potencial, como sugieren los autores, de crear una motocicleta tan segura que pueda usarse sin necesidad de casco ni ropa de protección, un cambio revolucionario para la movilidad.

- Informe de equipos de protección individuales y nuevos criterios para su homologación

Otro de los estudios vistos es más bien un proyecto conocido como PIONEERS (Protective Innovations of New Equipment for Enhanced Rider Safety), con la contribución de la organización IDIADA. Este estudio como se verá no solo se centra en el estudio del equipamiento de los

conductores de motocicletas, sino también, va más allá, queriendo actualizar los criterios de simulaciones y mediciones de ensayos de accidentes. Esto podría suponer generar propuesta dentro del plan propio que tengan soporte de organizaciones concienciadas en ensayos como IDIADA, y que buscan tener los mejores criterios para poder homologar sistemas de seguridad en motos. Pudiendo incluso proponerse como medida innovadora dentro de la propuesta de plan, para homologar una norma a nivel español o ampliarlo a Europa sobre una ampliación de obligatoriedad de EPIs (elementos de protección personales individuales) para conducir motos y una ampliación de los requisitos que estos deben cumplir para poder ser homologados.

En este contexto, el documento técnico en cuestión es "D3.1 Test procedures for PPE, helmet and full vehicle⁹⁵". Este es un manual metodológico que establece un estándar científico de vanguardia sobre cómo se debe evaluar y certificar la eficacia de los Equipos de Protección Individual (EPI) para motoristas, con un foco especial en los sistemas de airbag. Su análisis permite construir una crítica sólida a los estándares actuales y proponer un marco regulatorio innovador basado en la evidencia.

La deficiencia de muchos estándares de homologación actuales, como la norma EN 1621, reside en su simplismo y su falta de correspondencia con los escenarios de accidentes reales. El documento de PIONEERS ataca esta debilidad proponiendo una metodología de prueba que se sustenta en el realismo y el rigor biomecánico. En lugar de ensayos de impacto genéricos, se definen pruebas que simulan escenarios de colisión complejos y frecuentes, como el impacto de un motorista contra el lateral de un vehículo. Para medir las consecuencias, se especifica el uso de maniqués de ensayo (ATDs) de última generación, como la familia THOR, cuya respuesta imita con mucha mayor precisión al cuerpo humano. El avance más significativo reside en los criterios de lesión utilizados: se propone ir más allá de simples mediciones de fuerza para adoptar métricas como el Criterio Viscoso. Este criterio, que mide la velocidad y magnitud de la compresión de los tejidos, es un predictor mucho más fiable de las lesiones graves en órganos internos (de nivel AIS 4 o superior), que son, en última instancia, las que determinan la mortalidad.

La adopción de un estándar de prueba basado en el enfoque PIONEERS tendría implicaciones profundas y beneficiosas para la seguridad. Permitiría superar el sistema binario actual de

⁹⁵ «Deliverable-D3.1».

"homologado/no homologado", que aporta información muy limitada al consumidor. En su lugar, se podría establecer un sistema de clasificación por niveles de protección (por ejemplo, Nivel 1, 2 y 3, o A, B, C) basado en el rendimiento cuantificable del equipo en una variedad de escenarios de impacto realistas. De esta forma se podría acompañar una medida de obligatoriedad de EPIs que actualmente no son obligatorios, como las chaquetas o sistemas de protección de piernas, con un sistema de homologación más robusto y que de más información al cliente, para aumentar también la confianza en estos sistemas y que se pueda fomentar su uso.

- Estudios sobre los elementos de protección de motoristas y como estos reducen las consecuencias de accidentes de motos

Hay numerosos estudios e informes sobre la mejora que suponen los ya mencionados elementos de protección individual en la reducción de las lesiones en accidentes. Un estudio australiano (de Rome et al. (2011)) encontró que los motoristas accidentados eran significativamente menos propensos a resultar heridos o ser hospitalizados si usaban chaqueta, pantalones o guantes de moto en el momento del choque⁹⁶. En concreto, el uso de chaqueta con protecciones redujo en ~21% la probabilidad de hospitalización ($RR=0,79$). Referido RR con "Relative Risk", medida que compara la probabilidad de que un evento ocurra en dos grupos diferentes, es decir en este caso, el riesgo de sufrir una lesión o ser hospitalizado llevando elementos de protección o no, siendo un $RR<1$ para aquellos que suponen menor riesgo de lesión el uso de elementos de protección que el no usarlos. Para el uso de pantalones especializados la redujo ~51% ($RR=0,49$) y los guantes en ~59% ($RR=0,41$). Además, cuando las prendas incluían protecciones rígidas o acolchadas integradas (armadura), se observó una disminución significativa de lesiones en las regiones correspondientes: torso superior ($RR=0,77$, ~23% menos riesgo de lesión), manos y muñecas ($RR=0,55$, ~45% menos), piernas ($RR=0,60$, ~40% menos) y pies/tobillos ($RR=0,54$, ~46% menos). Incluso calzar botas gruesas (aunque no fuesen botas específicamente de moto) mostró un efecto protector frente a lesiones en pies comparado con usar calzado normal ($RR\approx 0,46$). Estos datos sugieren que la protección personal reduce tanto la incidencia como la severidad de las lesiones más comunes,

⁹⁶ de Rome et al., «Motorcycle Protective Clothing».

particularmente las abrasiones, laceraciones y contusiones (lesiones AIS 1–2), al interponer capas resistentes y materiales disipadores de energía entre el cuerpo del motorista y las superficies de impacto. Coincidiendo con ello, un estudio más reciente realizado en Francia (Wu et al., 2019) con casi mil motoristas heridos reportó que vestir equipamiento completo se asocia a una marcada disminución de lesiones cutáneas en extremidades: por ejemplo, llevar chaqueta o guantes reduce el riesgo de lesiones superficiales en brazos en torno a un 64%, y usar ambos a la vez lo reduce hasta un 72% respecto a no llevar ninguna protección⁹⁷. En las piernas, la combinación de pantalón de moto más calzado reforzado disminuyó en ~40% la probabilidad de lesiones superficiales en extremidades inferiores (RR=0,60). Importa destacar que este efecto protector se atribuye principalmente a la reducción de lesiones de piel (raspones, cortes) más que a moratones interno, lo cual es consistente con la función esperada de estas prendas: alta resistencia a la abrasión y la penetración, manteniendo la integridad de la piel del motorista incluso al deslizar por el pavimento.

Si bien la evidencia es contundente en cuanto a la mitigación de lesiones leves y moderadas, los resultados son más heterogéneos respecto a la prevención de lesiones graves (AIS ≥ 3) como fracturas, dislocaciones o traumatismos severos. En el estudio francés de 2019, el uso de chaquetas, pantalones o guantes no mostró una reducción estadísticamente significativa del riesgo de fracturas, dislocaciones ni esguinces en general. Una excepción importante fueron las botas motociclistas altas o de tobillo, las cuales sí se asociaron a menor incidencia de fracturas de tobillo o pie (RR $\approx$ 0,43, es decir, alrededor de un 57% menos riesgo). Este hallazgo refleja la función de las botas rígidas: estabilizar el tobillo y proteger los huesos del pie ante impactos o aplastamiento, reduciendo así las lesiones óseas en esa zona. Sin embargo, para otras regiones corporales (piernas, brazos, columna), no se observó en ese estudio una disminución clara de fracturas por el solo hecho de llevar protecciones estándar, lo cual sugiere que las energías involucradas en colisiones graves suelen exceder la capacidad de absorción de la indumentaria convencional. De igual forma, en el trabajo de de Rome et al. (2011) citado antes, no se pudo detectar una reducción significativa del riesgo de fracturas asociada específicamente al uso de armaduras insertas en la ropa, pese a la reducción general de lesiones. Esto no implica que las protecciones sean inútiles ante impactos

⁹⁷ Wu et al., «Effectiveness of Protective Clothing for Motorized 2-Wheeler Riders».

severos, sino que las fracturas dependen de fuerzas muy altas y de mecanismos complejos donde el beneficio del equipamiento actual es modesto.

La evidencia examinada demuestra que el equipamiento de protección personal (EPP) del motorista reduce de forma significativa la lesividad en los accidentes, sobre todo en lo referente a lesiones leves y moderadas (AIS 1-2). Elementos como chaquetas con protecciones, guantes, pantalones reforzados y botas robustas han mostrado disminuir la incidencia de abrasiones, laceraciones y contusiones en una proporción muy importante. Además, ciertas piezas como las botas reducen sustancialmente lesiones graves en extremidades (fracturas de tobillo/pie). No obstante, el EPP actual tiene limitaciones para prevenir por completo lesiones de alta gravedad (AIS ≥ 3) en choques severos; por ello, es vital mejorar continuamente su calidad y fomentar su uso masivo. La mejora de la calidad puede venir de la mano de proyectos como el sugerido y mencionado de PIONEERS, y el fomento de su uso es uno de los objetivos que tiene la DGT, pero debe ser más concienciador de lo que se ha visto hasta ahora e incluso plantear la ya mencionada obligatoriedad de algunos de estos elementos (a parte del casco y los guantes, que ya son obligatorios en España).

- Estudios sobre cómo afecta el Airbag de chaqueta a las consecuencias de accidentes

Un estudio reciente (Cherta-Ballester et al., IRCOB 2024) investigó cómo la activación de un airbag portátil bajo una chaqueta de moto influye en la protección torácica. En las pruebas de impacto frontal sobre el tórax de un maniquí, se compararon tres configuraciones: sin protección, con chaleco airbag solo y con airbag inflado bajo una chaqueta. Los resultados mostraron que el airbag reduce notablemente la energía transmitida al piloto en todos los casos, y dicha efectividad se mantiene o incluso mejora al usarse bajo una chaqueta, especialmente a altas velocidades de impacto⁹⁸.

⁹⁸ Cherta-Ballester et al., *Investigating the Effects of Inflating a Wearable Airbag Under a Motorcycle Jacket*.

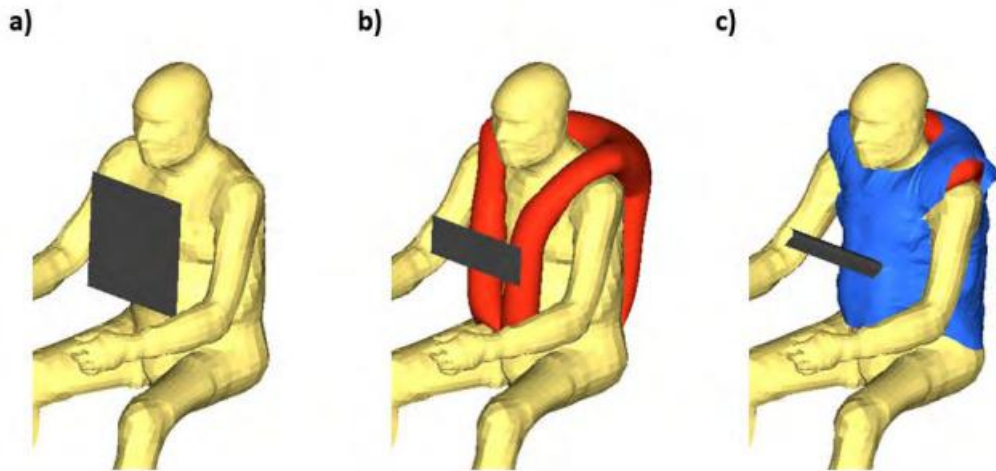


Ilustración 61: Configuraciones de las simulaciones

El inflado bajo la chaqueta provoca que el airbag adopte una forma más aplanada y confinada, aumentando su presión interna y cubriendo una superficie corporal más amplia, lo que distribuye mejor las fuerzas del golpe. De este modo se logra una reducción adicional de la aceleración que sufre el tórax: por ejemplo, en impactos severos (~ 9 m/s) el uso conjunto de chaqueta+airbag redujo la deflexión torácica máxima para algunos impactos en ~ 5 mm más y el Criterio Viscoso (VC) en $\sim 0,24$ m/s más, comparado con el airbag solo. En el mejor de los casos, el airbag bajo chaqueta llegó a disminuir hasta un 52% el valor de VC (lesiones de tejidos blandos) respecto a no llevar protección. Además, la chaqueta actuó como “envolvente”, limitando el movimiento del airbag durante la compresión y evitando que el gas se redistribuya fuera de la zona de impacto. Como resultado, el impacto se reparte sobre un área mayor y se incrementa el tiempo de frenado del cuerpo, atenuando aún más la fuerza pico transmitida. Cabe destacar que no se detectaron lesiones por la propia inflación del airbag incluso bajo la chaqueta: la compresión torácica máxima inducida por el inflado fue apenas del 3,94% (10,6 mm), muy por debajo del umbral de lesión AIS 1 en costillas (24% de compresión). Esto confirma que desplegar el airbag no causa daños internos al piloto, a la vez que aporta una protección sustancial en el momento del choque.

A continuación, se muestra resultados de las simulaciones y explicación de las gráficas obtenidas:

TABLE II
MAXIMUM CHEST DEFLECTION DURING AIRBAG INFLATION (PRESSURE AND VOLUME
COEFFICIENTS IN BRACKETS)

Inflator	AB	AB+J
<i>I1</i>	0.74 mm (P, V)	6.16 mm (1.37*P, 0.92*V)
<i>I2=1.2*I1</i>	0.71 mm (1.57*P, 1.14*V)	8.42 mm (2.03*P, 1.03*V)
<i>I3=1.5*I1</i>	0.33 mm (2.17*P, 1.28*V)	10.58 mm (2.78*P, 1.15*V)

Ilustración 62: Tabla de explicación de Infladores Airbag

Esta primera gráfica muestra el criterio que explica la siguiente, en ella se identifica cada tipo de inflado, y la deflexión del pecho en función de cada inflador. En los ensayos se realizaron pruebas a distintas velocidades para caso sin airbag, y con airbag (tanto de chaleco, como bajo chaqueta), y dentro de los casos de airbag para los tres tipos de inflado.

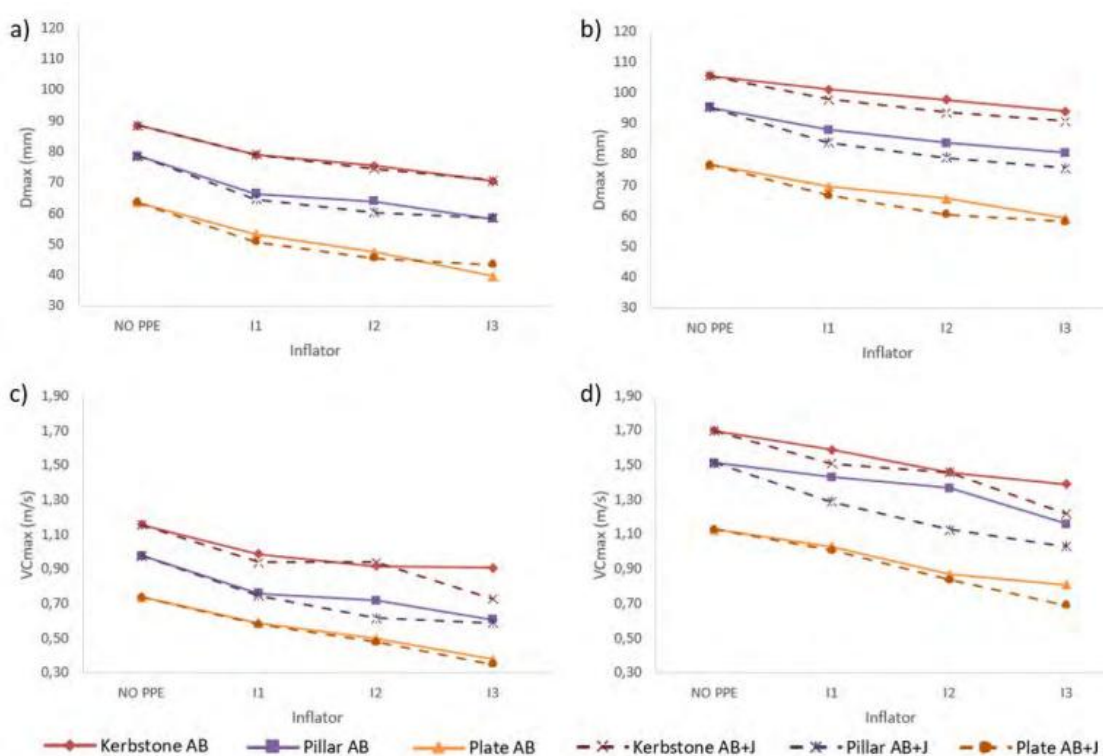


Fig. 4. Maximum chest deflection (D_{max}) and Viscous Criterion (VC_{max}) vs. mass injection. a) D_{max} at 7 m/s; b) D_{max} at 9 m/s; c) VC_{max} at 7 m/s; and d) VC_{max} at 9 m/s.

Ilustración 63: Resultado de simulaciones

En esta segunda se muestran los resultados, incluyendo los ya comentados a 9m/s y las diferencias entre un airbag y otro.

En conclusión, inflar un airbag debajo de una chaqueta aumenta su eficacia protectora al combinar la absorción de energía del cojín de aire con la contención y distribución adicional que proporciona la prenda exterior. No obstante, los autores señalan la importancia de optimizar este binomio airbag-chaqueta: una presión excesiva o un diseño no adecuado podría reducir la capacidad de absorción al volverse demasiado rígido, por lo que es necesario equilibrar volumen, presión y cobertura para maximizar la mitigación de lesiones. También sugieren explorar combinaciones con protectores pasivos (como espalderas rígidas) para mejorar la protección en impactos muy penetrantes, dado que el estándar actual (EN 1621-4) evalúa airbags solo con impactos agudos y no considera plenamente su mayor beneficio: la absorción de energía sobre superficies amplias. En definitiva, las pruebas de IRCOB 2024 evidencian que un airbag bien ajustado bajo la chaqueta reduce drásticamente la carga biomecánica sobre el torso en un accidente, disminuyendo la deflexión del pecho y el riesgo de lesiones internas graves sin generar efectos indeseados. Esto solo refuerza la idea de que los airbags para motociclistas (en particular los de configuración debajo de chaqueta) pueden salvar vidas y deberían de ser un elemento que se use con mayor frecuencia.

