

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN 2021

INFORME DEL PROYECTO REF. SV-21-GIJON-15

1. Datos del proyecto

Título: Análisis integral de la movilidad en el Concejo de Gijón, propuesta de soluciones infraestructurales para la seguridad vial de esta (SeMo-Gijón)

Fechas inicial y final del proyecto: 11/10/2021 - 31/12/2021

Investigador/a Principal: Zenaida Aurora Hernández Garrastacho

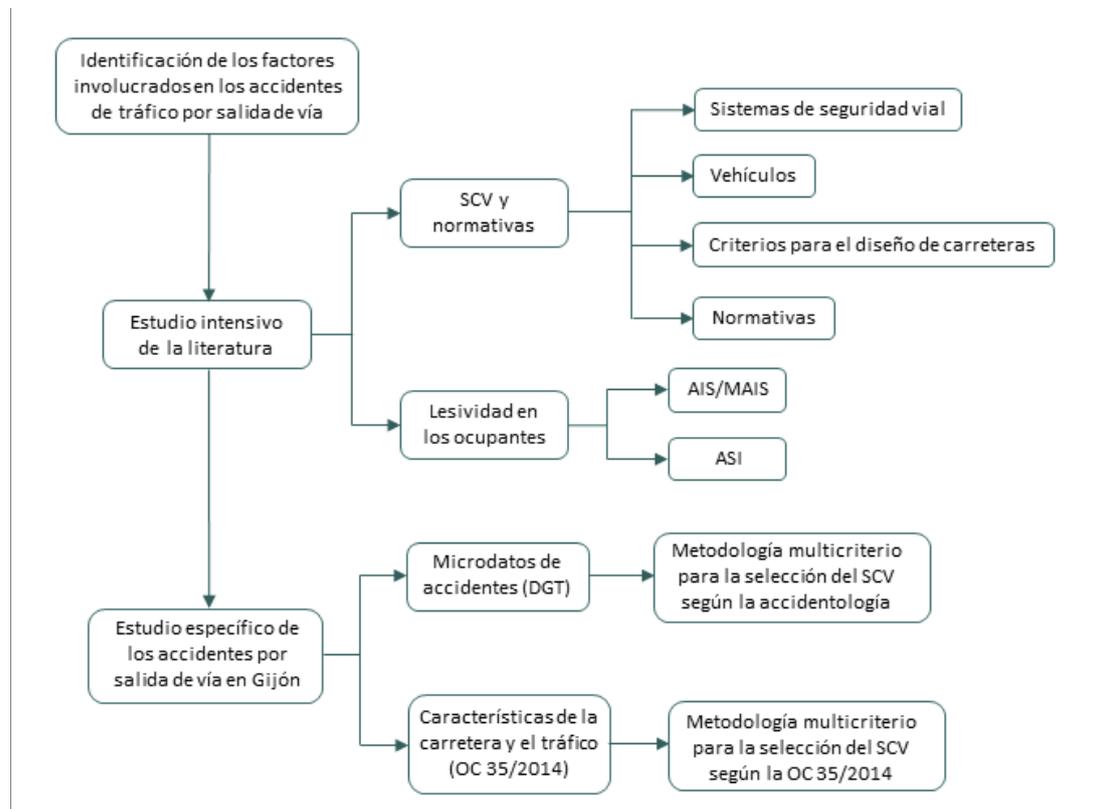
Otros investigadores: Ángel Martín Rodríguez, Juan Carlos Viera Pérez

Personal contratado: Marta Fernández Suárez

Fechas inicial y final de contratación: 11/10/2021 - 31/12/2021

Empresas o instituciones colaboradoras: UTE AUDECA-CIVISGLOBAL O-03, ECOEFICIENCIA E INGENIERÍA S.L., Buhodra Ingeniería S.A.

2. Resumen Gráfico



3. Memoria descriptiva del proyecto

3.1 Resumen ejecutivo

La movilidad sostenible es uno de los retos más importantes que debe afrontar la sociedad actual, necesitada de una red de transporte amplia debido a su movimiento constante y cambiante, ya que el 84% del transporte de mercancías y el 91% del transporte de personas se realiza por carretera en nuestro país, por lo que no sólo se necesita una movilidad sostenible, sino que la misma sea segura. Para garantizar una movilidad segura resulta necesario garantizar tanto la seguridad activa como la pasiva, con el objetivo de reducir, cada vez más, las posibles lesiones resultantes de una colisión, bien entre vehículos o bien entre un vehículo y otro elemento de la vía.

Los accidentes de tráfico pueden producirse por diferentes causas, representando alrededor del 40% de los accidentes en carretera la salida del vehículo de la vía (DGT). Para reducirlos es necesario conocer todos los factores involucrados en los mismos, así como el resultado obtenido de estos. Al producirse la salida de la vía el vehículo puede sufrir diferentes tipos de colisión: contra otro vehículo, contra obstáculos en los laterales de la vía, una caída por un desnivel... Para reducir el posible impacto del vehículo en el lateral y contenerlo se disponen sistemas de contención de vehículos, que, contradictoriamente, son obstáculos en sí mismos, por lo que la adecuada selección e instalación de los mismos es un factor fundamental.