6.4.3 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

Como se ha visto, son diversos estudios empíricos (tan solo se ha escrito a cerca de una pequeña muestra de todos los estudios que existen sobre esta temática) los que demuestran la eficacia de sistemas de equipamiento y protección por parte del motorista. Se ha podido ver cómo se disminuyen significativamente tanto la incidencia como la gravedad de las lesiones. Al final, la concienciación de un elemento como el casco (que es el sistema de protección para motoristas que más puede reducir el riesgo de muerte en accidente) que es obligatorio y que todo el mundo tiene claro que salva vidas, debe servir como precedente para que otros sistemas también sean implementados. A partir de los estudios se ha podido ver como los distintos elementos de protección personal pueden llegar a marcar diferencias (si son los correctos homologados) y como existe en la mayoría de casos una disminución significativa de lesiones en las regiones corporales cubiertas. Además, en particular el caso del airbag ya sea integrado en la chaqueta o como tipo chaleco, aporta una gran defensa al tórax y abdomen, como cabría esperar y como confirman estos estudios centrados en simulaciones y ensayos con dummies.

En resumen, el uso combinado de casco, indumentaria con protecciones (ya sean chaquetas de protección o pantalones), guantes, botas y airbag constituye la barrera de defensa más efectiva para reducir la lesividad y la mortalidad de los motoristas. Cada elemento protege regiones vitales (la cabeza, la caja torácica, la columna, las extremidades) y, respaldado por la evidencia de estudios como MAIDS, de Rome, Wu o IRCOBI, y de muchos otros que no se han mencionado, se puede afirmar que maximizar la adopción de estos equipos salvavidas es una estrategia fundamental para disminuir los niveles de AIS en caso de accidente y evitar muertes.

Capítulo 7. PROPUESTA DE PLAN DE REDUCCIÓN DE ACCIDENTES Y MORTALIDAD DE ESTOS

Se han analizado ya causas externas y datos específicos de accidentes (mediante el análisis de datos y visualización de bases de datos con Python), se ha analizado también la tecnología de las motocicletas, tanto actuales como futuras, y se ha recopilado la información del plan actual de la DGT y del histórico de los planes de reducción de accidentes de motoristas. Con todo esto, se puede comenzar a plantear un plan propio.

A pesar de múltiples planes desarrollados en España desde 2007, la siniestralidad asociada a los usuarios de motocicletas y ciclomotores no solo sigue siendo preocupante, sino que en los últimos años ha vuelto a mostrar una tendencia ascendente. Esta realidad contrasta con los avances observados en otros segmentos del parque móvil, donde las cifras de mortalidad y lesiones graves han experimentado una cierta reducción. La memoria desarrollada en este Trabajo Fin de Máster ha permitido constatar esta desigual evolución, gracias a un análisis integral que ha combinado la revisión crítica de políticas públicas, la evaluación técnica de tecnologías disponibles y el estudio detallado de datos de siniestralidad reales.

En este contexto, el presente capítulo tiene por objetivo exponer una propuesta propia de plan de reducción de accidentes y mortalidad en motocicletas, sustentada tanto en los aprendizajes derivados de los fracasos parciales de los planes anteriores como en las oportunidades que ofrece el desarrollo tecnológico actual. Para ello, se estructuran una serie de medidas agrupadas por bloques estratégicos.

7.1 ABS Y C-ABS OBLIGATORIO EN TODAS LAS MOTOCICLETAS NUEVAS, INCLUIDAS LAS $\leq 125\text{CC}$, A PARTIR DE 2027

Los análisis de siniestralidad realizados en el capítulo 5 muestran que casi la mitad de los accidentes urbanos con heridos graves afectan a scooters ligeros sin ABS ni CBS. Al mismo tiempo, los estudios

técnicos revisados en el capítulo 6 atribuyen al ABS una reducción de la mortalidad próxima al 30% y, en su versión combinada o en curva (C-ABS), la capacidad de evitar derrapes al frenar inclinados. Sin embargo, la regulación europea sigue permitiendo que las motos de pequeña cilindrada prescindan de este sistema, y los planes españoles no han corregido ese vacío.

La medida propone cerrar esa laguna, y se propone como ejemplo una medida específica que pudiese ser: El sobrecoste industrial que acarrea montar ABS en una motocicleta ligera se sitúa hoy entre 150 € y 300 € por unidad. El rango inferior lo cita la BAST alemana en su análisis coste-beneficio (150 € por sistema en 2007, con abaratamiento progresivo previsto) el extremo alto refleja el precio minorista estimado para un kit completo de fabricantes como Yamaha en 2015 (~300-350 €). Pese a ese precio, los mismos estudios concluyen que el ABS puede conseguir ratios de beneficio-coste >4, referidos a su efectividad real y gracias a la caída de la mortalidad (22-40 %) y de las lesiones severas. La fiscalidad local ya maneja márgenes amplios: muchas ordenanzas del IVTM aplican bonificaciones ambientales del 15 % al 75 % para turismos eficientes⁹⁹

A la inversa, se propone que, a partir de 2029, las motos con más de 15 años y sin ABS tengan un recargo del 15 % en la cuota del IVTM, cuantía coherente con los porcentajes que la Ley de Haciendas Locales ya permite modular. El incentivo privado también existe: aseguradoras que operan en España anuncian descuentos de entre el 5 % y el 10 % en la prima por disponer de elementos de seguridad básicos como ABS o airbag. Coordinar este descuento con la reforma fiscal anterior refuerza la adopción voluntaria antes de la fecha límite de 2027 y acelera el retorno social de la medida. Con esta reforma se aspira a rebajar la mortalidad de motoristas, alineando el parque español con las mejores prácticas europeas y corrigiendo una de las principales ineficiencias señaladas en los planes de la DGT.

7.2 ELEVACIÓN DEL ESTÁNDAR MÍNIMO DE CASCO Y EXTENSIÓN DEL EQUIPAMIENTO DE PROTECCIÓN PERSONAL (EEP)

El casco sigue siendo el único EPI obligatorio en España (este mismo año, como se mencionó anteriormente en la memoria, se está implantando con el plan último de la DGT el hacer obligatorio

⁹⁹ «of-no-03-impuesto-sobre-vehiculos-de-traccion-mecanica (1)».

el uso de guantes y los cascos integrales, aunque no hay nada oficializado hoy en día, pese a que la medida fue anunciada el año pasado), a pesar de que gran parte de la lesividad grave se concentra en cabeza y parte superior del tronco (cap. 6). El texto describe la nueva homologación ECE 22.06 (en vigor para modelos fabricados desde julio 2022) como un salto cualitativo: triplica los puntos de impacto ensayados (de 6 a 18), introduce pruebas oblicuas y a distintas velocidades, y exige resultados más estrictos antes de conceder la etiqueta. No obstante, los cascos 22.05 y los “jet” abiertos pueden seguir usándose indefinidamente. Se propone:

- 01-2026: fin del periodo transitorio. En vías públicas solo se permite circular con cascos certificados ECE 22.06; las versiones 22.05 quedan restringidas a uso recreativo cerrado.
- Paralelamente, se prohíbe el ya anunciado fin del casco abierto, solo permitiendo el uso de cascos modulares e integrales. Continuando así con la medida que se propuso en 2024 por la DGT pero que parece no terminar de implantarse.

El motivo de esto es porque el casco tipo 22.06 atenúa mejor el pico de aceleración y el giro rotacional, dos mecanismos clave de lesión craneal grave. Aunque no se ha encontrado un porcentaje de reducción de lesiones de los cascos integrales con respecto al tipo jet, se destacan por ser cascos que influyen de mayor manera en la severidad de las lesiones rotacionales craneales, que no son tan reducibles con cascos tipo jet.

Para los motoristas esta medida puede ser cara o que no estén de acuerdo con ella. Por ello, se deberían realizar medidas como una deducción fiscal transitoria, con descuentos del 20% o más para aquellos usuarios que compren un casco 22.06 durante el año 2025. U otras medidas complementarias como que existan descuentos aseguradores (como de un 5%) en la prima para quienes acrediten el uso de casco integral 22.06, ya que este tipo de descuentos, como se ha mencionado, existen en varias compañías aseguradoras.

Por otro lado, el capítulo 6 cuantifica la aportación real de cada prenda certificada: las chaquetas con protecciones reducen un 21 % la probabilidad de hospitalización, los guantes homologados recortan un 59 % el riesgo de lesión grave en mano y muñeca ($RR = 0,41$) y las botas altas disminuyen las fracturas de pie y tobillo en torno al 57 % ($RR \approx 0,43$) . Con esa evidencia, el plan estipula:

- Chaqueta y guantes certificados obligatorios en vías interurbanas (recomendados en ámbito urbano).
- Botas reforzadas obligatorias para motoristas profesionales (reparto, mensajería) a partir de 2027.

Aunque la DGT anunció en 2024 su intención de hacer efectivos en 2025 tanto el casco integral como los guantes obligatorios para todos los usuarios, la medida nunca llegó a quedar formalmente publicada en el BOE ni a incorporarse al Reglamento General de Circulación. Este plan, por tanto, consolida esa intención y la eleva a rango normativo.

La combinación casco integral 22.06 + chaqueta + guantes + botas protege precisamente las regiones corporales donde los capítulos 5 y 6 de la memoria registran mayor incidencia de lesiones (abrasiones, fracturas distales y traumatismos craneoencefálicos), alineando el requisito legal con la mejor evidencia empírica disponible.

7.3 SISTEMA DE CONTROL DE PRESIÓN DE NEUMÁTICOS (TPMS)

OBLIGATORIO EN TODAS LAS MOTOCICLETAS NUEVAS

Actualmente ningún reglamento europeo ni español exige TPMS (sistemas de control de presión sobre los neumáticos) en la categoría L (motos, ciclomotores), pese a que turismos lo incorporan desde 2014 y los vehículos pesados desde 2024. El capítulo 6 de la memoria subraya que una presión incorrecta puede extender la distancia de frenado, reducir el agarre en curva y ser factor en caídas sobre mojado o en bache, mientras la base normativa muestra este vacío legal.

En la propia memoria se ha descrito ya como presiones bajas “reducen la estabilidad y provocan sobrecalentamiento”, presiones altas “pueden producir pérdida de tracción en curva”. Además, como se ha visto en las bases de datos analizadas, es muy frecuente que la razón del fallecimiento de un motorista en un accidente vial sea debido a la salida de vías o a caídas. Estas causas son directamente relacionables con factores varios, entre ellos, pudiendo ser una mala presión en los neumáticos. Pérdidas de tracción en curva o reducciones de estabilidad son claramente factores

que influyen e incrementan la peligrosidad de que ocurran este tipo de accidentes. Cap. 6 indica que varios fabricantes ya montan TPMS de serie en modelos de gama media-alta, lo que demuestra viabilidad industrial.

Propuestas:

- A partir de una fecha futura (como pueda ser el año 2027) toda motocicleta homologada y vendida en España deberá incluir TPMS directo o indirecto que avise al conductor por debajo del 20 % de la presión recomendada.
- Se propone que se abra una ventana de retrofit voluntario (2026-2029) bonificada para la instalación de TPMS certificado en motos ya matriculadas.
- A partir de un par de años tras la imposición de la medida, que se imponga un recargo de por ejemplo 10 % en el IVTM a las motocicletas sin TPMS ni ABS, igualando el criterio propuesto en la Medida 1.

Aunque la memoria no ofrece un porcentaje AIS específico, diversos informes citados señalan que la pérdida de adherencia por presión inadecuada explica una “parte significativa de las caídas, especialmente en curva o sobre mojado”. Incorporar TPMS reduce ese riesgo al alertar antes de que la degradación sea crítica; la medida completa así la cadena neumático-suspensión-frenada y refuerza la efectividad de ABS y C-ABS implantados en la Medida 1.

7.4 IMPLANTACIÓN PROGRESIVA DEL AIRBAG PARA MOTORISTAS

El capítulo 6 dedica varias páginas al análisis de airbags personales y montados en la moto: a lo mejor la implementación de airbags en motocicletas quedan apartados por ser sistemas más rudimentarios (aunque como se ha visto de buena eficacia contra colisiones frontales) pero se ha visto como se reproducen ensayos en MADYMO y LS-DYNA donde un chaleco inflable reduce la aceleración torácica máxima un 71 % y la probabilidad de lesión AIS 3+ en tórax y columna un 78 % en impacto frontal a 50 km/h. En el mismo capítulo se cita el estudio europeo PIONEERS, que asigna a los airbags personales un beneficio coste-eficacia alto siempre que la tasa de adopción supere el 35 % de la flota, algo inalcanzable sin obligación legal ni ayuda económica. La clave para conseguir que estos sistemas se adopten y estén presentes en los equipamientos obligatorios de los motoristas, es que haya una implantación progresiva. Se propone como medida ejemplo:

- A) Fase 1 (enero 2026 por ejemplo): Uso obligatorio de chaleco o chaqueta airbag EN 1621-4 para colectivos profesionales (empleos relacionados con reparto, policía...)
- B) Fase 2 (por ejemplo, enero de 2027): Obligatorio para todos los nuevos permisos A y A2. Para el resto de los usuarios una implantación voluntaria bonificada.
- C) Financiación: Bonificación directa de hasta 250 € ($\approx 50\%$ del PVP de un chaleco con airbag) con cargo a un fondo anual, deducción adicional del 15 %.
- D) Seguro: Descuento mínimo del 10 % en la prima de responsabilidad civil si el conductor acredita airbag activo, siguiendo la práctica ya anunciada por aseguradoras en otras medidas relacionadas con la seguridad vial 2025.

Como justificación, ya se ha visto como en los capítulos anteriores se mencionaba y mostraba la importancia y relevancia real de los airbags en accidentes de motocicletas. Las salidas de las vías con airbags integrados en protecciones o como chalecos, reducirían en gran medida los daños humanos provocados por el accidente, teniendo en cuenta que además de craneales, muchas de las lesiones mortales son torácicas. Precisamente simulaciones evidencian que el airbag baja el índice de lesión torácica por debajo del umbral AIS 3 en escenarios modelados.

Esta medida complementa a las anteriores: el ABS y el TPMS disminuyen la probabilidad de choque; el casco 22.06-integral protege la cabeza; el airbag cubre el pecho y la columna, cerrando el círculo de protección frente a los impactos frontales más lesivos que la memoria identifica.

7.5 BONIFICACIONES POR INCORPORACIÓN DE SISTEMAS ARAS

Tener un control de los sistemas ARAS (radar frontal con aviso de colisión (FCW), control de crucero adaptativo, detector de ángulo muerto (BSD), luces adaptativas en curva o conectividad V2X...) que lleva incluidos una moto permitiría poder dar incentivos a esos motoristas para extender la implementación de estos (teniendo en cuenta la longevidad media de las motocicletas). Además, las nuevas matriculaciones podrían también recibir bonificaciones al impuesto de matriculación si se incorporan ciertos sistemas ARAS. De esta forma no solo se fomentaría la compra de motos con esta tecnología sino la fabricación de las OEM de este tipo de motos.

A partir del 2026, se podría aplicar que las motos nuevas que salgan de fábrica con al menos ciertos ARAS activos (uno de ellos aviso de colisión frontal o control de crucero adaptativo, por ejemplo)

reciban un 30 % de rebaja en la cuota de matriculación (como porcentajes que Hacienda aplica hoy a los híbridos enchufables). Se podría también incluir descuentos de retrofit para incorporar kits de ARAS certificados. Todo esto para fomentar que se vayan incorporando estos sistemas hasta volver obligatorios los más necesarios. Con los datos de los registros la DGT podría publicar que porcentaje del parque motor incorpora sistemas como el FCW, ACC, BSD...



Ilustración 64: Sistemas ARAS en motocicletas¹⁰⁰

El incentivo fiscal favorecerá que los usuarios que renuevan moto opten por versiones con ayudas electrónicas y que las OEM trasladen estos paquetes a gamas medias, algo imprescindible si se tiene en cuenta la vida útil media ≈ 17 años del parque español: sin estímulo, la penetración de ARAS avanzará demasiado despacio para influir en la siniestralidad.

7.6 FOMENTO DE LA ENTRADA DE ENTIDADES COMO EURONCAP O SIMILARES

Uno de los aspectos que más claramente diferencia la seguridad pasiva y activa de las motocicletas respecto a los turismos es la ausencia de un sistema de evaluación comparativa estandarizado. . Mientras los coches cuentan con programas como Euro NCAP que valoran el rendimiento en

¹⁰⁰ Pérez, «Tras los ADAS de los coches llegan los ARAS a las motos».

impacto, sistemas de ayuda a la conducción y protección de ocupantes con una escala comprensible y pública, en motocicletas no existe nada parecido. Por ello se propone:

1. **Impulso de una agencia pública o consorcio técnico independiente**, similar a Euro NCAP, encargado de evaluar: presencia y calidad de sistemas activos (ABS, TCS, C-ABS, TPMS, iluminación adaptativa, e-Call); compatibilidad con equipamiento personal (p. ej., posibilidad de integración con airbag); geometría y estructura en caso de impacto (valoración biomecánica del chasis, asiento y elementos cortantes); comportamiento dinámico básico con frenadas y maniobras de emergencia en pista.
2. **Etiquetado voluntario de seguridad**, con una escala clara (1 a 5 estrellas) visible en ficha técnica, concesionarios y plataformas de venta, como ya se hace con los consumos o emisiones.
3. **Vinculación de incentivos públicos a dicha clasificación**: la bonificación fiscal propuesta en la medida 5 (ARAS) se aplique solo a modelos con mínimo 4 estrellas; las flotas públicas y profesionales (policía, reparto) solo puedan adquirir motocicletas con al menos 4 estrellas en protección activa.

Al no existir una clasificación estandarizada, ni el fabricante se ve presionado a mejorar ni el usuario a elegir de forma informada. Esta medida llenaría ese vacío, y permitiría que las decisiones de compra, las ayudas fiscales y los contratos públicos se alineen con los modelos más seguros. Está claro que hay una limitación muy fuerte y es comenzar un organismo de este tipo de 0, pero ya hay experiencia de sobra en el mundo del automóvil con empresas como la mencionada NCAP, por lo que se podría apoyar, su ya objetivo de entrar en el plano de las motocicletas y conseguir un organismo oficial y estandarizado a nivel global de verdad para medir la seguridad de las motocicletas.