Para que la selección del sistema de contención de vehículos sea rigurosa no deben considerarse únicamente las especificaciones dictadas en la Orden Circular 35/2014 (Ministerio de Fomento, 2014), sino que habría que tener en cuenta los datos relativos a los accidentes como muestra la Figura 1:

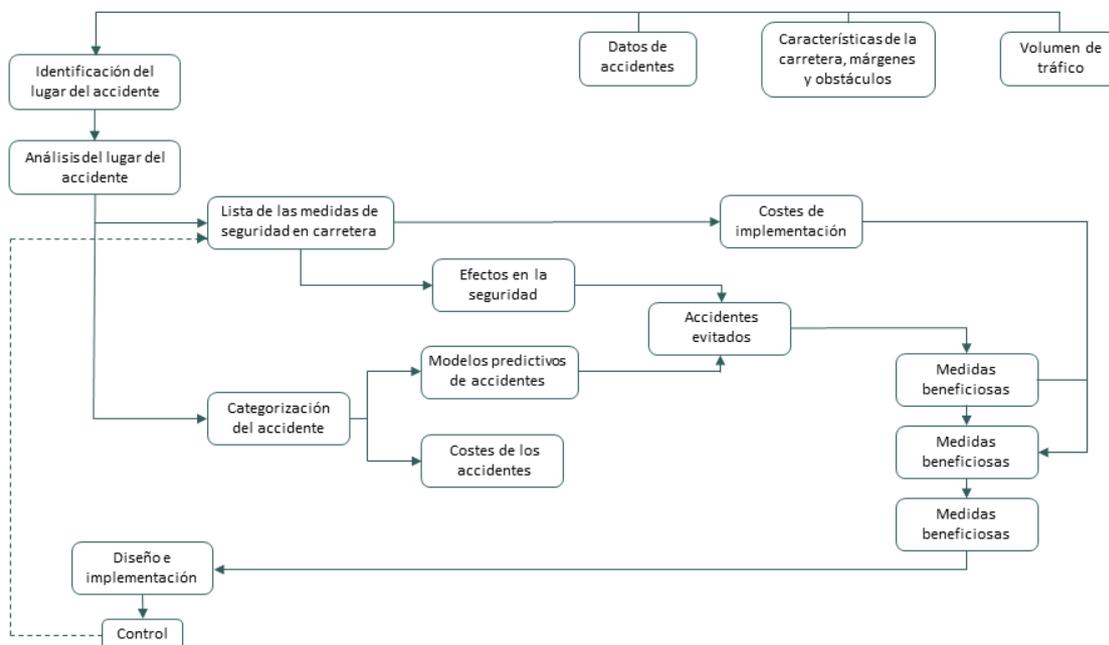


Figura 1. Estructura general del procedimiento para la selección del sistema de contención adecuado. (Roque & Cardoso, 2013)

Teniendo en cuenta que Gijón apuesta por una movilidad sostenible, según manifiesta su Plan Integral de Movilidad Sostenible y Segura para el periodo 2018-2024 alineado con el Plan Estratégico de Gijón 2026, este proyecto ha tenido como objetivo el análisis detallado de todos los factores involucrados

en los accidentes de tráfico producidos en la red de carreteras de Gijón, tanto carreteras convencionales como autovías/autopistas. Se incluyen tanto características del vehículo siniestrado, como de la gravedad del accidente, de vehículos involucrados, la cantidad de personas afectadas, el punto kilométrico, el daño producido en el vehículo, el tipo de protección existente/inexistente en la zona de impacto, o el trazado de la vía, entre otros. Esta información, junto con las normativas de aplicación, permitirá establecer una metodología basada en el multicriterio para la selección adecuada del sistema de protección vial necesario. Para llevar a cabo este trabajo, el equipo del proyecto se ha apoyado, entre otros, en la obtención de datos desde unidad de investigación de la Dirección General de Tráfico, así como de las empresas que apoyan este proyecto.

Beneficiarios

Los beneficiarios de los resultados del proyecto, así como el beneficio que el mismo aporta a cada uno de ellos se detallan a continuación:

1. Para el Ayuntamiento de Gijón y la oficina provincial del Ministerio de Transporte:
 - Podrán disponer de una herramienta, a través del análisis multicriterio definido, que le permitirá llevar a cabo una buena práctica de la seguridad vial en las zonas urbanas e interurbanas; esto dotaría de valor añadido el Plan Integral de Movilidad, aún vigente, y el Plan Estratégico de Gijón 2026.
 - Podrán disponer de información detallada sobre los accidentes de tráfico (su tipología, causas, elementos involucrados, magnitud, etc.), tanto de la ciudad como de todo el Concejo de Gijón, que le permitirá llevar a cabo una buena práctica de la seguridad vial en sus carreteras. Resulta estrictamente necesario un vínculo estrecho entre la toma de datos de los hospitales y la Guardia Civil para establecer un procedimiento mucho más riguroso.
 - En todos los foros que permitan exponer el análisis realizado en este proyecto y el resultado del mismo, le proporcionará a Gijón una alta visibilidad dentro de este sector.
2. Para el IUTA y la Universidad de Oviedo:
 - Abre una nueva línea de investigación que responde al sector estratégico del IUTA 2021 de transporte y energía. La metodología desarrollada y el resultado obtenido podrán servir de guía para futuras investigaciones a realizar en otras zonas de Asturias.
3. Para la UTE AUDECA-CIVISGLOBAL O-03:
 - El proyecto le permite realizar de forma eficiente la conservación de las carreteras que gestiona, en lo que a la seguridad vial se refiere. Tomando como base el análisis multicriterio definido en este proyecto la empresa de conservación podrá analizar aquellas zonas con protección vial en las cuales se detecte una incidencia elevada de accidentes, verificando que la protección instalada sea la adecuada y, en caso contrario, sustituyendo esta por la correcta. Además, en zonas o puntos desprotegidos donde se producen determinados tipos de accidentes de tráfico, podrán seleccionar la protección vial adecuada, basada no sólo en las características de la vía y el tráfico sino teniendo en cuenta el accidente “tipo” que se produce, así como la lesión predominante en los ocupantes de los vehículos.

Objetivos específicos y grado de consecución

El objetivo principal del proyecto SeMo-Gijón es desarrollar una metodología multicriterio para la selección de un sistema de seguridad vial basándose no sólo en la aplicación de normativas y regulaciones, sino en los datos de los accidentes específicos del área en estudio. Para alcanzarlo, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Identificar todos los factores involucrados en los accidentes de tráfico por salida de la vía. → Este objetivo se ha cumplido tras realizar el análisis detallado de 100 accidentes en las carreteras de Gijón.
- Estudiar la literatura actual, vinculada con sistemas de seguridad vial, vehículos, criterios para el diseño de carreteras, datos de accidentes derivados de la circulación de vehículos; así como de las diferentes técnicas que se emplean para llevar a cabo un análisis multicriterio. → Este objetivo fue completado al haberse estudiado un gran número de artículos relacionados con la accidentología y su respectiva vinculación a los sistemas de contención de vehículos al igual que las diferentes normativas, tanto de sistemas de contención para carreteras, ensayos de choque, instalación, etc; como en lo referente a la repercusión en los ocupantes de los vehículos, el impacto de estos contra obstáculos, clasificación de la lesividad y correlación de esta en función del tipo de impacto...
- Estudiar, de forma específica, los accidentes por salida de la vía en Gijón. → Este objetivo se ha cumplido gracias a los microdatos proporcionados por la unidad de investigación de la DGT.
- Diseñar la metodología multicriterio a poner en práctica en el proyecto. → Este objetivo se ha completado definiendo los parámetros necesarios para seleccionar el sistema de contención adecuado.