7.7 DESPLIEGUE PRIORITARIO Y MEDIBLE DE BARRERAS DE PROTECCIÓN PARA MOTORISTAS (SPM) Y MEJORA DEL ASFALTO

Como se identifica en el capítulo 5, una proporción considerable de los accidentes mortales de motoristas en vías interurbanas está asociada a salidas de vía, en especial en curvas, donde el piloto pierde el control del vehículo y colisiona contra elementos fijos como postes o guardarraíles sin

protección específica. En el capítulo 3 se recogen menciones a compromisos anteriores de instalación de SPM con normativa UNE 135900 (3.000 km según el plan de 2019–2020), sin que se haya documentado su grado de cumplimiento.



Ilustración 65: SPM¹⁰¹

Por otro lado, aunque el estado del asfalto no es tratado específicamente en mi TFM, las demandas de múltiples asociaciones de motoristas y las quejas recogidas en prensa o canales institucionales indican que el mal estado del firme (en forma de parches, grietas, baches o pintura deslizante) es un factor de riesgo importante para las motocicletas, particularmente en curva o en condiciones de humedad. Por tanto, me parece coherente integrar en esta medida una línea de actuación orientada a identificar y reparar estos puntos en paralelo con la instalación de SPM. Se propone por tanto una medida con fechas y número de tramos ejemplificativas:

1. Inventario inicial de barreras SPM: Antes de julio de 2026, el MITMA y la DGT deben publicar el mapa actualizado de barreras SPM existentes, detallando longitud instalada, ubicación, y tramos pendientes. Se establecerá una trazabilidad clara respecto a lo prometido en planes anteriores.

¹⁰¹ «La Xunta de Galicia instala SPM en Miñor».

2. Selección de tramos prioritarios: Mediante los datos analizados en el capítulo 5, se identificarán los 100 tramos con mayor concentración de accidentes mortales por salida de vía. En estos sectores se actuará con prioridad tanto en la instalación de barreras como en la revisión del estado del firme.
3. Plan de instalación de SPM: Se fija como objetivo realista la protección con barreras homologadas UNE 135900 en al menos 2.000 km hasta 2030, empezando por los tramos críticos. Las barreras deberán cubrir la parte inferior del guardarraíl para evitar contacto directo con el motorista caído.
4. Evaluación del firme y rehabilitación: En paralelo, se revisará el estado del asfalto en esos 100 tramos y se priorizarán como la eliminación de pintura deslizante en curvas. El criterio de actuación será la adherencia efectiva y la homogeneidad del pavimento.
5. Seguimiento público: La DGT publicará cada trimestre el avance físico de instalación de SPM y de rehabilitación de firme. Se comparará la evolución de la siniestralidad en esos tramos frente al periodo anterior, con datos abiertos para su evaluación externa.

De esta forma, se podría medir que realmente se han conseguido lograr los tramos de implantación de mejora de asfalto e introducción de SPM, y no el lanzamiento de propuestas y medidas en cada plan que no llegan a tener una trazabilidad real. De hecho, recientemente en el congreso de los diputados, se llevó como cuestión la pregunta de si se habían cumplido con los objetivos de kilómetros del plan para cubrir con SPM, lo cual denota que no existe una trazabilidad real, o que al menos no es muy visible.

7.8 SEGMENTACIÓN DE MEDIDAS EN FUNCIÓN DEL TIPO DE MOTOCICLETA Y LA MOTORIZACIÓN

Los datos analizados en la BBDD de Madrid 2023 (cap. 5) revelan que la distribución de accidentes y su gravedad varía de forma notable según la cilindrada de la motocicleta y el entorno de circulación. En zona urbana, el 59,9 % de los siniestros corresponden a motos entre 50 y 125cc, mientras que las de más de 125cc representan el 30,9 %. En vías interurbanas esa relación se mantiene, pero con un porcentaje más significativo para los accidentes de motos de gran cilindrada:

el 40,6 % de los accidentes implican motos de gran cilindrada y el 55,5 % a motos de 50-125cc, con un predominio claro de salidas de vía y choques frontales en el grupo de mayor potencia. Estos registros muestran que las tipologías de riesgo, el tipo de maniobra fallida y la gravedad de las lesiones difieren en función de la moto y del perfil del conductor. A la luz de estos resultados y de la evidencia técnica sobre errores frecuente, se propone una estrategia en tres niveles: formación obligatoria específica, segmentación de medidas regulatorias y campañas de comunicación adaptadas. Pudiendo mantener los cursos propuestos por la DGT, pero con una segmentación y obligatoriedad para ciertos casos.

1. Cursos obligatorios de conducción segura para motos de más de 250cc o para el paso de permiso A2 a A:

- Los accidentes interurbanos graves están sobrerrepresentados en motocicletas de media y alta cilindrada. Muchos se relacionan con pérdida de control en frenada o cambios bruscos de dirección, situaciones donde influyen la geometría, la distribución de masas y la respuesta del sistema de frenos, aspectos descritos en el capítulo 6.
- A partir de 2027, se propone endurecer el acceso a motos de más de 250cc o el cambio A2→A. Por lo que se requerirá de un curso práctico más con mayores pruebas de conducción y obligatoriedad con respecto a cursos ya existentes, que incluya: ejercicios de frenada de emergencia con ABS y C-ABS; pruebas de transferencia de peso y trazado de curvas con cambio de radio; módulo teórico sobre geometría del chasis y su efecto en la estabilidad, apoyado en los ejemplos del capítulo 6.
- Esta formación sustituiría al esquema puramente teórico de la prueba de circulación actual y se integra en la red de autoescuelas homologadas, con bonificación parcial si el alumno ya posee un certificado de curso avanzado reconocido por la DGT.

2. Segmentación de medidas regulatorias según cilindrada y entorno:

- Motos ligeras urbanas ($\leq 125\text{cc}$): prioridad en campañas de visibilidad, refuerzo del uso de EPI básico, incentivos a cursos online breves y controles de casco/guantes en entornos de reparto.
 - Motos de gran cilindrada: énfasis en controles de velocidad, promoción activa de airbag personal (ya mencionadas) y revisiones técnicas más estrictas a partir de cierta antigüedad, ya que, como se ha reiterado durante la memoria, se muestra en estos vehículos un aumento de la gravedad de las lesiones en salidas de vía, por lo que reducir el mayor número de causas externas a la conducción del motorista, como lo es el deterioro del vehículo, tiene que ser una prioridad para reducir los accidentes y mortalidad.
3. Campañas de comunicación basadas en marketing conductual, segmentadas por edad y uso:
- La efectividad de las campañas genéricas ha sido limitada, como se indica en el capítulo 3, por no distinguir los motivos de viaje ni las plataformas de información preferidas por cada grupo. No se quiere decir que no sean necesarias, ya que precisamente las campañas de la DGT en anuncios de televisión siempre suelen generar impacto por su contenido, pero igual es mejor personalizar más las campañas de comunicación, aparte de tener campañas generales para televisión.
- Para usuarios jóvenes y de ocio se podrían emplear vídeos y contenido del motociclismo urbano, con vídeos breves y testimonios reales en redes sociales. Un buen ejemplo ha sido la campaña reciente con pilotos de motocicletas con gran renombre como Dani Pedrosa.
 - Para conductores de mediana edad se utilizarán mensajes prácticos (ahorro, fiabilidad, seguridad para la familia) difundidos en medios digitales de movilidad.
 - Para el colectivo senior, se optará por formatos más extensos y demostraciones presenciales en concentraciones.

7.9 REFUERZO DE INFORMACIÓN DE TRAMOS DE ELEVADA SINIESTRALIDAD

El capítulo 3 de la memoria señala dos carencias reiteradas en los planes previos: ausencia de trazabilidad pública de las actuaciones (por ejemplo, no se ha publicado el grado de ejecución del despliegue SPM) y falta de un tablero de indicadores que permita auditar resultados con mayor frecuencia que el informe anual. Esa opacidad dificulta priorizar, evaluar y corregir los planes en tiempo útil. El capítulo 5, por su parte, centra el análisis en localizar concentraciones de siniestros y justificar decisiones apoyadas en datos, lo que encaja con la idea de focalizar las intervenciones en “puntos negros”. Sobre esa base, esta medida plantea reforzar la información disponible para el propio colectivo motorista y para los gestores públicos, sin duplicar iniciativas ya existentes ni prometer herramientas que la memoria no respalde.

- **Publicación trimestral de un listado abierto de tramos de alta siniestralidad motociclista**
Se propone que la DGT publique, con periodicidad trimestral, un fichero abierto y descargable con la relación de tramos de elevada siniestralidad para motocicletas, clasificados por tipo de vía (urbana/interurbana) y comunidad autónoma. El listado incluirá identificación del tramo tipo de siniestro predominante (salida de vía, colisión lateral) y fecha de última actualización. Este formato cumple el objetivo de transparencia señalado en la memoria (evitar esperar al informe anual para conocer dónde se concentran los siniestros)
- **Integración mínima con servicios de planificación y navegación**
Para favorecer que la información llegue al usuario antes del desplazamiento, se pondrá a disposición de terceros una versión simplificada del listado (formato abierto) que las aplicaciones de movilidad puedan incorporar como aviso previo a ruta. La memoria ya enfatiza la necesidad de pasar de un enfoque declarativo a uno operativo y trazable; ofrecer ficheros abiertos periódicos da cumplimiento a ese objetivo sin añadir desarrollos no contemplados.
- **Cohesión con otras medidas de la memoria y propuestas previas**
Esta medida es complementaria a las actuaciones de infraestructura (SPM y revisión de firme) y alinea el flujo de información con el enfoque de puntos negros

7.10 OTRAS POSIBLES MEDIDAS

Además de las propuestas ya mencionadas, se proponen un par de medidas finales que complementan a las anteriores:

Se propone implantar la obligatoriedad del sistema eCall en todas las nuevas matriculaciones a partir de 2028, complementando las líneas de seguridad activa y pasiva ya contempladas. El dispositivo deberá integrar unidad inercial, detección de impacto/caída, posicionamiento y marcación automática al 112 con posibilidad de anulación manual para evitar falsas alarmas. Para el parque existente, se articulará entre 2026 y 2029 un plan de retrofit con incentivos económicos y verificación anual del correcto funcionamiento en la ITV o en red de talleres adheridos, ofreciendo además bonificaciones en la póliza cuando se certifique la operatividad. La implantación se acompañará de un protocolo técnico de homologación y de interoperabilidad con los centros 112, con registro de activaciones (reales y falsas) para mejorar la calibración y reducir el ruido operativo. Se prevé un paquete de garantías de protección de datos (limitación estricta de la información transmitida y conservación mínima). La evaluación de resultados se realizará con indicadores de cobertura del sistema en el parque, tiempo medio desde el siniestro hasta el aviso al 112 y variación de la letalidad en siniestros de salida de vía y caídas frente a series históricas y grupos de control. Todo esto no tendría una gran complejidad, ya que los sistemas ya son existentes en motocicletas, y en coches ya están implementados, así como el sistema de homologación y avisos pertinentes, todo sería complementarlo a las motocicletas (como ya hacen aquellas que tienen ya este sistema).

Además, se podrían seguir implementando ARAS progresivamente con el paso de años y actualizaciones del plan. Como, por ejemplo, implementar sistemas mencionados como la señalización de frenada de emergencia, para deceleraciones bruscas o actuación del ABS, la luz de freno emita parpadeos de emergencia en los intermitentes, como ocurre y está ya implementado en todos los coches nuevos.

Otra posible medida para robustecer la fiabilidad de sistemas internos de la motocicleta podría ser endurecer pruebas de la ITV respecto a suspensiones o neumáticos. Los neumáticos se revisan por desgaste, pero no por años, se podría por tanto implementar una verificación de fecha, para que

neumáticos con más de 5 años, por ejemplo, tengan un límite de desgaste más restrictivo para pasar la prueba.

Todas estas medidas podrían suponer el desarrollo de un plan de aquí a los próximos años, y que se revisara periódicamente e incluso se renovara si fuese necesario. El objetivo no es otro que comenzar a implementar medidas que realmente tengan impacto en las métricas de accidentes anuales y de fallecidos que usan motocicletas, ya que no hay efectividad a este nivel en los planes recientes de la DGT. La suma de la concienciación real, la obligatoriedad de más sistemas de seguridad pasiva y activa y la mejora de las carreteras parecen la combinación necesaria para conseguir este objetivo. Existen precedentes europeos de planes que consiguen grandes resultados como la “Visión cero”, que entra dentro de la seguridad vial europea para 2030, pero que nació en Suecia, y tuvo resultados buenos, tanto es así, que son el país europeo con menor número de accidentes viales. El problema, su viabilidad, a nivel normativo, operativo y el que seguramente sea el mayor impedimento, el nivel económico.

Capítulo 8. ANÁLISIS DEL PLAN PROPUESTO

Como un primer análisis del plan propuesto, se realiza un examen de viabilidad más centrado a nivel operativo y normativo (incluyendo las distintas propuestas mencionadas en el capítulo anterior). Se valora, para cada medida, el nivel competencial (UE/UNECE vs España), el tipo de instrumento requerido (reglamento europeo, real decreto, orden ministerial, directriz técnica), la madurez técnica, las barreras de aceptación y un juicio de viabilidad (alta / media / compleja). La viabilidad será una estimación propia de cada medida, en base a como de implementada esta ya (si existe, pero no es obligatoria, por ejemplo) o a barreras normativas que se tengan que aprobar a nivel europeo.

ABS y C-ABS en todas las motos (incluidas $\leq 125\text{cc}$)

La obligación de ABS hoy está armonizada a nivel UE en la Reg. (UE) 168/2013 (L-category)¹⁰². Ampliarla a $\leq 125\text{cc}$ exigiría modificar normativa europea (y su reglamentación técnica de seguridad funcional), no basta con una orden española, porque afecta a homologación de tipo y al mercado interior. En ausencia de cambio UE, España sí podría incentivar (fiscal/seguros/compra pública) o condicionar flotas públicas, pero no imponerlo a la venta de nuevos modelos UE-homologados. Viabilidad: media (plazo UE, alta madurez técnica).

Casco integral ECE 22.06 y extensión del EPP (chaqueta/guantes; botas para profesionales)

El uso de casco conforme a UN R22.06 es plenamente compatible con la legislación española; exigirlo en vía pública se articula ajustando el Reglamento General de Circulación (RGC) por real decreto. La extensión de EPP (guantes obligatorios en interurbana; botas para repartidores) también es competencia estatal y puede adoptarse mediante órdenes ministeriales (similar a cómo ya se regulan cursos y requisitos de acceso). Viabilidad: alta (cambio nacional, tecnología madura).

TPMS obligatorio en nuevas motos

¹⁰² «Reglamento - 168/2013 - EN - EUR-Lex».

La obligación de TPMS es hoy propia de turismos y pesados (GSR 2019/2144); no existe mandato para categoría L. Para imponerlo a nuevas motos haría falta cambio UE (la ya mencionada Reg. 168/2013). España puede bonificar o promover retrofit voluntario, pero no exigirlo a fabricantes sin base UE. Viabilidad: media/condicionada a UE (técnicamente maduro, barrera regulatoria).

SPM (barreras UNE 135900) y mejora de firme

La norma UNE 135900 existe y permite contratar, certificar y auditar el desempeño de SPM. La implantación depende de presupuesto CCAA/diputaciones y de priorización por tramos. No requiere cambios europeos; sí gobernanza y seguimiento. Viabilidad: alta (al final es una medida ya existente en varios planes anteriores de la DGT, lo que se quiere es que haya trazabilidad real de estos tramos para conseguir llegar a los objetivos que establezca la DGT).

Transparencia de tramos de alta siniestralidad

La publicación de ficheros abiertos y avisos a planificadores/navegadores es una decisión administrativa de la DGT (no afecta a homologación). Puede implantarse mediante convenio de datos y no debería suponer un trabajo muy grande. Viabilidad: alta (barreras bajas; alto impacto en datos y seguimiento).

Segmentación por cilindrada/entorno y formación reforzada (>250 cc y paso A2→A)

La arquitectura de permisos se rige por RD 818/2009¹⁰³ y por una orden que detalla el curso de acceso al A (históricamente Orden INT/2323/2011, actualizada en 2025). Endurecer contenidos y prácticas o exigir módulos específicos es competencia nacional y encaja en la reciente actualización. Viabilidad: alta (marco ya existente, requiere ajuste curricular y plazos de implantación).

Incentivos ARAS e instrumentos fiscales (IVTM)

El IVTM (impuesto sobre vehículos de tracción mecánica) es municipal, dentro del marco de la Ley de Haciendas Locales (TRLHL). Los ayuntamientos sí pueden modular bonificaciones (hasta el 75 % típicamente por criterios medioambientales) y coeficientes dentro de horquillas legales. Traslado

¹⁰³ «BOE-A-2009-9481 Real Decreto 818/2009, de 8 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento General de Conductores.»

directo a “seguridad activa” exige fundamentación jurídica (posible vía ordenanzas si se define como interés público y se evita conflicto con armonización UE). Como mínimo, es factible: bonificar motos con ABS/airbag/TPMS, priorizar compra pública y concertar descuentos de seguro. Viabilidad: media (potestad local; requiere guía estatal para homogeneidad).

eCall obligatorio (nuevas) + plan de retrofit

El eCall obligatorio hoy en día aplica a M1/N1 (turismos/furgonetas) y no a motocicletas. Para hacerlo obligatorio en nuevas motos se necesitaría cambio en la UE (extender Reg. 2015/758 o incorporar requisito en el marco L-category). España sí puede impulsar retrofit incentivado, pilotos con 112 y exigir verificación funcional en ITV para quien lo equipe. Viabilidad: media/condicionada a UE para la obligación de fábrica; alta para un programa nacional de retrofit + interoperabilidad 112.