Metodología aplicada

La metodología de trabajo que se ha llevado a cabo para el desarrollo del proyecto ha sido la siguiente, considerando los objetivos anteriormente indicados:

- Celebración de reuniones con las empresas que apoyan el proyecto, estableciendo colaboración entre ambas partes. En la primera fase del proyecto, se adquirió toda la información relevante que estas pudiesen aportar, y una vez llegado a su fin, se les transmiten los resultados obtenidos
- Análisis de la literatura actual sobre la seguridad vial incluyendo: accidentología, correlación entre las lesiones en los ocupantes de vehículos y la definición del índice de severidad de la barrera de seguridad, impactos de vehículos, tipología de los accidentes, comportamiento de los sistemas de contención ante los diferentes tipos de accidentes, influencia del emplazamiento de las barreras, según el tipo de vía, distancias a los bordes, distancias a los obstáculos, etc., con el fin de identificar experiencias similares, principalmente en el ámbito internacional, donde se han llevado a cabo diferentes estudios y proyectos . Para ello se han consultado principalmente bases de datos científicas como Scopus, Science, Direct, Dialnet...
- Estudio de las normativas y las regulaciones vigentes nacional e internacionalmente (principalmente en Europa), tanto en lo que se refiere a la definición de la barrera de seguridad por las características de la vía, tráfico circulante, como por aspectos relacionados con los accidentes que se producen.
- Obtención de datos, trabajando principalmente con los microdatos de la unidad de investigación de la Dirección General de Tráfico. Además, se han empleado portales de descarga de elementos

cartográficos de libre acceso como la Infraestructura de Datos Espaciales de Gijón (IDE Gijón), el Sistema de Información Territorial e Infraestructura de Datos Espaciales de Asturias (SITPA) o el Instituto Geográfico Nacional (IGN).

- Tratamiento de los datos obtenidos, identificando todos aquellos factores determinantes como pueden ser: ID del accidente, carretera, punto kilométrico, sentido de circulación, tipo de salida de vía y de colisión, gravedad, existencia de sistemas de contención de vehículos, número de víctimas y gravedad que revestían, tipo de vehículo...
- Desarrollo metodología/s multicriterio en función de la tipología de los accidentes; las características de las infraestructuras; el tráfico; el comportamiento de los vehículos, tanto de los convencionales como de los eléctricos; las normativas de aplicación...
- Definición de los parámetros esenciales de entrada de información y de salida de resultados, incluyendo los mismo dentro del diagrama multicriterio definido.
- Para llevar a cabo la gestión de la información del proyecto, así como las reuniones efectuadas, se han empleado las herramientas disponibles para el personal de la Universidad de Oviedo, tales como Microsoft Teams y OneDrive.

Resultados obtenidos

Las tareas descritas han arrojado los siguientes resultados:

- La salida de vía se corresponde con un porcentaje notable dentro del total de accidentes de tráfico, al situarse muy próximo al 20%.
- Los accidentes estudiados se han cobrado no solo heridos leves y graves, sino también fallecidos.
- Las carreteras convencionales concentraron, en promedio, más accidentes que las autovías/autopistas, habiéndose producido un 52% en las primeras y un 48% en las segundas.
- En los accidentes acontecidos el turismo muestra un claro predominio dentro de los vehículos involucrados, estando cercano al 80%.
- Las carreteras convencionales AS-376 y AS-377 han resultado ser peligrosas al presentar unos índices de peligrosidad superiores a lo establecido por el MITMA. También la A-66 supera el criterio correspondiente a la mortalidad al superarse dicho índice en esta vía.
- Las lesiones mortales y de mayor gravedad en los accidentes de tráfico se dan en la cabeza (fallecidos y heridos graves) y en el cuello (heridos leves).
- Según lo establecido acorde a las lesiones y el AIS que conllevan se ha puesto de manifiesto que las barreras de seguridad dispuestas en las carreteras de la villa gijonesa en muchos casos no cumplen con el ASI que deberían.

Después del análisis llevado a cabo se ha visto que las barreras instaladas en las carreteras de estudio, al menos en las zonas donde se han producido accidentes, no son válidas y, en algunos tramos, son inexistentes.]

3.2 | Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

Los objetivos iniciales del proyecto SeMo-Gijón, así como su grado de consecución, se enumeran a continuación:

- Identificar todos los factores involucrados en los accidentes de tráfico por salida de la vía. → Este objetivo se ha cumplido tras realizar el análisis detallado de 100 accidentes en las carreteras de Gijón.
- Estudio de la literatura actual vinculada con los sistemas de seguridad vial, vehículos (convencionales y eléctricos), criterios para el diseño de carreteras, accidentología derivada de la circulación de vehículos, así como de las diferentes técnicas que se emplean para llevar a cabo un análisis multicriterio. → Este objetivo fue completado parcialmente al no haber tenido tiempo para estudiar con detalle los vehículos eléctricos, si bien los vehículos convencionales sí fueron analizados rigurosamente.
- Estudiar, de forma específica, los accidentes por salida de la vía en Gijón. → Este objetivo se ha cumplido gracias a los microdatos proporcionados por la unidad de investigación de la DGT.
- Diseñar la metodología multicriterio a poner en práctica en el proyecto. → Este objetivo se ha completado definiendo los parámetros necesarios para seleccionar el sistema de contención adecuado, tanto en lo que se refiere a las características y tráfico de la vía como al estudio detallado de los accidentes producidos.
- Redactar una breve guía sobre la metodología desarrollada. → Esta tarea fue comenzada pero no pudo ser finalizada dado el reducido tiempo con el que se ha contado para llevar a cabo el proyecto.
- Divulgar el resultado obtenido en el sector de movilidad así como en empresas de ingeniería vinculadas a proyectos de esta índole o empresas de conservación de carreteras, entre otras. → En el corto periodo de tiempo en el que se ha desarrollado este proyecto no ha sido posible la divulgación de sus resultados, si bien se plantea continuar trabajando en ello aún fuera del plazo de finalización para que el trabajo realizado se visualice y pueda servir de herramienta para empresas del sector.