Para sistemas como ESS (luz de emergencia de parada)

La señalización de frenada de emergencia está reconocida en el marco UNECE para vehículos y se ha habilitado su uso en motocicletas en las actualizaciones de UN R78 (frenado), con fabricantes implementándolo de facto. Su extensión como exigencia nacional en retrofit o su verificación en ITV es jurídicamente viable si se respeta el patrón armonizado (frecuencia e intensidad) y no se interfiere con la homologación de tipo. Viabilidad: alta (norma técnica existente).

A continuación, se va a proseguir con una estimación económica de lo que supondría la aplicación de estas medidas o de equipo como los airbags a nivel gastos (y ya fuera del foco de la viabilidad normativa u operativa) tanto para el gobierno como para un usuario.

8.1 ESTUDIO ECONÓMICO DEL PLAN PROPUESTO

En la contabilidad oficial más reciente de la DGT (Cuentas Anuales 2023), las campañas de comunicación y publicidad en seguridad vial supusieron 9,87 M€ (reclasificados a 2024 por prórroga presupuestaria). Es una referencia clara de gasto directo en prevención, aunque no está

desagregado solo para motocicletas¹⁰⁴. En infraestructura, el coste unitario de instalar Sistemas de Protección para Motociclistas (SPM, “faldón” bajo bionda) en carreteras estatales figura en documentación de MITMA. En proyectos tipo se justifican precios entre ~65 €/m (barrera metálica N2 con SPM), ~76 €/m (H2 con SPM) y hasta ~94 €/m (H1 con SPM de mayores prestaciones). Sirve como rango para estimar actuaciones en tramos críticos¹⁰⁵. También hay referencias públicas y de prensa técnica con cifras similares (38-40 €/m en soluciones básicas y hasta ~130 €/m en barreras de hormigón con prestaciones altas), útiles como contraste y para sensibilidad de costes¹⁰⁶.

En cuanto a los aspectos referidos al vehículo y el equipamiento:

ABS obligatorio (impacto económico aproximado): En la evaluación de impacto del Reino Unido (tomada como ejemplo) al Reglamento UE de L-category se estimó que, para fabricantes de bajo volumen, el desarrollo + piezas para ABS podía superar las 400 £/moto; en volumen alto, el coste amortizado caía a ~9 £/moto (solo desarrollo), además de un mantenimiento anual adicional estimado en 36-108 £ por moto. No son precios de venta al público, pero orientan el sobrecoste industrial/uso de ABS frente a no equiparlo¹⁰⁷.

eCall para moto (MC-eCall) de serie u “retrofit”. BMW ofrece eCall como opción de fábrica; aftermarket hay dispositivos integrados que detectan accidente y cursan la llamada al 112 o a un centro de asistencia. Los precios de mercado típicos hoy son del orden de 300-500 € por el hardware (a veces con 12 meses de servicio incluidos) y cuotas posteriores¹⁰⁸.

¹⁰⁴ «Memoria de cuentas anuales Jefatura central de Tráfico, 2023».

¹⁰⁵ «A27_JUST_PRECIOS».

¹⁰⁶ «Un metro de guardarraíl SPM cuesta 38 € ¿Cuánto cuesta una vida? - Canariasenmoto.com».

¹⁰⁷ «Potential cost and benefits of two or three wheel motorcycles».

¹⁰⁸ «TILSBERK DGUARD Emergency Call System - buy cheap ▷ FC-Moto».



Ilustración 66: eCall BMW

TPMS para moto. Kits externos por válvula tipo FOBO Bike 2 se mueven en ~70-110 € el conjunto (2 sensores + app). Hay alternativas en ese rango en retail europeo¹⁰⁹.

Airbag de motorista. El rango real en España oscila, según tipo: chalecos mecánicos desde ~150-400 €; electrónicos autónomos ~500-700 €; monos/chaquetas integradas pueden superar 1.000 €. Algunas marcas requieren revisiones o servicios que añaden costes (revisiones de sistemas electrónicos ~50-100 € según modelo¹¹⁰).

Casco homologado ECE 22.06. Es fácil encontrar integrales 22.06 desde precios más asequibles, ~85-120 € en marcas generalistas, con gama media/alta muy por encima de estos precios según materiales. Ejemplos representativos en retail español confirman esos mínimos¹¹¹.

¹⁰⁹ «Rideet Tire pressure monitoring system TPMS - POLO Motorrad».

¹¹⁰ *Airbag Para Moto*.

¹¹¹ «Amazon.es : mt helmets stinger 2».



Ilustración 67: Caco Stinger con homologación¹¹²

HOMOLOGACIÓN



Guantes y botas homologados. Guantes certificados EN 13594 se encuentran desde ~30-60 € en gran distribución y fabricantes españoles; botas certificadas EN 13634 parten ~80-140 € (gamas altas bastante más).

Además, en cuanto a la formación por tomar una referencia de precios de cursos, existen cursos de conducción segura y eficiente y de reeducación vial que oscilan entre 150 y 400€ (un incentivo sería que se obligaran a hacer cursos, como se ha comentado en una medida del plan, y que estuvieran subvencionados, de forma que se obligara a tomar el curso de forma gratuita¹¹³). Se puede, por tanto, a partir de estos precios, hacer una estimación de un posibles sobre coste por parte del gobierno que supondría implementar estos sistemas. También incluyendo una política de ayudas supuesta para la estimación como pudiera ser:

- Airbag: subvención del 50% (unos 200-300€ por unidad).
- eCall, TPMS, ESS y Cursos: subvención del 50% del precio de referencia y 100%.

¹¹² MT Helmets, «Stinger 2».

¹¹³ «Sede Electrónica DGT - Cursos de Formadores de Cursos de sensibilización y reeducación vial».

- SPM: inversión pública directa (100%).

Con todos estos factores tenidos en cuenta, se ha realizado una tabla con el coste asociado para 5 de las medidas del plan propuesto, en concreto para lo que podría simular los gastos previstos del plan para el primer año de implantación. Cabe mencionar que como se va a realizar en base a un primer año de medidas del plan (el plan recogería abarcaría varios años), hay propuestas que económicamente hablando se han dejado al margen. Por ejemplo, la obligatoriedad del ABS en motocicletas <125cc se ha dejado de lado para este primer barrido de medidas, ya que exigirlo conviene un cambio del marco UE, y hasta que se aprobara tardaría en entrar en vigor, y en una posible financiación parcial o bonos por hacer retrofit o compras de motos con estos sistemas integrados. Otra medida sería el uso obligatorio de cascos ECE 22.06, ya que su requisito y coste recae en el usuario, más allá de si se quiere bonificar la sustitución como con otros sistemas o equipamientos. No obstante, inicialmente, no se ha tomado en cuenta ninguna de estas dos posibles bonificaciones, e igual se podrían añadir a un segundo año del plan de medidas, aumentando el coste de este.

Se estima por tanto la aplicación de 800km de SPM (unos kilómetros que se pueden adecuar a lo que suele proponer la DGT anualmente, aunque en este caso, con trazabilidad y certeza de que se van a implementar, como se mencionaba en la medida correspondiente), la implementación y ayuda a 300.000 usuarios para que integren el airbag en su equipamiento (es una cifra de entorno al 10% del parque de motoristas activo en España, pero un porcentaje mayor sería muy ambicioso para la primera implantación de la medida), al igual que la ayuda a otros 300.000 usuarios con retrofits o compras de sistemas como TPMS, eCall o luces de emergencia.

Medida (actor)	Volumen/año	Precio unidad	ref. %ayuda pública	Coste público
SPM en tramos prioritarios (CCAA)	800km	79,23 €/m	100%	63.384.000 €.
Airbag motorista (DGT/ayudas)	300.000 uds	≈500 €/ud	50%	~75.000.000€.
eCall retrofit (DGT/ayudas)	300.000 uds	≈250 €/ud	50%	37.500.000 €.
TPMS moto (DGT/ayudas)	300.000 uds	≈105 €/ud	50%	15.750.000 €.
ESS / luz de freno (DGT/ayudas)	300.000 kits	≈65 €/kit	50%	9.750.000 €.

A estos costes habría que sumar lo que costaría implementar cursos obligatorios sobre los que reforzar las prácticas y conocimientos para las medidas propuestas. Se deberán añadir más millones a la suma total (ya que se pretende que estén subvencionados por el gobierno). La suma por tanto de los millones da como resultado 201.384.000€ de sobre coste a lo que el gobierno gasta anualmente para dar soporte a todo lo relacionado con la seguridad vial. A estos se le sumaría los ya mencionados cursos, para los cuales, si se quisieran implementar 100.000 plazas (como cursos de la medida de formación reforzada para paso de A2 a A y motos con >250cc), a un coste asociado de 150€/curso, se ampliaría el coste en 15M€, quedando una cantidad total para el primer año de medidas de 216.834.000€ de sobre coste con respecto a la planificación sin las medidas propuestas.

No obstante, la relevancia real del plan, que es el evitar accidentes y víctimas mortales, hace que se pueda valorar el plan por su impacto. Tanto a nivel de reducción de accidentes y fallecidos como a nivel de lo que supone ahorrar costes hospitalarios y factores económicos que involucren accidentes. Para evaluar un balance neto económico que tenga en cuenta el impacto del plan, se ha supuesto una reducción inicial y observable tanto de accidentes con hospitalización como de fallecidos. La hipótesis central empleada en las figuras parte de un descenso anual moderado de

fallecidos (del orden de decenas de vidas; rango 50-100 con un punto central alrededor de 70). Se adopta este rango por prudencia metodológica y porque, se confía en que hay medidas que podrán tener impacto real al poco de irse implementando durante el primer año:

- Medidas “rápidas” de alta tracción: las ayudas a airbag, TPMS y ESS generan adopción inmediata en segmentos de alto riesgo. El airbag y el casco ECE 22.06 impactan directamente en la gravedad del siniestro; el TPMS reduce pérdidas de control por presión inadecuada; el ESS disminuye alcances en tráfico denso.
- eCall aporta tiempo de respuesta en caídas y salidas de vía sin testigos: no evita el siniestro, pero reduce letalidad al acortar la cadena de emergencias, efecto que ya puede observarse con un despliegue parcial.
- SPM empieza a generar retornos en los tramos intervenidos desde su puesta en servicio; aunque es obra civil, el plan prevé actuar por corredores de siniestralidad donde la concentración de caídas/salidas de vía es alta, por lo que la elasticidad de la medida es elevada incluso con cientos de kilómetros instalados, no es necesario cubrir toda la red.
- Formación reforzada A2→A y >250cc introduce, desde su implantación, competencias prácticas que atacan maniobras críticas (frenada de emergencia, trazada en curva, gestión de adherencia), lo que tiende a reducir incidentes típicos del primer año con la nueva cilindrada.
- Transparencia de “tramos de riesgo” y campañas segmentadas ayudan a reubicar la exposición y a modular la velocidad precisamente donde más riesgo se concentra, sin necesidad de grandes plazos regulatorios.

Bajo estas condiciones, se ha considerado factible que el primer año muestre un descenso significativo pero conservador, que al final es el objetivo del plan.

De cara a analizar el impacto del plan se muestran a continuación dos gráficas con estimaciones en base a las propuestas. Para fallecidos evitados se ha usado el Valor de Prevenir un Fallecimiento

(VPF) publicado por la DGT: 2M€ por fallecido¹¹⁴. Para lesiones graves evitadas se ha utilizado el valor recomendado por la DGT para 2024: 385.480 € por herido grave prevenido¹¹⁵. La base epidemiológica empleada también es oficial: en 2023 hubo 455 motoristas fallecidos y 9.265 heridos graves en el conjunto de usuarios. Para estimar el bloque específico de moto/ciclomotor se ha supuesto, de forma conservadora, que representan $\approx 38\%$ de los heridos graves totales (≈ 3.521). Este porcentaje se ha elegido viendo también el porcentaje de fallecidos del conjunto motocicletas con respecto al total de vehículos, y eligiendo un porcentaje similar que vaya en línea con este.

Con esas piezas, el cálculo que lleva al balance neto positivo de la figura es directo y trazable:

1. Reducción central supuesta: ~ 70 fallecidos menos (rango 50–100). Base 2023: 455 motoristas $\rightarrow$ reducción relativa $r \approx 70/455 = 15,4\%$. (suposición en base a las medidas del primer año del plan propuesto).
2. Lesiones graves evitadas (moto+ciclomotor): $3.521 \times 15,4\% \approx 542$. Se utiliza el mismo porcentaje de reducción de fallecidos para estimar la reducción de lesiones graves.
3. Beneficio económico:
 - Fallecidos: $70 \times 2,0 \text{ M€} = 140,0 \text{ M€}$.
 - Lesiones graves: $\approx 542 \times 385.480 \text{ €} \approx 208,8 \text{ M€}$.
 - Total beneficio social $\approx 348,8 \text{ M€}$.
4. Coste público del plan: 216,834 M€ (con airbag al 50%).
5. Balance neto = beneficio - coste $\approx +132,0 \text{ M€}$ (lo que se refleja en la última etapa de la evolución acumulada).

¹¹⁴ interior, «2 millones de euros es el valor estimado por evitar o prevenir un fallecimiento en siniestro de tráfico».

¹¹⁵ «Un estudio de la DGT estima lo que cuesta evitar o prevenir una muerte por accidente de tráfico - Infobae».

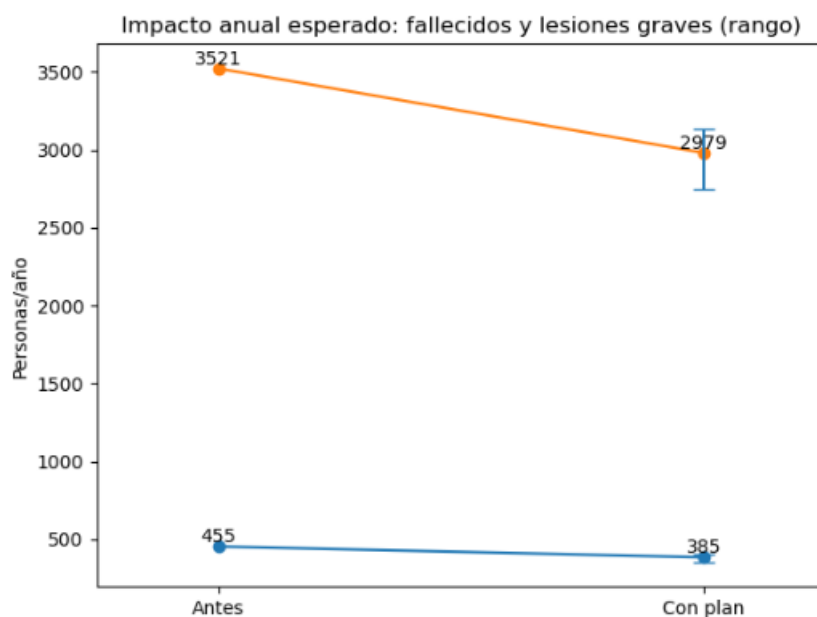


Ilustración 68: Impacto del plan

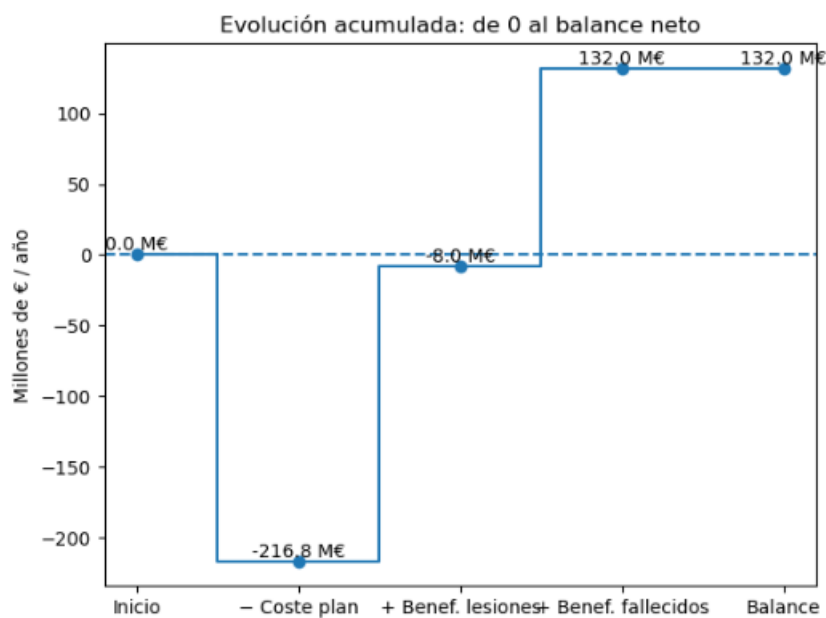


Ilustración 69: Impacto económico del plan

No obstante, y pese a que el impacto económico se pueda ver como un beneficio neto positivo si se tienen en cuenta los ahorros en costes hospitalarios por víctima de accidente de motocicleta, el factor económico es uno de los factores que limita la implementación de medidas, como ya se ha comentado previamente. Este sumado a otros factores como un factor social, en el que muchos motoristas sean reacios a la implementación y obligatoriedad de sistemas más seguros para ellos y para las motos (tanto por nivel de gastos propios como por la reducción de libertad que critican algunos de estos motoristas) hace que la barrera siga estando presente para la implementación de medidas más restrictivas y que seguramente tuvieran un alcance suficiente como para frenar en gran número las muertes y accidentes de motoristas. Como ya se ha comentado esto es una balanza y un debate que siempre estará presente y el cual se debe tener en cuenta para la implementación progresiva de medidas, que hagan equilibrio entre la libertad del conductor y su seguridad (al igual que los gastos que se le puedan obligar a hacer al motorista). Esto también se aborda en el siguiente subapartado.

8.2 CUESTIONES CRÍTICAS MÁS ALLÁ DEL PLAN PROPUESTO

El objetivo de este apartado no es añadir nuevas medidas al plan propuesto ni tampoco fijar una hoja de ruta futura o complementaria al plan. Se pretende plantear las cuestiones que quedan abiertas cuando se intenta equilibrar seguridad y libertad en la moto, dejando de lado temas económicos.