3.3 Tareas realizadas

Se ha llevado a cabo un análisis de los datos de accidentes de tráfico disponibles en Gijón para un periodo de 5 años (2015 - 2019), a nivel tanto de carreteras convencionales como autovías/autopistas:

- Análisis de los microdatos de accidentes de la DGT, centrandó la atención en los accidentes por salida de vía y vuelco.
- Evaluación de los lesionados y fallecidos y los tipos de vehículos implicados.
- Definición del criterio de selección de las carreteras para profundizar en su análisis, situándolo en aquellas con más de 10 accidentes en el periodo de estudio.
- Valoración de los índices de peligrosidad y mortalidad según el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA).
- Programación de un código en Python para facilitar y agilizar la consulta de datos.
- Análisis de las lesiones mortales y de mayor gravedad.

- Revisión de las publicaciones ensayísticas disponibles sobre la localización de lesiones en accidentes de tráfico, identificando las regiones corporales más afectadas y el correspondiente AIS asociado, para con ello definir el ASI de las barreras de seguridad.
- Definición de una metodología de selección multicriterio teniendo en cuenta las características de la vía.
- Definición de una metodología de selección multicriterio teniendo en cuenta la lesividad del accidente.

3.4 Resultados obtenidos

En base a las tareas anteriormente descritas:

1. En el análisis llevado a cabo se han considerado los accidentes producidos por salida de vía al estar vinculados al impacto contra los laterales en la calzada, bien contra la barrera de seguridad o bien contra obstáculos por la falta de esta. No obstante, se ha decidido incluir también el vuelco al considerarlo una colisión derivada del impacto lateral.

Al producirse el choque de un vehículo contra un obstáculo, el impacto inicial viene dado por la colisión del propio móvil contra el objeto. El segundo impacto es el de los ocupantes contra el interior del vehículo y, el tercer impacto, el de los propios órganos internos entre sí. Este último tiene especial importancia para explicar la producción de lesiones de golpe y contragolpe (Lorenzo AE et al., 2013).

Se ha visto que los accidentes por salida de la vía y el vuelco supusieron, respectivamente, un 16,2% y un 2,4% sobre el total de accidentes acontecidos en Gijón entre el año 2015 y el año 2019. Considerando el vuelco como una colisión derivada de un impacto lateral, estaríamos hablando de que este análisis abarcaría prácticamente un 20% de las colisiones en el citado concejo (Figura 2).

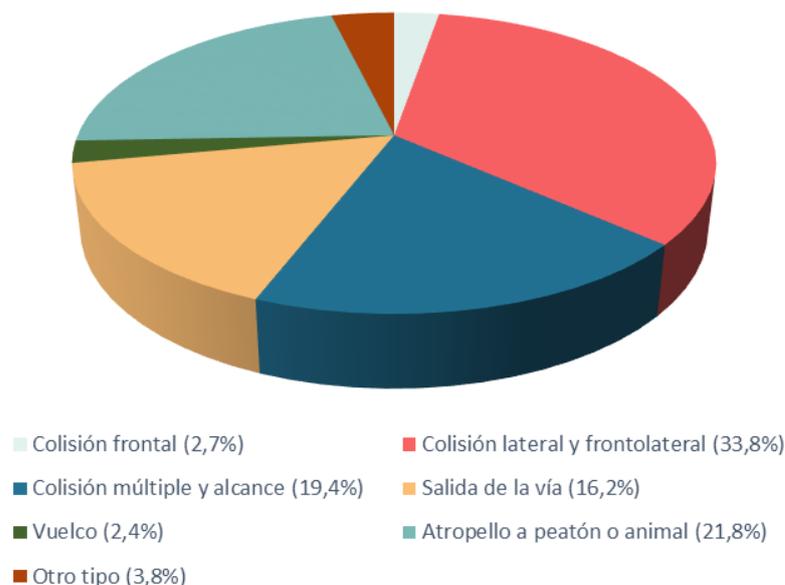


Figura 2. Accidentes según el tipo de vía en Gijón (2015-2019). (Elaboración propia)

2. Las carreteras gijonesas registraron un total de 710 víctimas entre 2015 y 2019 por salida de la vía y vuelco. Si bien la mayoría de los heridos fueron leves (91,8%), también hubo heridos graves (7,7%) e incluso fallecidos (0,4%), como muestran la Figura 3 y la Figura 4:

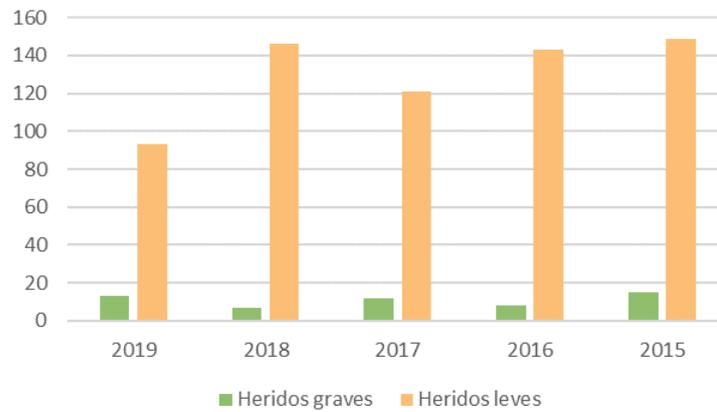


Figura 3. Lesionados por salida de vía y vuelco en Gijón (2015-2019). (Elaboración propia)

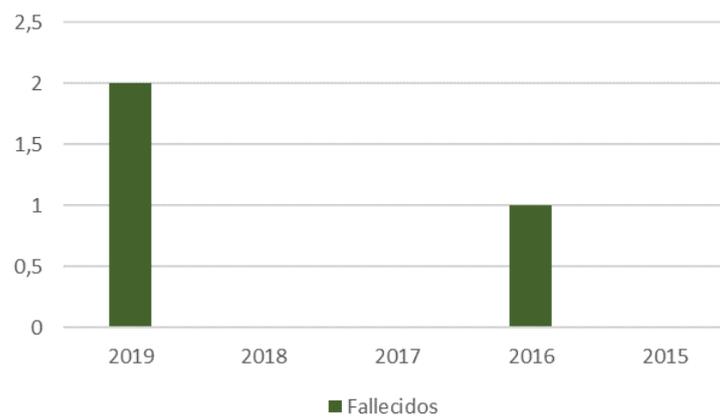


Figura 4. Fallecidos por salida de vía y vuelco en Gijón (2015-2019). (Elaboración propia)

3. Centrando la atención en las carreteras convencionales y en las autopistas/autovías para las colisiones consideradas vemos que, en promedio, en las convencionales se produjeron un 51,9% de los accidentes y, en las autopistas/autovías el 48,1% restante. La Figura 5 recoge anualmente los accidentes producidos en Gijón según el tipo de vía:

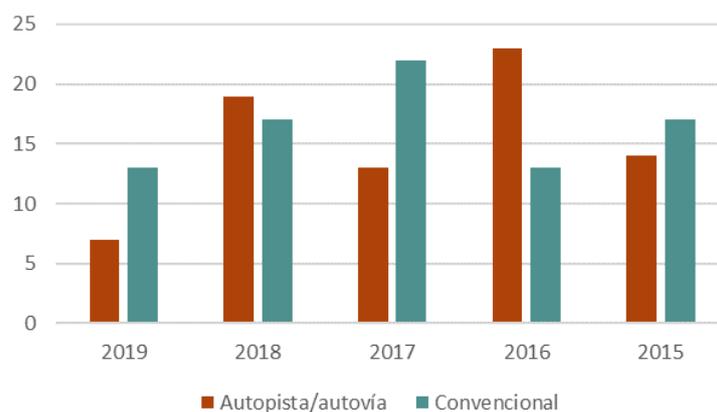


Figura 5. Accidentes según el tipo de vía en Gijón (2015-2019). (Elaboración propia)

4. El análisis de los vehículos involucrados en los accidentes refleja en la Figura 6 el claro predominio del turismo (76,4%), para los que resulta de gran relevancia el análisis del parámetro ASI.

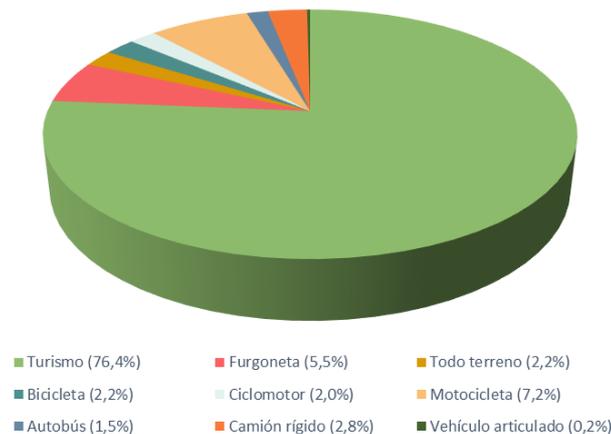


Figura 6. Accidentes según el vehículo involucrado en Gijón (2015-2019). (Elaboración propia)

El vehículo tipo turismo está estrechamente relacionado con la medición de la lesividad del accidente para los ocupantes del mismo, tal es el caso que la normativa EN 1317 (AENOR, 2011a, 2011b) define la clase de comportamiento del vehículo en función del ASI mediante un ensayo de choque con un vehículo de 900 kg de peso, independientemente del nivel de contención de la barrera de seguridad. Aunque el nivel de contención de la misma sea elevado, en ningún caso debe suponer un peligro para los ocupantes del vehículo, razón por la cual se lleva a cabo el ensayo denominado "ensayo de control" con este vehículo.

5. Dentro del total de carreteras en las que se engloban los accidentes acontecidos en Gijón en el periodo de tiempo señalado, se ha decidido estudiar en profundidad aquellas carreteras en las que se produjeron 10 o más accidentes. Siendo estas:
- La A-8, con una longitud de 23,8 km 35 accidentes.
 - La A-66, con una longitud de 3,5 km y 15 accidentes.
 - La AS-377, con una longitud de 10,3 km y 14 accidentes.
 - La AS-I, con una longitud de 8,4 km y 13 accidentes.
 - La AS-II, con una longitud de 10,8 km y 13 accidentes.
 - La AS-376, con una longitud de 7,6 km y 10 accidentes.

Con el objeto de comprender mejor el trazado y la disposición de estas carreteras, que serán la base del análisis, se ha realizado un mapa en el software libre de información geográfica QGIS. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Figura 7 se ha resaltado tanto el trazado de estas vías como sus puntos kilométricos de inicio y fin dentro del concejo, obtenidos a través de la información geográfica de referencia que recoge el IGN en su apartado de redes de transporte.