La primera duda atraviesa todo el plan: ¿hacen falta implementar todas las medidas para reducir los accidentes? La experiencia muestra que acumular exigencias no garantiza mejores resultados si no se actúa donde realmente se genera el daño. Lo prioritario es contrastar y localizar aquellas medidas que realmente son efectivas. Por eso se entiende que el debate no está en añadir muchas medidas o propuestas, sino en seleccionar aquello que ataca los factores dominantes de la siniestralidad y la gravedad. Con esta idea en mente, se acepta que la moto es, a la vez, medio de transporte y espacio de libertad: cualquier avance en seguridad que degrade por completo esa experiencia o expulse a quienes menos pueden pagar termina perdiendo apoyo y eficacia. Por ello, el plan propuesto habla de ciertas medidas que se han encontrado como posibles puntos de partida para los años más próximos, aunque se sabe que hay medidas que pueden ser más restrictivas o

con mayor impacto, no se ha querido sobrecargar, y hacer una cantidad de medidas razonable (aunque sin perder rigor y necesidad de implementación).

En la red vial hay un consenso amplio: el buen estado del firme y la presencia de SPM en tramos de salida de vía no generan un conflicto ideológico. En este caso, la discusión de este tipo de medidas es si el ritmo es insuficiente, y al final, esta es una de las mayores demandas de los motociclistas, que haya un buen estado de las carreteras que evite que puedan tener accidentes externos a ellos. La discusión no es si se debe invertir en barreras protectoras y reforma de suelos, sino dónde primero y con qué ritmo, porque la red es extensa y el presupuesto finito. El enfoque realista pasa por priorizar tramos con concentración de siniestros y los datos de reducción de accidentes en dichos tramos podrán servir de balance y de apoyo para implementar la medida.

Más discusión aparece con el equipamiento obligatorio. El casco actualizado apenas admite debate: protege y salva vidas, es asequible y su obligatoriedad ya está impuesta, por lo que medidas que afecten a cambios reglamentarios sobre cascos que ofrezcan mayor protección, no tendrán mucha oposición al cambio si se implementan progresivamente. En cambio, el airbag abre cuestiones de coste, comodidad, obligatoriedad y verificación. Su capacidad para reducir lesiones severas es clara, la duda es si convertirlo en obligación universal desde el primer momento respeta el equilibrio entre seguridad, accesibilidad y aceptación. Conviene reconocer que existe el riesgo de una seguridad solo para quien puede pagarla si no se acompaña de ayudas suficientes, y que un control demasiado intrusivo transformaría la conducción diaria en una cadena de comprobaciones. Se entiende que este es un terreno donde la evidencia de impacto y la manera de verificar pesan tanto como el principio de protección. La barrera de entrada de la obligatoriedad del airbag debe ser, por tanto, y, una vez más, progresiva, ya que su coste debería estar subvencionado para la adaptación inicial del parque de motoristas.

El bloque más sensible aparece alrededor de la velocidad. Se sabe que reducir la velocidad media en los tramos donde más se concentran los siniestros recorta la gravedad de las consecuencias. De ahí surgen dos ideas controvertidas. La primera, limitar la velocidad desde el propio vehículo (limitadores o asistencia inteligente, ISA) con más restricciones que los sistemas actuales, que solo avisan, pero no intervienen sobre la velocidad. Alinea el producto con la red, pero plantea problemas en maniobras de adelantamiento, fiabilidad de mapas y lectura de señales, y puede percibirse como una medida constante que empobrece la experiencia de conducción y, sobre todo,

priva el elemento de libertad que muchos conductores buscan cuando salen a conducir, más aún, en los motociclistas, que muchos usan la motocicleta como un elemento de libertad más allá de un transporte. La segunda, densificar el control por radares de tramo hasta hacer poco probable el exceso de velocidad. Funciona en términos de velocidad, pero choca con la aceptación si se interpreta como recaudación o como vigilancia permanente. Ambos enfoques exigen transparencia: por qué aquí, con qué resultados y con qué reglas para corregir si no funcionan como se espera. Sin ese cuidado, lo que en teoría reduce daños puede romper la legitimidad que sostiene cualquier política pública. Además, y en cualquier caso sería percibida como una medida muy restrictiva en contra de esa libertad de conducción. Habría una balanza clara sobre el que pesa más si la seguridad o la libertad en carretera.

En paralelo, se discute el papel de la potencia y la cilindrada. La pregunta es directa: si el límite en autopista es 120 km/h, ¿qué sentido tienen motos capaces de doblar esa cifra? El riesgo no crece a la par que el centímetro cúbico, influyen relación peso y potencia, entrega de par, modos de motor, geometría y, sobre todo, el uso real y la experiencia. Además, existen escenarios donde el margen mecánico aporta seguridad (viaje con pasajero y equipaje, pendientes largas, adelantamientos cortos). La opción de suprimir por catálogo determinadas cilindradas o prestaciones tiene efectos laterales: mercados de venta de motos muy limitado e igual, retención de motos antiguas y un debate interminable sobre qué cifra es demasiada potencia. En sentido contrario, parte de la siniestralidad se explica por un desajuste entre capacidades del vehículo y competencias del usuario. Muchos accidentes, como ya se ha mencionado, tienen de fondo como principal causa un exceso de velocidad, exceso de velocidad que sería mucho más limitado sino existiesen motocicletas demasiado sobrepotenciadas. No obstante, esto tampoco evitaría accidentes y víctimas por exceso de velocidad, ya que seguirían existiendo accidentes en tramos de velocidades menores donde se supera la velocidad estipulada. En este punto, el debate razonable no pasa por el todo o nada, sino por cómo gobernar el acceso y el uso de la potencia sin desnaturalizar la moto ni trasladar el problema a la sombra.

Conviene, por último, situar y volver a plantear el tema de la libertad. Conducir una moto no es solo ir del punto A al B, también es una forma de disfrutar y vivir el trayecto. El plan busca que esa libertad no se ejerza a costa de daños que pueden evitarse, pero no pretende convertir la conducción en un ritual burocrático. Por eso importa tanto el modo en que se introducen las

exigencias: señalización y control con criterios públicos y evaluables, ayudas que no dejen fuera a quien más lo necesita, verificación simple que no convierta cada salida en una inspección, y una conversación honesta sobre datos y privacidad cuando se usen sistemas conectados. Sin estos mimbres, la discusión se empobrece y cualquier medida, por buena que sea sobre el papel, pierde tracción.

En resumen, se entiende que el impacto global y elevado se consigue cuando se baja la energía del sistema en los tramos que más daño concentran (ya sea por velocidad limitada o por radares), se reduce el error desde la infraestructura, se protege el cuerpo con equipos que han demostrado reducir lesiones, y se alinea la potencia disponible con competencias reales. No obstante, seguirá siendo materia de debate y hasta que no haya un plan que sea capaz de balancear las restricciones con la libertad de cada conductor, no habrá un consenso entre conductores y normativa que asegure que la seguridad no limita la conducción de estos. Este capítulo no lo cierra, deja dibujados los contornos del desacuerdo y las condiciones para que, al discutirlos, no se pierda de vista el objetivo que ha guiado la memoria: reducir accidentes y víctimas sin vaciar de sentido la experiencia de conducir una moto. Con esto se añade también, que es muy probable que, desde distintos puntos de vista, el plan propuesto sea concebido como escaso o insuficiente, o como restrictivo contra los motoristas, y no parece que se pueda llegar a un balance hasta que los resultados no avalen las medidas.

Capítulo 9. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Este trabajo ha partido de una premisa clara: la siniestralidad de los motoristas en España continúa en niveles inaceptables y desproporcionados respecto a su peso en el parque móvil, por lo que se hacía necesario un enfoque específico, basado en datos y con ambición operativa, para reducir tanto la probabilidad de accidente como la gravedad de las lesiones. Desde el principio se ha justificado este punto de y se ha puesto el acento en que el objetivo es ver que medidas no implementadas son útiles para reducir los accidentes.

A lo largo de la memoria se ha construido una respuesta en tres planos complementarios. En primer lugar, se ha realizado un análisis de datos con bases oficiales recientes (nacional DGT-2023 y una base local de accidentes de Madrid) para localizar patrones, sesgar por factores externos y dimensionar colectivos de riesgo dentro de los accidentes de motocicletas. En segundo lugar, se ha elaborado una revisión técnico-regulatoria de la seguridad activa y pasiva en motocicletas (ABS/C-ABS, TCS, TPMS, EPP, airbags, ESS, eCall, SPM, entre otros), incluyendo su lectura a la luz de escalas de severidad como AIS. Finalmente, se ha formulado un plan propio de medidas con un examen de viabilidad normativa y operativa, y un encaje económico preliminar, cerrando con una reflexión explícita sobre el equilibrio entre seguridad y libertad que atraviesa el ámbito de la moto. En conjunto, estos tres planos permiten pasar de la constatación del problema a una hoja de ruta seleccionada y defendible.

En el plano empírico, el análisis con Python ha servido para limpiar, estructurar y visualizar información voluminosa, transformando ficheros en evidencia accionable. Se ha mostrado cómo, en números absolutos, la mayoría de los accidentes graves se producen en condiciones ambientales “normales”; esto, lejos de trivializar los factores externos, obliga a ponderar la exposición: hay muchas más horas de cielo despejado y asfalto seco que de lluvia intensa o niebla densa, pero no indica que no haya que no prestar atención a factores externos como este, ya que aumentan exponencialmente el peligro de un conductor de motocicleta en carretera. Eso sí, lo que no puede limitarse es que la reducción de daños deba confiarse solo a campañas por mal tiempo, debe atacarse el error humano y la energía del impacto allí donde sucede la mayor parte de la movilidad. Adicionalmente, el cruce de variables del conjunto nacional con la base local ha permitido perfilar

la casuística por cilindradas y edades, constatando que los perfiles cambian con la experiencia y el tipo de vehículo, y que la tipología de siniestros difiere entre $\leq 50\text{cc}$, $50\text{-}125\text{cc}$ y $>125\text{cc}$. Estas observaciones han guiado la especificidad de las propuestas, evitando medidas genéricas ciegas al contexto.

En el plano técnico, se ha contrastado el potencial de la seguridad activa y la seguridad pasiva para reducir probabilidad y severidad. Se ha puesto de relieve el papel de ABS/C-ABS y TCS para evitar pérdidas de control (con especial relevancia en curvas), el valor del TPMS para anticipar fallos de adherencia por presión inadecuada, y la contribución de EPP (equipos de protección personales) actualizado (casco ECE 22.06, guantes, chaqueta con protecciones) y de los airbags personales o integrados a la moto para atenuar lesiones, todo ello interpretable con métricas AIS. Esta lectura combinada permite priorizar inversiones: evitar el siniestro cuando sea posible y, si ocurre, reducir la transferencia de energía al cuerpo del motorista.

Sobre esa base se ha planteado un plan propio que no añada medidas por acumulación, sino que selecciona aquellas con mayor cociente eficacia/viabilidad, teniendo en cuenta, que existen muchos frentes de ataque para reducir los accidentes de moto, pero que a su vez, se puede estar limitando y poniendo en contra a los propios usuarios. Se ha explicitado, para cada bloque, el nivel competencial (UE/UNECE o estatal), el instrumento jurídico requerido y la madurez técnica. Así, por ejemplo, se ha razonado que extender la obligación de ABS/C-ABS a $\leq 125\text{cc}$ exige modificación del marco europeo (UE 168/2013), mientras que España sí puede incentivar fiscalmente, condicionar flotas públicas o concertar con seguros, que la implementación de luces de emergencia de parada (ESS) puede impulsarse por retrofit e ITV al amparo de normas UNECE vigentes, o que el eCall en motocicletas requeriría cambio en la UE para su obligatoriedad de fábrica, siendo viable en el corto plazo un programa nacional de retrofit interoperable con 112. Esta distinción evita prometer lo que no puede implementarse a corto y, a la vez, activa palancas nacionales inmediatas donde ya existe estándar técnico.

El encaje económico preliminar ha aportado una referencia realista de órdenes de magnitud para lo que serían una primera tirada de medidas más restrictivas pero progresivas y sin buscar ser muy limitadoras de la libertad de los motociclistas (ya que la implementación de medidas muy restrictivas podría mejorar las métricas de accidentalidad en motos, pero generar un profundo malestar económico y social entre los motoristas). En gasto público, se ha tomado como ancla el

esfuerzo anual en campañas de seguridad vial (~9,87 M€ en 2023, prorrogado en 2024), útil para dimensionar programas de formación y comunicación específicos para motoristas. En infraestructura, se ha referenciado el coste unitario de SPM por metro lineal en rangos compatibles con documentación técnica, permitiendo estimar intervenciones por tramos y priorizarlas según concentración de siniestros. En vehículo y equipamiento, se han consignado costes orientativos de tecnologías (ABS, airbags personales, etc.) para valorar escenarios de incentivos y copagos. Este cuadro económico, aunque deliberadamente prudente, permite discutir escenarios coste-beneficio y calendarizar implantaciones con criterio. Aunque se deberían analizar más exhaustivamente cada una de las medidas si realmente se implantan o se prosigue con bolsas de medidas para próximos años.

Un aporte diferencial de la memoria reside en haber pasado de un enfoque declarativo a otro trazable y de crítica. No solo se han producido análisis y gráficos, sino que se han dejado sentada la necesidad de publicar listados abiertos y actualizados de tramos de alta siniestralidad, integrables por terceros para avisos previos a ruta, alineando información, conducta y control en un circuito virtuoso. Se ha demostrado, además, que es factible vincular estas salidas de datos con la priorización de SPM y mantenimiento, reforzando el principio de “corregir donde más duele”. Este énfasis en datos abiertos convierte el plan en un objeto verificable que puede ser auditado y ajustado en ciclos periódicos.

Por otro lado, en coherencia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, el proyecto ha contribuido a ODS 3 (Salud y Bienestar) al proponer medidas basadas en evidencia para un colectivo vulnerable; a ODS 9 (Industria, innovación e infraestructura) al alinear tecnología y norma con el estado del arte en seguridad; y a ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles) al priorizar actuaciones con mayor impacto en entornos urbanos y periurbanos. Esta alineación aporta legitimidad y un marco de referencia internacional a las propuestas.

Se han cumplido, por tanto, los objetivos declarados al inicio: i) analizar causas y contextos de los accidentes con bases de datos recientes e históricos de planes, ii) estudiar la tecnología actual de una motocicleta y como hay muchos factores involucrados en accidentes, así como el potencial de tecnologías y exigencias técnicas de seguridad activa/pasiva (con lectura AIS de distintos estudios y artículos que ayudan a ver la utilidad y verdadera magnitud de estos sistemas), y iii) evaluar y proponer un plan de reducción con análisis de viabilidad y un primer encaje económico.

Ahora bien, conviene asumir una conclusión incómoda: incluso un plan técnicamente solvente “puede parecer escaso” si se contrasta con el vasto inventario de frentes abiertos en la seguridad del motorista. Precisamente por eso se ha optado por una selección que proporciona al lector una visión global del problema (desde la dinámica de la moto y el centro de masas hasta los sistemas de seguridad activa/pasiva explícitos hay muchos avances y tecnologías que se podrían poner como obligatorios pero que serían poco factibles desde un punto de vista operacional y económico), sin caer en una lista abrumadora de medidas difícilmente abordable en términos económicos, operativos y de implementación. Dicho con otras palabras, se ha preferido la coherencia y trazabilidad a la exhaustividad nominal. También se han explicitado límites y tensiones. No todo vale: la seguridad debe avanzar sin vaciar de sentido la experiencia de conducir una moto. El capítulo de cuestiones críticas ha puesto sobre la mesa que la aceptación social depende tanto del “qué” como del “cómo” se implementa: señalización y control con criterios públicos y evaluables; ayudas que no expulsen a quienes menos tienen; verificación simple que no convierta cada salida en una inspección; y una conversación honesta sobre datos y privacidad cuando se introducen sistemas conectados.

Desde el punto de vista de las limitaciones, se reconoce que parte del análisis se apoya en indicadores indirectos y en la interpretación del contexto de factores ambientales y de la infraestructura, la escala AIS se ha usado como referencia general tomada de estudios previos, no para revisar cada caso uno por uno; y la parte económica, al ser preliminar, se basa en cifras públicas y supuestos prudentes. Aun así, el método seguido (con datos oficiales, código que se puede reproducir y criterios claros de priorización) permite ampliar, mejorar y comprobar los resultados en futuras revisiones.

En resumen, la conclusión principal es que la reducción sustancial de víctimas pasa por cuatro vectores coordinados: disminuir la energía del sistema en los tramos y contextos que más daño concentran, reducir el error desde la infraestructura, proteger el cuerpo con equipamiento eficaz y alinear la potencia y las ayudas del vehículo con competencias reales, todo ello bajo un esquema de datos abiertos que permita medir, corregir y volver a medir. Esta es la contribución central de la memoria: un camino selectivo, viable y evaluable para avanzar hacia menos accidentes y lesiones graves sin convertir la moto en un ritual burocrático, y con medidas que realmente hagan un plan de reducción de accidentes que cumple su propósito. Los planes previos de la DGT no cumplen con

su mayor propósito que es reducir las víctimas de motociclistas, y tiene que haber un cambio en las medidas, con mayor financiación, mayor concienciación y con cambios, que como ya se ha reiterado en ocasiones dentro de la memoria, deben de ser progresivos pero necesarios. Sistemas que ayudan tanto a la reducción de mortalidad de accidentes como el airbag tienen que ir poco a poco siendo introducidos en la vida de los motoristas, y con financiación por parte del gobierno, o a nivel europeo. Así como sistemas de seguridad activa que permiten prevenir accidentes. La tecnología existe, y debe de haber un acuerdo para que esta comience a implementarse correctamente.

Por último, se dejan delineadas líneas de trabajos futuros. Hay un claro impacto de las medidas del plan mediante simulación (elementos finitos y multibody) y lectura AIS para cuantificar reducciones de lesión por escenarios, financiar trabajos centrados en la valoración y simulación puede hacer tener resultados previos a la implementación de sistemas de seguridad en las motos. Resulta pertinente también profundizar aún más en el análisis económico-social, con más medidas que analizar y viabilidad de estas (coste-beneficio y coste-efectividad), incorporando costes indirectos de hospitalización y productividad, y explorar mecanismos de financiación (incentivos fiscales, compras públicas innovadoras, acuerdos con aseguradoras). Debe abordarse también la viabilidad operativa de sistemas conectados con protocolos de privacidad y gobernanza de datos. Se propone además desarrollar una herramienta de trazabilidad de accidentes y un visualizador público con feeds abiertos y versiones “ligeras” integrables en aplicaciones de movilidad, para cerrar el ciclo dato-decisión-comportamiento. Por último, conviene ampliar el prisma con segmentaciones finas (por cilindrada, edad, uso profesional/ocio y entorno urbano/interurbano) y con evaluaciones multicriterio que permitan ajustar la priorización a realidades territoriales. Estas líneas no sustituyen el plan; lo dotan de profundidad predictiva y de capacidad de aprendizaje continuo.

Capítulo 10. BIBLIOGRAFÍA

«A27_JUST_PRECIOS».s. f.https://cdn.transportes.gob.es/portal-web-transportes/ministerio/participacion-publica/no-normativo/carreteras/AL-3650/A27_JUST_PRECIOS.pdf.

«Adaptive Headlight - Technology in Detail». .
<https://www.bmwmotorcycles.com/en/engineering/detail/safety/adaptive-xenon-headlight.html>.

«Advanced rider assistance systems». . <https://www.bosch-mobility.com/en/solutions/assistance-systems/advanced-rider-assistance-systems-2w/>.

AGENCIAS, RTVE es /. «El año 2024 termina con 1.154 muertos en las carreteras». RTVE.es, 10 de enero de 2025. <https://www.rtve.es/noticias/20250110/2024-balance-traffic-accidentes-muertos/16401630.shtml>.

«Airbag moto: comparativa de los tipos que existen, precio y opiniones». *Blog Motocard*, 1 de agosto de 2022. <https://www.motocard.com/blog/guias-de-compra/airbag/airbag-moto-tipos-precios-cual-comprar-guia-compra-obligatorio/>.

AIRBAG MOTO ROCKTOOL. «Chaleco airbag homologado 1621-4». .
<https://www.airbagmotorocktool.com/es/blog/news/chaleco-airbag-homologado-1621-4>.

Airbag Para Moto: Guía Completa 2025 - Avispero Motero. Consejos. 15 de mayo de 2025.
<https://avisperomotero.com/airbag-para-moto/>.

Allianz Direct. «¿Es obligatorio llevar guantes en la moto?» .
<https://www.allianzdirect.es/blog/guantes-obligatorios-moto/>.

«Alpinestars Tech-Air 5 Airbag Vest Review | Rider Magazine». .
<https://ridermagazine.com/2025/03/03/alpinestars-tech-air-5-airbag-vest-review/>.

«Amazon.es: mt helmets stinger 2». . <https://www.amazon.es/mt-helmets-stinger-2/s?k=mt+helmets+stinger+2>.

«Anti-Squat Geometry -». *Data For Motorcycles*, s. f. . <https://www.datamc.org/data-acquisition/suspension-data-analysis/anti-squat-geometry/>.

betiolo.com. «QV3 | Scooter de tres ruedas.» Qooder S.A, 22 de agosto de 2025.
<https://www.qooder.com/custom/9/qv3/?IDL=3>.

Blog, ElMotorista. «ECE 22.06. NUEVA HOMOLOGACIÓN ¿La necesito?» *El Motorista*, 2 de agosto de 2022. <https://www.elmotorista.es/blog/ece-22-06-nueva-homologacion-la-necesito/>.

- Blog, ElMotorista. «Homologación ECE 22-05». *El Motorista*, 8 de mayo de 2022. <https://www.elmotorista.es/blog/homologacion-ece-22-05/>.
- «BOE-A-2009-9481 Real Decreto 818/2009, de 8 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento General de Conductores.» . <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2009-9481>.
- «Certificación ECE 22.05 y la diferencia entre los cascos aprobados por ECE». . <https://www.fpmoto.com/blog/post/certificacion-ece-2205-y-la-diferencia-entre-los-cascos-aprobados-por-ece>.
- «Chaleco airbag: el regalo de su vida». . <https://revista.dgt.es/es/noticias/nacional/2024/11NOVIEMBRE/1108-campaya-airbag-motoristas.shtml>.
- Cherta-Ballester, O, M Llari, V Honoré, C Masson, y P-J Arnoux. *Investigating the Effects of Inflating a Wearable Airbag Under a Motorcycle Jacket*. 2024.
- Clasificación de las motocicletas - CZ Revista técnica de Centro Zaragoza*. 23 de mayo de 2019. <https://revistacentrozaragoza.com/clasificacion-de-las-motocicletas/>.
- Climent, Vicente Juan. «Qué es el sistema de control de tracción de una moto y cómo funciona». *Honda Moto*, 3 de junio de 2024. <https://www.hondamotovaencia.es/blog/que-es-el-sistema-de-control-de-traccion-de-una-moto-y-como-functiona/>.
- «Conducción Motocicletas Permiso B (3años antigüedad)». s. f. . https://www.dgt.es/export/sites/web-DGT/.galleries/downloads/dgt-en-cifras/publicaciones/informes_siniestralidad/Conduccion-motocicletas-con-Permiso-B-3anos-antiguedad_v9_FINAL.pdf.
- Cossalter, V., R. Lot, y F. Maggio. «The Modal Analysis of a Motorcycle in Straight Running and on a Curve». *Meccanica* 39, n.º 1 (2004): 1-16. <https://doi.org/10.1023/A:1026269926222>.
- Cuervas, Neus Pou. «¿Qué equipación es obligatoria en una moto? – MAPFRE». *MAPFRE España*, 14 de diciembre de 2020. <https://www.mapfre.es/particulares/seguros-para-motos/articulos/ropa-de-moto/>.
- Damon, Pierre-Marie, Aurélien Garcia, y Adriano Palao. *EURO NCAP'S FIRST STEP TOWARD RIDER SAFETY WITH NEW CAR-TO-MOTORCYCLIST SCENARIOS*. s. f.
- De, Marzo. *INFORME TÉCNICO RELATIVO AL ANÁLISIS DE LA EFECTIVIDAD DE LOS SISTEMAS DE SEGURIDAD ACTIVA Y PASIVA DE MOTOCICLETAS Y DE AQUELLOS QUE SE AÑADAN AL EQUIPAMIENTO DEL MOTORISTA (Expediente: 3DGT00000397)*. s. f.
- «Deliverable-D3.1». s. f.
- «DGT - Sistemas avanzados de ayuda a la conducción (ARAS)». . <https://www.dgt.es/muevete-con-seguridad/sistemas-avanzados-ayuda-conduccion/sistemas-avanzados-de-ayuda-a-la-conduccion-ARAS/>.

«Diferencias entre frenos de moto CBS y ABS - Blogs MAPFRE». .
<https://www.motor.mapfre.es/motos/noticias-motos/diferencias-frenos-cbs-abs/>.

Dir. Gral. Tráfico [@DGTes]. «¿Sabes qué significan el nivel blanco, amarillo, negro? Indican la mayor o menor intensidad de circulación en las carreteras. <http://dgt.es/es/el-trafico/> ? <https://t.co/7l6Xp639d2>». Tweet. Twitter, 20 de enero de 2018.
<https://x.com/DGTes/status/954632151563161600>.

«Dynamic ESA - técnica al detalle». . <https://www.bmw-motorrad.es/es/models/detail/suspension/dynamic-esa.html>.

«El 23,3% de las motocicletas con menos de 25 años de antigüedad no tiene la ITV al día». AECA-ITV, s. f. . <https://www.aeca-itv.com/sala-de-prensa/noticia/el-233-de-las-motocicletas-con-menos-de-25-anos-de-antiguedad-no-tiene-la-itv-al-dia/>.

«El futuro ya está aquí: el casco con inteligencia artificial y radar que redefine la seguridad vial». . <https://motor.elpais.com/motos/el-futuro-ya-esta-aqui-el-casco-con-inteligencia-artificial-y-radar-que-redefine-la-seguridad-vial/>.

Elliott, M A, C J Baughan, J Broughton, et al. *Motorcycle Safety: A Scoping Study*. s. f.

«Estudio dinámico de modelo de motocicleta». s. f.

formulamoto.es. «FórmulaMoto | Toda la actualidad sobre las motos». Fórmula Moto. . <https://formulamoto.es/>.

formulamoto.es. «FórmulaMoto | Toda la actualidad sobre las motos». Fórmula Moto. . <https://formulamoto.es/>.

Freno de motocicleta: delantero o trasero: cuándo y por qué 2025. Education. 13 de febrero de 2025. <https://www.fodsports.com/es/blog/freno-de-motocicleta-delantero-vs-trasero/>.

Galgo, Equipo. «Tipos de suspensión para motos». Galgo, 10 de enero de 2024. <https://www.galgo.com/blog/motos/tipos-de-suspension-para-motos>.

Gamez, Maria Jose. «Objetivos y metas de desarrollo sostenible». *Desarrollo Sostenible*, s. f. . <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>.

«Government to enforce mandatory anti-lock braking system on motorcycles». . <https://news.imotorbike.com/en/2022/05/abs-malaysia-motorcycles-mandatory/>.

Grup, Pont. «Cardan de la moto: Qué es y cómo funciona  Pont Grup®». *Especialistas en seguros de moto* ► Pont Grup, 21 de mayo de 2024. <https://www.pontgrup.com/blog/cardan-de-la-moto/>.

«Informe con portada_». s. f. . <https://www.unespa.es/main-files/uploads/2022/06/Los-vehiculos-de-dos-ruedas-Datos-2020-FINAL.pdf>.

«Informe-RACE-Chalecos-con-airbag-para-motoristas». s. f.

- «Informe-Siniestralidad_Cierre-2024_v10_FINAL.pdf». s. f. .
https://www.dgt.es/export/sites/web-DGT/.galleries/downloads/dgt-en-cifras/24h/Informe-Siniestralidad_Cierre-2024_v10_FINAL.pdf.
- interior, DGT, Ministerio. «2 millones de euros es el valor estimado por evitar o prevenir un fallecimiento en siniestro de tráfico». . <https://www.dgt.es/comunicacion/notas-de-prensa/2-millones-de-euros-es-el-valor-estimado-por-evitar-o-prevenir-un-fallecimiento-en-siniestro-de-trafico/>.
- interior, DGT, Ministerio. «Airbag para los conductores de las motocicletas». . <https://seguridadvial2030.dgt.es/practicas-de-interes/vehiculos-seguros-y-conectados/airbag-para-motos/index.html>.
- interior, DGT, Ministerio. «Clases de permisos de conducir». . <https://www.dgt.es/nuestros-servicios/permisos-de-conducir/clases-de-permisos-de-conducir/>.
- interior, DGT, Ministerio. «DGT -». . <https://seguridadvial2030.dgt.es/inicio/>.
- interior, DGT, Ministerio. «Planes de actuaciones». . <https://seguridadvial2030.dgt.es/implementacion/planes-de-actuaciones/>.
- interior, DGT, Ministerio. «Sistemas avanzados de ayuda a la conducción (ARAS)». . <https://www.dgt.es/muevete-con-seguridad/sistemas-avanzados-ayuda-conduccion/sistemas-avanzados-de-ayuda-a-la-conduccion-ARAS/>.
- «ITVASA - Tarifas de vehículos». . <https://www.itvasa.es/categoriaL.php>.
- «KTM PowerParts - Intensifica tu conducción | KTM España». . <https://www.ktm.com/es-es/piezasyropa/powerparts/products.html>.
- «La DGT quiere generalizar el airbag en las motos. Su atajo: hacerlo obligatorio para sacarse el carnet A». . <https://www.xataka.com/movilidad/dgt-allana-camino-al-airbag-obligatorio-motos-su-atajo-pasa-hacerlo-obligatorio-para-sacarse-carnet-a>.
- «La geometría de la moto ¿Qué es qué? | Moto1Pro». . <https://www.moto1pro.com/reportajes-motos/la-geometria-de-la-moto-que-es-que>.
- «La Xunta de Galicia instala SPM en Miñor». . https://anmotoristas.org/noticia_desarrollada.php?cod=7435.
- LAS PRINCIPALES CIFRAS DE LA SINIESTRALIDAD VIAL EN ESPAÑA 2023.* s. f.
- Loïc. «Motorcycle Final Drive: The Battle Chain Vs Belt Vs Cardan». *EnjoyTheRide*, 6 de agosto de 2024. <https://www.motoblouz.ie/enjoytheride/conseils-moto/26423-transmission-moto-chaine-cardan-courroie-2024-08-06>.
- «Los tipos de transmisión de moto -canalMOTOR». . <https://www.motor.mapfre.es/motos/noticias-motos/transmision-moto-cadena-correa-cardan/>.

- «Los vehículos de dos ruedas tienen un riesgo muy alto de sufrir un accidente». .
<https://www.dekra-roadsafety.com/es/los-vehiculos-de-dos-ruedas-tienen-un-riesgo-muy-alto-de-sufrir-un-accidente/>.
- «Maids - In-Depth investigation of motorcycle accidents». . <https://www.maids-study.eu/>.
- Maier, Steffen, Laurent Doléac, Holger Hertneck, Sebastian Stahlschmidt, y Jörg Fehr. *Evaluation of a Novel Passive Safety Concept for Motorcycles with Combined Multi-Body and Finite Element Simulations*. 2020.
- «Maquetación 1». . s. f. . https://www.dgt.es/export/sites/web-DGT/.galleries/downloads/conoce_la_dgt/que-hacemos/estrategias-y-planos/plan_sectorial005.pdf.
- «Medida y presión de los neumáticos». *Zalba-Caldú*, 17 de abril de 2018. <https://www.zalbacaldu.com/blog/2018/04/17/medida-y-presion-de-los-neumaticos/>.
- «Medidas para la protección de los motoristas». .
<https://revista.dgt.es/es/reportajes/2019/07JULIO/0702portada-medidas-para-proteger-a-los-motoristas.shtml>.
- «Memoria de cuentas anuales Jefatura central de Tráfico, 2023». s. f.
- Moto1Pro. «ABS obligatorio a partir de 2016 y otras leyes europeas para la moto». 22 de noviembre de 2012. <https://www.moto1pro.com/reportajes-motos/abs-obligatorio-partir-de-2016-y-otras-leyes-europeas-para-la-moto>.
- Motocard. «8 Chaquetas con airbag para moto». . <https://www.motocard.com/equipacion-moto-carretera/chaquetas/airbag-incorporado?p=1>.
- Motociclismo. «Amortiguadores y suspensiones, ¿cuáles son las diferencias?» .
https://www.motociclismo.es/noticias/amortiguadores-suspensiones-cuales-son-diferencias-tienen-ecn_286200_102.html.
- Motociclismo. «Norma del casco obligatorio: ¿desde cuándo está vigente?» .
https://www.motociclismo.es/industria/norma-casco-obligatorio-nzm_239911_102.html.
- Motociclismo. «Sliders de moto, ¿qué son y para qué sirven?» .
https://www.motociclismo.es/noticias/sliders-moto-que-son-sirven-ecn_277280_102.html.
- Motociclismo. «Transferencia de pesos en motos, ¿qué es y en qué consiste?» .
https://www.motociclismo.es/noticias/transferencia-pesos-en-motos-que-es-en-consiste-ecn_281630_102.html.
- «Motorcycle Airbag System | Honda Technology | Honda Global». .
https://global.honda/en/tech/Motorcycle_Airbag_System/.

- MT Helmets. «Stinger 2». . <https://mthelmets.com/integral/stinger-2-solid>.
- «Nota de prensa». s. f. . <https://www.unespa.es/main-files/uploads/2022/06/NdP-Las-dos-ruedas-en-Espana-Datos-2020-FINAL.pdf>.
- «Nueva definición de herido grave». . https://anmotoristas.org/noticia_desarrollada.php?cod=1850&seccion=171.
- «of-no-03-impuesto-sobre-vehiculos-de-traccion-mecanica (1)». s. f.
- Organización Mundial de la Salud. *Seguridad de los vehículos de motor de dos y tres ruedas: manual de seguridad vial para decisores y profesionales*. Organización Mundial de la Salud, 2018. <https://iris.who.int/handle/10665/272757>.
- Pérez, Rubén. «Tras los ADAS de los coches llegan los ARAS a las motos». *El Motor*, 26 de marzo de 2024. <https://motor.elpais.com/motos/tras-los-adas-de-los-coches-llegan-los-aras-a-las-motos/>.
- «Plan-medidas-especiales-motocicletas-2019-2020.pdf». s. f. . https://www.dgt.es/export/sites/web-DGT/.galleries/downloads/conoce_la_dgt/que-hacemos/estrategias-y-plan/Plan-medidas-especiales-motocicletas-2019-2020.pdf.
- «Potential cost and benefits of two or three wheel motorcycles». s. f.
- «Profundidad del dibujo de los neumáticos de moto: ¿cuál es el límite legal? | MICHELIN». . <https://www.michelin.es/motorbike/consejos-moto/aspectos-basicos-de-los-neumaticos/limite-legal-banda-rodadura>.
- «¿Qué es el avance en una moto?» . https://www.motociclismo.es/consejos/mantenimiento/avance-en-moto-nzm_263071_102.html.
- «¿Qué es TPMS y cómo funciona TPMS ? | Schrader TPMS Solutions». . <https://www.schradertpms.com/mx/educacion-para-conductores/que-es-tpms-y-como-funciona-tpms>.
- «¿Qué tipos de carnés de moto hay?» . <https://revista.dgt.es/es/sabia-que/normas/2021/0225-Carne-motos.shtml>.
- RACE. *Homologación de cascos* / RACE. 4 de octubre de 2021. <https://www.race.es/homologacion-cascos>.
- «Reglamento - 168/2013 - EN - EUR-Lex». . <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/ALL/?uri=CELEX:32013R0168>.
- «Rideet Tire pressure monitoring system TPMS - POLO Motorrad». . <https://www.polo-motorrad.com/rideet-tire-pressure-monitoring-system-tpms-neutral-5744901181000360.html?srsId=AfmBOoq4IEu4ctCbmpRW4biX00zumJfEoV31bA-1iFCeDoYwYE7HxmkC>.