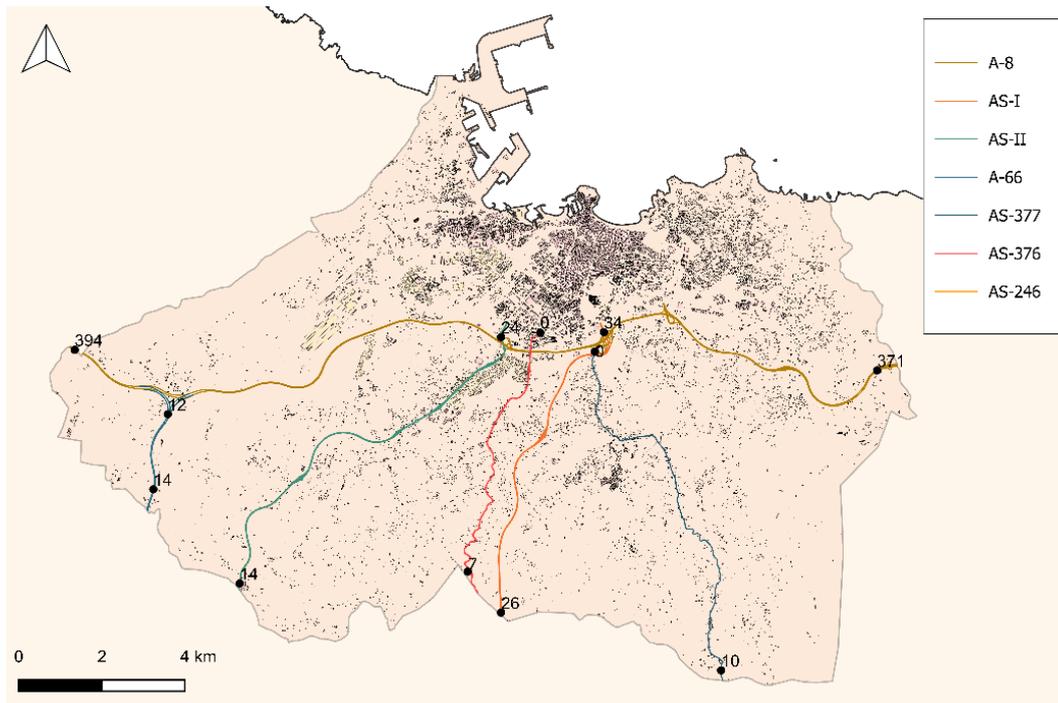


Figura 7. Carreteras de estudio en el concejo de Gijón. (Elaboración propia)

6. El Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (MITMA) establece en sus anuarios estadísticos de accidentes en las carreteras unos índices peligrosidad (IP) y mortalidad (IM). El índice de peligrosidad establece el número de accidentes con víctimas por cada 100 millones de vehículos-km recorridos, mientras que el índice de mortalidad se centra en el número de víctimas mortales por cada 100 millones de vehículos-km recorridos:

$$IP = \frac{N^{\circ} \text{ de accidentes con víctimas} \cdot 10^8}{IMD \cdot 365 \cdot \text{Longitud en km}}$$

$$IM = \frac{N^{\circ} \text{ de víctimas mortales} \cdot 10^8}{IMD \cdot 365 \cdot \text{Longitud en km}}$$

Se han aplicado estos índices a la citada selección de carreteras del concejo gijonés y, comparando los resultados obtenidos con la media en las carreteras asturianas para cada uno de los años de estudio, han resultado superar los índices de peligrosidad con creces las dos carreteras convencionales consideradas (recogidos en la Tabla 1 y en la Tabla 2). En promedio, el índice de peligrosidad obtenido en la AS-377 supera a la media asturiana en un 149,3% y, en la AS-376, en un 201,6%.

Tabla 1. Índices de peligrosidad en la convencional AS-377 (2015-2019). (Elaboración propia)

Año	IP promedio en Asturias	IP obtenido
2019	23,8	44,0
2018	22,7	87,9
2017	25,5	44,0

2016	24,6	65,9
2015	28,8	65,9

Tabla 2. Índice de peligrosidad en la convencional AS-376 (2015-2019). (Elaboración propia)

Año	IP promedio en Asturias	IP obtenido
2019	23,8	31,3
2018	22,7	0,0
2017	25,5	156,6
2016	24,6	31,3
2015	28,8	94,0

En las vías de estudio se han producido fallecidos en la A-66 en los años 2016 y 2019, encontrándonos con que la media asturiana se supera en un 591,3% en ambos casos. La Tabla 3 refleja los índices promedio en el Principado y los obtenidos:

Tabla 3. Índice de mortalidad en la autovía A-66 (2015-2019). (Elaboración propia)

Año	IM promedio en Asturias	IM obtenido
2019	0,2	1,38
2016	0,2	1,38

7. Se ha programado un código en Python (Figura 8) para agilizar la consulta de datos que permite conocer, para una carretera dada, el número de accidentes (ya sea en el total de la vía o en un rango de km elegido), así como los tipos de colisiones producidos y la severidad de los accidentes acontecidos. El funcionamiento es el que sigue:

- El Excel con los datos extraídos de los microdatos de la DGT en formato XLS(X) se guarda como CSV, lo que hace más fácil trabajar a nivel de código. También se utiliza el formato UTF-8 para facilitar la lectura desde Python.
- Se almacenan los valores de las carreteras y kilómetros, así como el tipo de colisión y la severidad.
- Se da al usuario la opción de filtrar un rango de kilómetros en la carretera elegida pero, en caso de que desee conocer los datos en la carretera en general, se inicializan los kilómetros desde y hasta arriba del todo. De esta manera se consigue que, si el usuario elige no filtrar por rango de puntos kilométricos, el código tenga los datos suficientes para filtrar por tipo de colisión o severidad.

- Respecto a los bloques de tipo y severidad de accidente añadidos, ambos son similares: si el usuario marca "sí" a la pregunta se crea un nuevo diccionario, se recorren los accidentes añadiendo a cada clave del diccionario los accidentes pertinentes (filtrando bien por el rango de km o por los inicializados) y, una vez los tenemos todos, recorremos el diccionario y vamos mostrando por pantalla para cada clave el número de elementos que tenemos guardados.

```

crashes.py - C:\Users\Marta\Universidad de Oviedo\ZENNAIDA AURORA HERNANDEZ GARRASTACHO - IUTA_2021\INFORME_FINAL_IUTA\PYTHON\crashes.py (3.10.0)
File Edit Format Run Options Window Help
# -*- coding: utf-8 -*-
import csv #Load the CSV parser
km_from = 0 #Initialize
km_to = 99999999 #Initialize
by_road = {} #Initialize dictionary which will contains each accident by road

with open('crashes_utf8_2.csv', newline='') as csvfile: #Open the CSV file
    spamreader = csv.reader(csvfile, delimiter=',', quotechar='"') #Parse the CSV content
    for row in spamreader: #For each row in CSV
        if row[2] != "KM": #Discard titles row
            if row[2] == "": #Check if the KM is defined
                km = 0 #Set km to 0 when not defined
            else:
                km = float(row[2].replace(",",".")) #Parse the km to decimal number
            by_road.setdefault(row[1], []).append([row[0], km, row[3], row[4]]) #Add to the dict for this road the crash id, the km, kind of collision and severity

roads = by_road.keys() #Initialize the roads

print("¡Bienvenido! Estas son las carreteras disponibles:") #Welcome and first menu
for idx, val in enumerate(roads): #Print each road with its option number
    print(f"{idx} - {val}")

val = input("Selecciona la carretera: ") #Expect a road option number

selected_road = list(roads)[int(val)] #Get the selected road crashes from dict

total = len(by_road[selected_road]) #Get the total (it is the number of accidentes in the list of this road)
print(f"En total hubo {total} accidente(s) en la carretera {selected_road}") #Print the result of total

val = input("¿Quieres concretar un rango de kilómetros? (s/n)") #Ask user for filter between KM

if val == "s": #When the user wants to filter
    km_from = input("Introduce el primer KM: ") #Ask the km from
    km_to = input("Introduce el último KM: ") #Ask the km to
    count = 0 #Initialize count
    for idx, cs in enumerate(by_road[selected_road]): #For each accident in this road
        if float(km_from) <= cs[1] <= float(km_to): #Check if it is between user's km from and to
            count = count + 1 #Increment the counter
    print(f"En la carretera {selected_road} entre los km {km_from} y {km_to} hubo {count} accidente(s)") #Print the answer to the filter

val = input("¿Quieres saber los tipos de colisiones que se produjeron? (s/n)")

if val == "s": #When the user wants to know collision kinds
    by_collision_kind = {}
    for idx, cs in enumerate(by_road[selected_road]): #For each accident in this road
        if float(km_from) <= cs[1] <= float(km_to): #Check if it is between user's km from and to
            by_collision_kind.setdefault(cs[3], []).append(cs) #Add to the dictionary
    for key, values in by_collision_kind.items(): #Iterate through keys and values
        print(f"Del tipo '{key}': {len(values)} accidente(s)") #Print each kind with its count

val = input("¿Quieres saber la gravedad del accidente? (s/n)")
if val == "s": #When the user wants to know collision kinds
    by_collision_severity = {}
    for idx, cs in enumerate(by_road[selected_road]): #For each accident in this road
        if float(km_from) <= cs[1] <= float(km_to): #Check if it is between user's km from and to
            by_collision_severity.setdefault(cs[3], []).append(cs) #Add to the hash
    for key, values in by_collision_severity.items(): #Iterate through keys and values
        print(f"De severidad '{key}': {len(values)} accidente(s)") #Print each kind with its count

print("¡Gracias por usarme, ¡hasta pronto!") #Goodbye!
Ln: 62 Col: 71
    
```

Figura 8. Código en Python. (Elaboración propia)

A continuación, la Figura 9 muestra un ejemplo de filtrado en el que nos interesaría conocer el número de accidentes que tuvieron lugar en la A-8 entre el PK 370,5 y el PK 375,5, además del tipo de colisiones que se produjeron y la gravedad de los accidentes.

```

C:\Windows\py.exe
¡Bienvenido! Estas son las carreteras disponibles:
0 - A-66
1 - AS-I
2 - A-8
3 - AS-376
4 - AS-377
5 - AS-II
Selecciona la carretera: 2
En total hubo 35 accidente(s) en la carretera A-8
¿Quieres concretar un rango de kilómetros? (s/n)
Introduce el primer KM: 370.5
Introduce el último KM: 375.5
En la carretera A-8 entre los km 370.5 y 375.5 hubo 9 accidente(s)
¿Quieres saber los tipos de colisiones que se produjeron? (s/n)
Del tipo 'Vuelco': 2 accidente(s)
Del tipo 'Salida de la vía': 7 accidente(s)
¿Quieres saber la gravedad del accidente? (s/n)
De severidad 'Leve': 8 accidente(s)
De severidad 'Grave': 1 accidente(s)
Gracias por usarme, ¡hasta pronto!
Pulsa cualquier tecla para finalizar el script.
    
```

Figura 9. Ejemplo de filtrado utilizando el código en Python. (Elaboración propia)

8. En un accidente por salida de vía los impactos predominantes son el lateral y el fronto-lateral. De acuerdo a un estudio realizado por la Fundación Línea Directa (2017) las lesiones producidas en el cuerpo humano varían en función del tipo de impacto producido por el vehículo y la zona afectada de este. Para el caso concreto de los impactos que resultan de nuestro interés, se han identificado las lesiones destacadas en rojo como las predominantes, consideradas como lesiones de gravedad en la Figura 10:

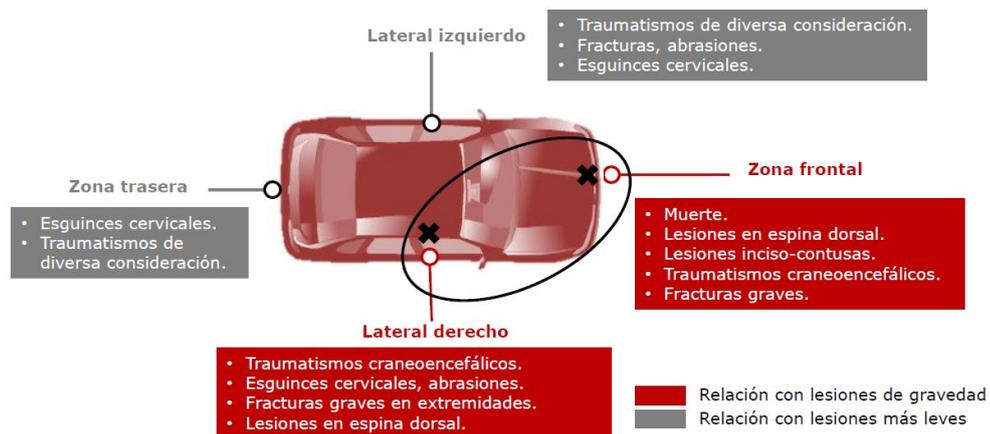


Figura 10. Accidentes de tráfico con lesiones según la localización de los daños materiales. (Fundación Línea Directa, 2017)