- Rome, Liz de, Rebecca Ivers, Michael Fitzharris, et al. «Motorcycle Protective Clothing: Protection from Injury or Just the Weather?» *Accident; Analysis and Prevention* 43, n.º 6 (2011): 1893-900. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2011.04.027>.
- Ruiz, Iván. «▷▷ Honda presenta el revolucionario C-ABS Electrónico». *DailyMotos*, 20 de enero de 2009. <https://www.dailymotos.com/honda-presenta-el-revolucionario-c-abs-electronico/>.
- «Sede Electrónica DGT - Cursos de Formadores de Cursos de sensibilización y reeducación vial». . <https://sede.dgt.gob.es/es/permisos-de-conducir/tramites-para-empresas/centros-de-sensibilizacion/cursos-de-aptitud-para-formadores/>.
- Seguridad: BMW, Honda y Yamaha acuerdan desarrollar motos conectadas - Exclusivo Motos.* Noticias. 8 de octubre de 2015. <https://exclusivomotos.com/seguridad-bmw-honda-y-yamaha-acuerdan-desarrollar-motos-conectadas/>.
- SER, Cadena. «En la última década, el 1,6% de los accidentes de moto registrados en La Rioja fue mortal». Cadena SER, 19 de julio de 2025. <https://cadenaser.com/rioja/2025/07/19/en-la-ultima-decada-el-16-de-los-accidentes-de-moto-registrados-en-la-rioja-fue-mortal-radio-rioja/>.
- Sistemas de Protección para Motociclistas (SPM) – ANCOSEV – ASOCIACIÓN NACIONAL DE CONSUMIDORES POR LA SEGURIDAD VIAL.* s. f. . <https://www.ancosev.org/sistemas-de-proteccion-para-motociclistas-spm/>.
- «Sliders y Defensas para Moto: Todo lo que necesitas saber...» . <https://www.fpmoto.com/blog/post/defensas-y-sliders-para-moto-todo-lo-que-necesitas-saber>.
- «SMART AIR - CHALECO AIRBAG MOTO | BLACK | Dainese». . https://www.dainese.com/es/es/smart-air---chaleco-airbag-moto-201D400015001.html?&utm_source=google&utm_term=&utm_medium=cpc&utm_campaign=STO_DAI_MOTO_BestSeller_ECO_ES_GAds_pur_conv_PMC_SHO_ALL_&hsa_src=x&hsa_mt=&hsa_ver=3&hsa_acc=7513287879&hsa_tgt=&hsa_kw=&hsa_cam=20158798532&hsa_net=adwords&hsa_ad=&hsa_grp=&gad_source=1&gad_campaignid=20162310700&gbraid=0AAAAADn6v9iKtIs2Q0HgKNGZ4i8SYm-60&gclid=CjwKCAjw4K3DBhBqEiwAYtG_9KYri3MRzSv8h8ui_UUMeYQADx8rYbSBYFx4tilwR9sYeeJBlyKmrhoCtlgQAvD_BwE&gclidsrc=aw.ds.
- «Sobre ANESDOR – Anesdor». . <https://www.anesdor.com/sobre-anesdor/>.
- «Suspensión trasera moto: ¿Dura o blanda?» . <https://hondamaquina.com/suspension-trasera-moto-dura-o-blanda/>.
- Taal, Wim. «New Euro NCAP Vision 2030 Includes Motorcycles». *FEMA*, 23 de noviembre de 2022. <https://www.femamotorcycling.eu/euro-ncap-2030-motorcycles/>.
- «Telelever - técnica al detalle». . <https://www.bmw-motorrad.es/es/models/detail/suspension/telelever.html>.

- «TILSBERK DGUARD Emergency Call System - buy cheap ▷ FC-Moto». . https://www.fc-moto.de/en/TILSBERK-DGUARD-Emergency-Call-System?srsItd=AfmBOor9Dp1NVa7McQ4oLzOAqn0B4YO6CQGcVjtabcBNZOOm_ZwzEdly.
- «Tipos de neumáticos: Consejo neumático de moto - Pneus Online». . <https://www.neumaticos-pneus-online.es/tipo-de-neumaticos-moto-consejos.html>.
- «Tipos de neumáticos para motos -canalMOTOR». . https://www.motor.mapfre.es/motos/noticias-motos/tipos-neumaticos-moto/#Neumaticos_touring.
- «Todo sobre la transmisión por cardán en una motocicleta». . https://www.motociclismo.es/consejos/mantenimiento/transmision-cardan-nzm_261494_102.html.
- «TPMS Obligatorio desde Julio de 2024 en Europa | MICHELIN Connected Fleet». . <https://connectedfleet.michelin.com/es/blog/tpms-obligatorio-desde-julio-de-2024-en-europa/>.
- «TRANSFERENCIA DE CARGAS - Definición - Significado». . <https://diccionario.motorgiga.com/diccionario/transferencia-de-cargas-definicion-significado/gmx-niv15-con195773.htm>.
- «Un estudio de la DGT estima lo que cuesta evitar o prevenir una muerte por accidente de tráfico - Infobae». . <https://www.infobae.com/espana/2024/03/13/un-estudio-de-la-dgt-estima-lo-que-cuesta-evitar-o-prevenir-una-muerte-por-accidente-de-trafico/>.
- «Un metro de guardarraíl SPM cuesta 38 € ¿Cuánto cuesta una vida? - Canariasenmoto.com». . <https://www.canariasenmoto.com/index.php?pagina=moteros&ver=noticia&id=19968>.
- «UNE-EN 1621-1:2013 Ropa de protección frente a impactos mecáni...» . <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0050961>.
- «UNE-EN 1621-2:2014 Ropa de protección frente a impactos mecáni...» . <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0053423>.
- «UNE-EN 13594:2015 Guantes de protección para motociclistas. Re...» . <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0055790>.
- «UNE-EN 17092-1:2020 Prendas de protección para motociclistas. ...» . <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0064858>.
- Wu, Dan, Martine Hours, Amina Ndiaye, Amandine Coquillat, y Jean-Louis Martin. «Effectiveness of Protective Clothing for Motorized 2-Wheeler Riders». *Traffic Injury Prevention* 20, n.º 2 (2019): 196-203. <https://doi.org/10.1080/15389588.2018.1545090>.

ANEXO I

BASE DE DATOS NACIONAL 2023

Creación del dataframe y limpieza Base de datos Nacional de 2023 ->

```
import pandas as pd

#Primera comprobación de que se lee el archivo descargado correctamente

df = pd.read_excel('C:/Users/jorge/Desktop/TFM/Bases de
datos/España_2023/TABLA_ACCIDENTES_23.xlsx')

df.head() # Para mostrar las primeras filas

# Rutas de los archivos, cambiables según donde se guarde cada archivo
data_path = 'C:/Users/jorge/Desktop/TFM/Bases de
datos/España_2023/TABLA_ACCIDENTES_23.xlsx'
dict_path = 'C:/Users/jorge/Desktop/TFM/Bases de
datos/España_2023/Diccionario_Tabla_Accidentes.xlsx'

# Cargar DataFrame principal como strings
df = pd.read_excel(data_path, dtype=str)

# Cargar Excel de diccionario
xls = pd.ExcelFile(dict_path)

# Función para mapear una columna según la hoja del diccionario
def mapear_columna(df, hoja):
    # Leer la hoja sin encabezado y tomar A y B como Valor, Etiqueta
    dicc = pd.read_excel(xls, sheet_name=hoja, header=None, dtype=str)
    # Asignar nombres a las dos primeras columnas
    dicc = dicc.iloc[1:][[0,1]].rename(columns={0:'Valor', 1:'Etiqueta'})
    # Limpiar espacios
    dicc['Valor'] = dicc['Valor'].str.strip()
    dicc['Etiqueta'] = dicc['Etiqueta'].str.strip()
    # Crear mapa
    tipo_mapa = dict(zip(dicc['Valor'], dicc['Etiqueta']))
    # Función de sustitución
    def aplicar_valor(v):
        v_str = str(v).strip()
        return tipo_mapa.get(v_str, v_str)
    # Aplicar mapeo si hay datos
    df[hoja] = df[hoja].apply(aplicar_valor)
    print(f"Columna '{hoja}' mapeada con {len(tipo_mapa)} entradas.")

# Identificar y procesar columnas a mapear
oh_list = [hoja for hoja in xls.sheet_names if hoja in df.columns]
for hoja in oh_list:
```

```
mapear_columna(df, hoja)

# Mostrar primeras filas resultantes
display(df[oh_list].head())

# Para ver los accidents más frecuentes
df['TIPO_ACCIDENTE'].value_counts().head(10)

#Para poner en contexto la siniestralidad de accidentes de motos y ciclomotores
# Lista de columnas relevantes de víctimas por vehículo
vehiculos_cols = [
    'TOT_MOTO_MU24H', 'TOT_TUR_MU24H', 'TOT_FURG_MU24H',
    'TOT_CAM_MENOS3500_MU24H', 'TOT_CAM_MAS3500_MU24H', 'TOT_BUS_MU24H'
]

# Diccionario para guardar totales
victimas = {}

# Convertir columnas y calcular totales
for col in vehiculos_cols:
    if col in df.columns:
        # Asegurarse de que los datos sean numéricos
        df[col] = pd.to_numeric(df[col], errors='coerce').fillna(0)
        victimas[col] = df[col].sum()
    else:
        print(f"Columna no encontrada: {col}")

# Mostrar ranking de víctimas por tipo de vehículo
print("\n Ranking de víctimas en accidentes por tipo de vehículo (muertos a 24h):")
for tipo, total in sorted(victimas.items(), key=lambda x: float(x[1]), reverse=True):
    print(f"{tipo}: {int(total)} víctimas")
```

Creación de dataframe más pequeño con datos de solo motocicletas y ciclomotores, y visualizaciones correspondientes

```
import seaborn as sns
import matplotlib.pyplot as plt

# Filtrar accidentes con motos implicadas
df_moto = df[
    (df['TOT_MOTO_MU24H'].astype(float) > 0) |
    (df['TOT_MOTO_MU30DF'].astype(float) > 0)
]

# Lista ampliada de columnas a analizar
columnas_analizar = [
    'TIPO_ACCIDENTE',
```

```

    'TIPO_VIA', 'TITULARIDAD_VIA', 'ZONA', 'ZONA_AGRUPADA', 'TRAZADO_PLANTA',
    'PRIORI_NORMA', 'PRIORI_SEMAFORO', 'PRIORI_VERT_STOP', 'PRIORI_VERT_CEDA',
    'PRIORI_HORIZ_STOP', 'PRIORI_HORIZ_CEDA', 'PRIORI_MARCAS',
    'PRIORI_PEA_NO_ELEV',
    'PRIORI_PEA_ELEV', 'PRIORI_MARCA_CICLOS', 'PRIORI_CIRCUNSTANCIAL',
    'PRIORI_OTRA',
    'ACERA'
]

# Crear un heatmap por cada columna
for col in columnas_analizar:
    if col in df_moto.columns:
        tabla = df_moto[col].value_counts().sort_values(ascending=False)
        if tabla.shape[0] > 1: # Evitar columnas sin variabilidad
            plt.figure(figsize=(12, 5))
            sns.heatmap(tabla.to_frame().T, annot=True, fmt=".0f", cmap="YlOrRd",
cbar=False)

            plt.title(f'Accidentes de moto según: {col}')
            plt.yticks([])
            plt.xlabel(col)
            plt.xticks(rotation=45, ha='right')
            plt.tight_layout()
            plt.show()
        else:
            print(f"Columna no encontrada: {col}")

import seaborn as sns
import matplotlib.pyplot as plt

# Filtrar accidentes con motos implicadas
df_moto = df[
    (df['TOT_MOTO_MU24H'].astype(float) > 0) |
    (df['TOT_MOTO_MU30DF'].astype(float) > 0)
]

# Lista ampliada de columnas a analizar
columnas_analizar = [
    'TIPO_ACCIDENTE',
    'TIPO_VIA', 'TITULARIDAD_VIA', 'ZONA', 'ZONA_AGRUPADA', 'TRAZADO_PLANTA',
    'PRIORI_NORMA', 'PRIORI_SEMAFORO', 'PRIORI_VERT_STOP', 'PRIORI_VERT_CEDA',
    'PRIORI_HORIZ_STOP', 'PRIORI_HORIZ_CEDA', 'PRIORI_MARCAS',
    'PRIORI_PEA_NO_ELEV',
    'PRIORI_PEA_ELEV', 'PRIORI_MARCA_CICLOS', 'PRIORI_CIRCUNSTANCIAL',
    'PRIORI_OTRA',
    'ACERA'
]

# Crear un heatmap por cada columna
for col in columnas_analizar:
    if col in df_moto.columns:
        tabla = df_moto[col].value_counts().sort_values(ascending=False)
        if tabla.shape[0] > 1: # Evitar columnas sin variabilidad
            plt.figure(figsize=(12, 5))

```

```
sns.heatmap(tabla.to_frame().T, annot=True, fmt=".0f", cmap="YlOrRd",
cbar=False)

plt.title(f'Accidentes de moto según: {col}')
plt.yticks([])
plt.xlabel(col)
plt.xticks(rotation=45, ha='right')
plt.tight_layout()
plt.show()

else:
    print(f"Columna no encontrada: {col}")
```

Código referido al estudio de condiciones externas

```
# Comprobaciones de que no se pierde información para tener agrupados muertos de
# ciclomotores y motocicletas
# Convertir a float y asegurarse de que los NaNs no molesten
df['TOT_MOTO_MU30DF'] = df['TOT_MOTO_MU30DF'].astype(int).fillna(0)
df['TOT_CICLO_MU30DF'] = df['TOT_CICLO_MU30DF'].astype(int).fillna(0)

# Filtrar accidentes con al menos un fallecido en moto o ciclomotor
df_mc = df[(df['TOT_MOTO_MU30DF'] > 0) | (df['TOT_CICLO_MU30DF'] > 0)].copy()

# Crear columna unificada
df_mc['MUERTOS_MC'] = df_mc['TOT_MOTO_MU30DF'] + df_mc['TOT_CICLO_MU30DF']

# Mostrar total
print(f"Total fallecidos en moto o ciclomotor (hasta 30 días):
{df_mc['MUERTOS_MC'].sum()}")

sns.set(style="whitegrid")
plt.rcParams.update({'figure.max_open_warning': 0})

# Total de fallecidos (para calcular %)
total_muertos = df_mc['MUERTOS_MC'].sum()

# Función genérica
def plot_muertes_por_condicion_con_pct(df, columna, titulo):
    conteo = df.groupby(columna)['MUERTOS_MC'].sum().sort_values(ascending=False)
    porcentaje = (conteo / total_muertos * 100).round(1)

    plt.figure(figsize=(10, 5))
    ax = sns.barplot(x=conteo.values, y=conteo.index, palette='gray')
    plt.title(titulo)
    plt.xlabel('Fallecidos en moto/ciclomotor (hasta 30 días)')
    plt.ylabel('')

    # Añadir porcentaje al final de cada barra
    for i, (valor, pct) in enumerate(zip(conteo.values, porcentaje.values)):
        ax.text(valor + 1, i, f'{pct}%', va='center')

    plt.tight_layout()
    plt.show()
```

```
# Aplicar a las condiciones
plot_muertes_por_condicion_con_pct(df_mc, 'CONDICION_ILUMINACION', 'Fallecidos
según condición de iluminación')
plot_muertes_por_condicion_con_pct(df_mc, 'CONDICION_METEO', 'Fallecidos según
condiciones meteorológicas')
plot_muertes_por_condicion_con_pct(df_mc, 'CONDICION_NIVEL_CIRCULA', 'Fallecidos
según nivel de circulación (DGT)')
plot_muertes_por_condicion_con_pct(df_mc, 'CONDICION_NIEBLA', 'Fallecidos según
condiciones de niebla (sin deslumbramientos)')
plot_muertes_por_condicion_con_pct(df_mc, 'CONDICION_VIENTO', 'Fallecidos según
condiciones de viento')
plot_muertes_por_condicion_con_pct(df_mc, 'CONDICION_FIRME', 'Fallecidos según
condición del firme')
plot_muertes_por_condicion_con_pct(df_mc, 'VISIB_RESTRINGIDA_POR', 'Fallecidos
según visibilidad restringida por factor')

# Filtrar y graficar trazado de planta (sólo vías interurbanas)
vias_interurbanas = [
    'Autopista de peaje', 'Autopista libre', 'Autovía', 'Vía para automóviles',
    'Carretera Convencional de doble calzada', 'Carretera Convencional de calzada
única'
]

df_trazado = df_mc[df_mc['TIPO_VIA'].isin(vias_interurbanas)]
plot_muertes_por_condicion_con_pct(df_trazado, 'TRAZADO_PLANTA', 'Fallecidos
según trazado de la planta (vías interurbanas)')

# COMBINACIÓN DE CONDICIONES QUE MÁS SE REPITEN
# Columnas de condiciones externas que se quiere analizar
columnas_condiciones = [
    'CONDICION_NIVEL_CIRCULA',
    'CONDICION_FIRME',
    'CONDICION_ILUMINACION',
    'CONDICION_METEO',
    'CONDICION_NIEBLA',
    'CONDICION_VIENTO',
    'VISIB_RESTRINGIDA_POR'
]

# Filtrar datos válidos (sin nulos en esas columnas)
df_validas = df_mc.dropna(subset=columnas_condiciones)

# Agrupar por combinación de condiciones y contar ocurrencias
combinaciones = (
    df_validas
    .groupby(columnas_condiciones)
    .size()
    .reset_index(name='Conteo')
    .sort_values(by='Conteo', ascending=False)
)

# Mostrar la combinación más frecuente
```

```
print("Combinación de condiciones más frecuente:\n")
print(combinaciones.head(5))
```

Comparación porcentual de condiciones normales vs todas las condiciones durante el año

```
# AHORA SE VISUALIZA COMO VARÍAN LOS ACCIDENTES OBSERVADOS AL PRINCIPIO POR TIPO
DE VIA POR EJEMPLO, QUITANDO LAS CAUSAS EXTERNAS DEL ACCIDENTE
# CON EL ESTUDIO PREVIO SE FILTRA POR AQUELLOS FALLECIDOS DADOS BAJO CONDICIONES
EXTERNAS NORMALES
# Definir condiciones "normales"
condiciones_normales_flexibles = (
    (df_mc['CONDICION_FIRME'] == 'Seco y limpio') &
    (df_mc['CONDICION_NIVEL_CIRCULA'].isin(['Nivel blanco', 'Nivel verde'])) &
    (df_mc['CONDICION_ILUMINACION'].isin(['Luz del día natural, solar', 'Sin luz
natural y con iluminación artificial encen',
                                         'Amanecer o atardecer, con luz
artificial']))) &
    (df_mc['CONDICION_METEO'].isin(['Despejado', 'Nublado'])) &
    (~df_mc['CONDICION_NIEBLA'].isin(['Con niebla', 'Con niebla densa'])) &
    (~df_mc['CONDICION_VIENTO'].isin(['Con viento fuerte'])) &
    (df_mc['VISIB_RESTRINGIDA_POR'] == 'Buena visibilidad')
)

# Filtrar dataframe bajo condiciones normales más realistas
df_normales = df_mc[condiciones_normales_flexibles].copy()

# Comprobación rápida de cuántos registros hay
print(f"Registros bajo condiciones normales (flexibles): {len(df_normales)}")

# Calcular distribución porcentual del tipo de accidente
conteo_tipo_normales =
df_normales['TIPO_ACCIDENTE'].value_counts(normalize=True).mul(100).round(2)

# Mostrar resultados
print("Distribución porcentual de tipo de accidente en condiciones normales:")
print(conteo_tipo_normales)

# Y ahora el total
# Mostrar resultados
print(f"Número total de accidentes de moto y ciclomotor: {len(df_mc)}")

print("Distribución porcentual de tipo de accidente (TODOS los casos de moto y
ciclomotor):")
print(conteo_tipo_total)

# Para visualizar la comparación se comprueba que los dataframe están bien
definidos
# Distribución porcentual en condiciones normales
tipo_normales =
df_normales['TIPO_ACCIDENTE'].value_counts(normalize=True).mul(100).round(2)
```

```
# Distribución porcentual total
tipo_total =
df_mc['TIPO_ACCIDENTE'].value_counts(normalize=True).mul(100).round(2)

# Unir ambos en un DataFrame para comparar
df_comparacion = pd.concat([tipo_total, tipo_normales], axis=1, keys=['Total',
'Condiciones Normales']).fillna(0)

# Plot
df_comparacion.sort_values('Total', ascending=False).plot(kind='bar',
figsize=(12, 6))
plt.ylabel('Porcentaje (%)')
plt.title('Comparación de tipo de accidente: Total vs Condiciones normales')
plt.xticks(rotation=45, ha='right')
plt.grid(axis='y', linestyle='--', alpha=0.6)
plt.tight_layout()
plt.show()
```

BASE DE DATOS DE MADRID 2024

Creación del dataframe y limpieza Base de datos de Madrid 2024 ->

```
import pandas as pd

df = pd.read_csv("C:/Users/jorge/Desktop/TFM/Bases de
datos/Madrid_acceso_a_todos_los_años/2024_Accidentalidad.csv", sep=';',
encoding='utf-8')

df.head() # Mostrar las primeras filas, se ha usado mucho para ir viendo el
#procedimiento

# Lista de tipos de vehículo que consideras "motos"
tipos_moto = [
    "Ciclomotor",
    "Ciclomotor de dos ruedas Lle-B (equivalente a ciclomotor pero eléctrico)",
    "Ciclomotor de tres ruedas",
    "Moto de tres ruedas > 125cc",
    "Moto de tres ruedas hasta 125cc",
    "Motocicleta > 125cc",
    "Motocicleta hasta 125cc"
]

# Filtrar el DataFrame
```

```
df_motos = df[df['tipo_vehiculo'].isin(tipos_moto)].copy()

# Mostrar cuántos registros quedaron
print(f"Registros filtrados de motos y ciclomotores: {len(df_motos)}\n")

df_motos.head()

# Definir grupos de cilindrada
def clasificar_cilindrada(tipo):
    if tipo in [
        "Ciclomotor",
        "Ciclomotor de dos ruedas Lle-B (equivalente a ciclomotor pero eléctrico)",
        "Ciclomotor de tres ruedas"
    ]:
        return "<50cc (Ciclomotor)"
    elif tipo in [
        "Moto de tres ruedas hasta 125cc",
        "Motocicleta hasta 125cc"
    ]:
        return "50-125cc"
    elif tipo in [
        "Moto de tres ruedas > 125cc",
        "Motocicleta > 125cc"
    ]:
        return ">125cc"
    else:
        return "Otro"

# Crear la nueva columna
df_motos["grupo_cilindrada"] =
df_motos["tipo_vehiculo"].apply(clasificar_cilindrada)

# Verificar el conteo por grupo
print(df_motos["grupo_cilindrada"].value_counts())
```

Ver tipo de accidente según cilindrada y grupo de edad, una vez queda la base de datos solo para motocicletas y ciclomotores

```
#tipo de accidente según cilindrada
tabla_accidente_cilindrada = pd.crosstab(
    df_motos["grupo_cilindrada"],
    df_motos["tipo_accidente"],
    normalize="index"
) * 100

# Redondear para legibilidad
tabla_accidente_cilindrada = tabla_accidente_cilindrada.round(1)

# Mostrar tabla
print("Distribución porcentual de tipo de accidente según cilindrada:")
```

```
print(tabla_accidente_cilindrada)
# grupo de edad y cilindrada
edad_cilindrada = pd.crosstab(
    df_motos["rango_edad"],
    df_motos["grupo_cilindrada"],
    normalize="index"
) * 100

edad_cilindrada = edad_cilindrada.round(1)

print(" Distribución de cilindrada en accidentes por rango de edad del
conductor:")
print(edad_cilindrada)
# Número de accidentes por grupo de edad (es decir, número de víctimas
registradas por edad)
conteo_edad = df_motos["rango_edad"].value_counts().sort_index()

print("\nConteo de víctimas en accidentes por rango de edad:")
print(conteo_edad)

# Para visualizar los accidentes por grupo de edad y cilindrada:
# Importar las bibliotecas necesarias
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

# Agrupar los datos por rango de edad y cilindrada y contar tipos de accidente
grouped = df_motos.groupby(['rango_edad',
'grupo_cilindrada'])['tipo_accidente'].count().unstack().fillna(0)

# Función para extraer el número de edad de manera segura
def extract_age(age_range):
    parts = age_range.split()
    # Verificar si hay al menos 2 elementos y el segundo es un número
    if len(parts) >= 2 and parts[1].isdigit():
        return int(parts[1])
    # Si es "Mayor de X" o similar, extraer ese número
    elif len(parts) >= 3 and parts[2].isdigit():
        return int(parts[2])
    # Caso para "Menores de X"
    elif "Menores" in age_range and len(parts) >= 3 and parts[2].isdigit():
        return int(parts[2]) - 100 # Para que aparezcan primero
    # Valor por defecto para otros casos
    else:
        return 999 # Para que aparezcan al final

# Ordenar por rango de edad de forma segura
try:
    ordered_ages = sorted(grouped.index, key=extract_age)
    grouped = grouped.loc[ordered_ages]
except Exception as e:
    print(f"Error al ordenar: {e}")
    # Si falla el ordenamiento, usar el índice original
    print("Usando el índice sin ordenar")
```

```
# Crear figura y ejes explícitamente
fig, ax = plt.subplots(figsize=(14, 8))

# Crear gráfico de barras apiladas
grouped.plot(kind='bar', stacked=True, ax=ax, colormap='tab20')

# Configurar títulos y etiquetas
ax.set_title('Accidentes por grupo de edad y cilindrada', fontsize=14)
ax.set_xlabel('Rango de Edad', fontsize=12)
ax.set_ylabel('Número de Accidentes', fontsize=12)
ax.legend(title='Cilindrada', bbox_to_anchor=(1.05, 1), loc='upper left')
plt.xticks(rotation=45)

# Añadir etiquetas con el número de accidentes en cada segmento
for i, age in enumerate(grouped.index):
    y_offset = 0
    for cilindrada in grouped.columns:
        value = grouped.loc[age, cilindrada]
        if value > 0: # Solo mostrar etiquetas para valores mayores que cero
            # Ajustar el tamaño de la fuente según el valor
            fontsize = min(10, max(8, 8 + value/20))

            # Posicionar la etiqueta en el centro del segmento
            ax.text(i, y_offset + value/2, f'{int(value)}',
                    ha='center', va='center',
                    fontweight='bold', color='black', fontsize=fontsize,
                    bbox=dict(facecolor='white', alpha=0.7, edgecolor='none',
                                pad=1))
            y_offset += value

# Añadir el total de accidentes en la parte superior de cada barra
for i, age in enumerate(grouped.index):
    total = grouped.loc[age].sum()
    ax.text(i, total + (total*0.03), f'Total: {int(total)}',
            ha='center', va='bottom',
            fontweight='bold', fontsize=10,
            color='black')

# Ajustar los márgenes y mostrar el gráfico
plt.tight_layout()
plt.show()

# Imprimir también una tabla con los valores para verificación
print("\nTabla de valores:")
print(grouped)
```

Visualización porcentual de accidentes por cilindrada y vía (interurbana y urbana)

```
# Lista de patrones indicativos de vía interurbana
patrones_interurbanos = [
    'A-2', 'A2', 'A3', 'A-4', 'A-6', 'ACCESO', 'AUTOP', 'AUTOPISTA', 'AUTOV',
    'CARRETERA', 'CMNO', 'CAMINO', 'CRTA', 'CTA', 'KILOMETRO', 'KM', 'M- 23',
    'M 30', 'M-203', 'M-30', 'M30', 'M-50', 'SALIDA', 'VIA', 'TRVA'
]

# Normalizar localización para que la comparación sea insensible a mayúsculas
df['localizacion_upper'] = df['localizacion'].fillna('').str.upper()

# Detectar vías interurbanas
df['ES_INTERURBANA'] =
df['localizacion_upper'].str.contains('|'.join(patrones_interurbanos),
regex=True)

# Clasificación por cilindrada
cond_baja = df['tipo_vehiculo'].isin([
    'Ciclomotor', 'Ciclomotor de dos ruedas Lle-B (equivalente a ciclomotor pero
eléctrico)', 'Ciclomotor de tres ruedas'
])
cond_media = df['tipo_vehiculo'].isin([
    'Moto de tres ruedas hasta 125cc', 'Motocicleta hasta 125cc'
])
cond_alta = df['tipo_vehiculo'].isin([
    'Moto de tres ruedas > 125cc', 'Motocicleta > 125cc'
])

df['CILINDRADA'] = 'Otra'
df.loc[cond_baja, 'CILINDRADA'] = '≤50cc (Ciclomotor)'
df.loc[cond_media, 'CILINDRADA'] = '51-125cc'
df.loc[cond_alta, 'CILINDRADA'] = '>125cc'

# Filtrar motos y ciclomotores únicamente
df_moto = df[df['CILINDRADA'] != 'Otra'].copy()

# Orden específico deseado
orden_cilindrada = ['≤50cc (Ciclomotor)', '51-125cc', '>125cc']

# Agrupar y calcular porcentaje
conteo = df_moto.groupby(['ES_INTERURBANA',
    'CILINDRADA']).size().unstack().fillna(0)
conteo = conteo[orden_cilindrada] # Reordenar columnas
conteo_pct = (conteo.T / conteo.T.sum()).T * 100

# Graficar con etiquetas de porcentaje
ax = conteo_pct.plot(kind='bar', stacked=True, figsize=(10, 6),
colormap='tab20c')
for i, total in enumerate(conteo_pct.iterrows()):
    y_offset = 0
    for j, val in enumerate(total[1]):
        if val > 0:
            ax.text(i, y_offset + val / 2, f"{val:.1f}%", ha='center',
va='center', fontsize=8)
            y_offset += val
```

```
plt.title('Distribución porcentual de accidentes por cilindrada\nInterurbanas vs Urbanas')
plt.xlabel('Tipo de vía')
plt.ylabel('% de accidentes')
plt.xticks(ticks=[0, 1], labels=['Urbana', 'Interurbana'], rotation=0)
plt.legend(title='Cilindrada')
plt.tight_layout()
plt.show()
```

GRÁFICAS DEL BALANCE ECONÓMICO DEL PLAN PROPUESTO PROPIO

Gráfico de impacto anual esperado del plan con reducción de fallecidos y lesiones graves

```
import matplotlib.pyplot as plt

# Coste público anual del plan (M€)
plan_cost_M = 216.834

# Base epidemiológica anual
fatalities_base = 455                # fallecidos motoristas
serious_injuries_base = 3521         # hospitalizados (moto+ciclomotor)

# Valoraciones económicas (€/caso evitado)
value_per_fatality = 2_000_000
value_per_serious_injury = 385_480

# Objetivo esperado (central) y rango (vidas menos al año)
fatalities_avoided_central = 70      # p.ej., ~70 menos
fatalities_avoided_low = 50          # rango inferior
fatalities_avoided_high = 100        # rango superior

reduction_central = fatalities_avoided_central / fatalities_base
reduction_low = fatalities_avoided_low / fatalities_base
reduction_high = fatalities_avoided_high / fatalities_base

injuries_avoided_low = serious_injuries_base * reduction_low
injuries_avoided_central = serious_injuries_base * reduction_central
injuries_avoided_high = serious_injuries_base * reduction_high

fatalities_after_central = fatalities_base - fatalities_avoided_central
injuries_after_central = serious_injuries_base - injuries_avoided_central

# Beneficios sociales (M€)
```

```
benefit_low_M = (fatalities_avoided_low*value_per_fatality +
injuries_avoided_low*value_per_serious_injury) / 1e6
benefit_central_M = (fatalities_avoided_central*value_per_fatality +
injuries_avoided_central*value_per_serious_injury) / 1e6
benefit_high_M = (fatalities_avoided_high*value_per_fatality +
injuries_avoided_high*value_per_serious_injury) / 1e6

# Umbral de rentabilidad (reducción % que iguala beneficio social y coste del
plan)
denominator = fatalities_base*value_per_fatality +
serious_injuries_base*value_per_serious_injury
breakeven_reduction = (plan_cost_M*1e6) / denominator
breakeven_fatalities = fatalities_base * breakeven_reduction
breakeven_injuries = serious_injuries_base * breakeven_reduction
breakeven_benefit_M = plan_cost_M

# Elaboración del gráfico
# "Antes → Después" con rango (error bars) en el punto "Después"
plt.figure()
x_before, x_after = 0, 1

# Fallecidos
plt.plot([x_before, x_after], [fatalities_base, fatalities_after_central],
marker='o')
plt.text(x_before, fatalities_base, f'{fatalities_base:.0f}', va='bottom',
ha='center')
plt.text(x_after, fatalities_after_central, f'{fatalities_after_central:.0f}',
va='bottom', ha='center')
# Rango en "después"
yerr_fat_low = fatalities_after_central - (fatalities_base -
fatalities_avoided_high)
yerr_fat_high = (fatalities_base - fatalities_avoided_low) -
fatalities_after_central
plt.errorbar(x_after, fatalities_after_central,
yerr=[yerr_fat_low, yerr_fat_high], fmt='none', capsize=6)

# Lesiones graves
plt.plot([x_before, x_after], [serious_injuries_base, injuries_after_central],
marker='o')
plt.text(x_before, serious_injuries_base, f'{serious_injuries_base:.0f}',
va='bottom', ha='center')
plt.text(x_after, injuries_after_central, f'{injuries_after_central:.0f}',
va='bottom', ha='center')
# Rango en "después"
injuries_after_low = serious_injuries_base - injuries_avoided_high
injuries_after_high = serious_injuries_base - injuries_avoided_low
yerr_inj_low = injuries_after_central - injuries_after_low
yerr_inj_high = injuries_after_high - injuries_after_central
plt.errorbar(x_after, injuries_after_central,
yerr=[yerr_inj_low, yerr_inj_high], fmt='none', capsize=6)

plt.xlim(-0.25, 1.25)
plt.xticks([x_before, x_after], ['Antes', 'Con plan'])
plt.title('Impacto anual esperado: fallecidos y lesiones graves (rango)')
```

```
plt.ylabel('Personas/año')
plt.tight_layout()
plt.show()
```

Gráfica de evolución económica del plan

```
import matplotlib.pyplot as plt

# PARÁMETROS
plan_cost_M = 216.834          # M€
fatalities_base = 455         # fallecidos/año
serious_injuries_base = 3521   # hospitalizados/año (moto+ciclomotor)
value_per_fatality = 2_000_000 # €/caso
value_per_serious_injury = 385_480
fatalities_avoided_central = 70 # vidas menos (escenario central)

# Cálculos derivados
r = fatalities_avoided_central / fatalities_base
injuries_avoided = serious_injuries_base * r
benefit_fatal_M = (fatalities_avoided_central * value_per_fatality) / 1e6
benefit_injury_M = (injuries_avoided * value_per_serious_injury) / 1e6
net_M = benefit_injury_M + benefit_fatal_M - plan_cost_M

#Gráfica
stages = ['Inicio', '- Coste plan', '+ Benef. lesiones', '+ Benef. fallecidos',
'Balance']
cumulative = [0,
              -plan_cost_M,
              -plan_cost_M + benefit_injury_M,
              -plan_cost_M + benefit_injury_M + benefit_fatal_M,
              net_M]

plt.figure()
plt.step(range(len(stages)), cumulative, where='mid', marker='o')
for i, v in enumerate(cumulative):
    plt.text(i, v, f'{v:.1f} M€', ha='center', va='bottom')
plt.axhline(0, linestyle='--')
plt.xticks(range(len(stages)), stages, rotation=0)
plt.ylabel('Millones de € / año')
plt.title('Evolución acumulada: de 0 al balance neto')
plt.tight_layout()
plt.show()
```