En este tipo de impactos las víctimas tienen una mayor probabilidad de que su cabeza atraviese la ventanilla lateral y golpee la barrera de seguridad u otro obstáculo con el que impacte durante el accidente. Es por ello que las colisiones laterales y fronto-laterales se asocian con un alto riesgo de lesiones graves (Shojaati, 2003).

Las lesiones en la cabeza y el cuello cobran una gran relevancia, tanto es así que, según el estudio realizado por la Fundación Línea Directa (2017), el 75% de los fallecidos y el 26% de los heridos graves presentaban lesiones en la cabeza, mientras que, en un 38% de los heridos leves, las lesiones se produjeron en el cuello. La Figura 11 recoge la localización de las lesiones más relevantes:

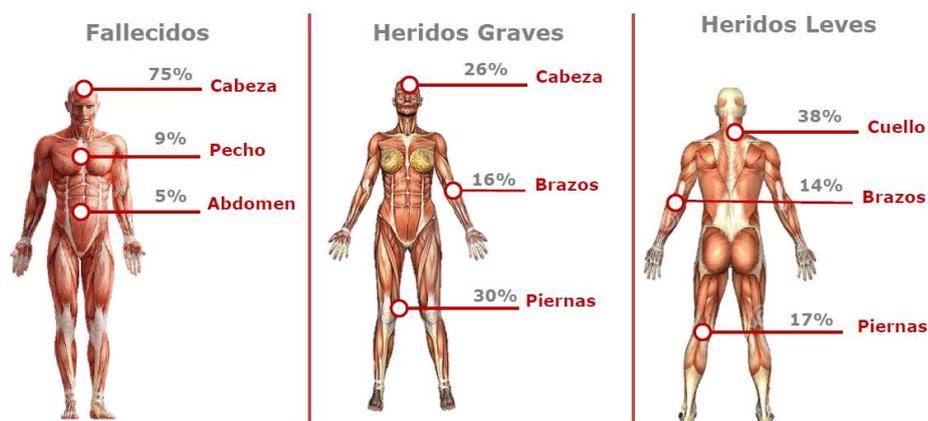


Figura 11. Lesiones mortales y de mayor gravedad. (Fundación Línea Directa, 2017)

Las carreteras de la villa gijonesa concentraron un total de 3 fallecidos, 55 heridos graves y 652 heridos leves para el periodo de tiempo establecido (2015-2019) y la selección de carreteras adoptada. La cabeza y el cuello son las regiones corporales más afectadas, como muestran las publicaciones consultadas y, concretamente, el estudio de la Fundación Línea Directa (2017)

anteriormente expuesto. En base a esta publicación se puede establecer, de manera estimativa, que 2 de los 3 fallecidos habrían sufrido un golpe en la cabeza, así como 14 de los heridos graves, y que 247 de los heridos leves presentarían dolencias en el cuello.

9. Una de las principales medidas que se deben adoptar para proteger los márgenes laterales de las carreteras es la instalación de sistemas de contención de vehículos. Estos sistemas de contención deben reducir considerablemente la gravedad de los accidentes sufridos por la salida incontrolada de un vehículo de la calzada al absorber adecuadamente la energía producida durante el impacto, si bien esto únicamente es posible si dispone del marcado CE. Para obtener este marcado los sistemas de contención tienen que evaluarse mediante la superación de ensayos de choque en laboratorios de ensayo homologados, para el caso concreto de las barreras de seguridad la normativa de aplicación la norma europea UNE-EN 1317 en su Parte 1 (AENOR, 2011a) y Parte 2 (AENOR, 2011b). Estas normas europeas establecen los métodos de evaluación de las características de los sistemas de contención de vehículos frente a un impacto del vehículo (pruebas de choque a escala real), así como sus clases técnicas y criterios de aplicación. Los criterios de eficacia que identifican y definen el comportamiento de cualquier sistema de contención de vehículos son (Hernández et al., 2018):
 - Nivel de contención: capacidad de retención del sistema de contención del vehículo en función de la energía cinética implicada en el impacto, distinguiendo las clases de contención normal (asociada a niveles de contención N1 y N2), alta (niveles de contención H1, H2 y H3) y muy alta (niveles de contención H4a y H4b). El nivel de contención será mayor si es capaz de absorber la energía cinética, impidiendo que cualquier vehículo a cualquier velocidad sobrepase el sistema.
 - Nivel de severidad del impacto: criterios que miden el riesgo de lesión de los ocupantes, basados principalmente en el parámetro ASI (índice de severidad de la aceleración). Se establecen los niveles de severidad de impacto A, B y C según $ASI \leq 1,0$, $1,0 < ASI \leq 1,4$ y $1,4 < ASI \leq 1,9$, respectivamente.
 - Deformación: caracterizada por la deflexión dinámica, la anchura de trabajo y la intrusión del vehículo. Su valor debe ser tal que permita la absorción de la energía implicada en el vehículo, reduciendo su gravedad, pero evitando que el vehículo se salga de la carretera o choque contra un obstáculo.

La adecuada selección del sistema de contención idóneo pasa por definir la gravedad de las lesiones en los ocupantes del vehículo, definido a través del parámetro ASI (Acceleration Severity Index) o índice de severidad de la aceleración, dependiente del AIS (Abbreviated Injury Scale), que es una medida de trauma por lesión sufrida durante un choque (Augenstein et al., 2003). La Figura 12 ilustra los criterios para evaluar el riesgo de lesiones de los ocupantes:

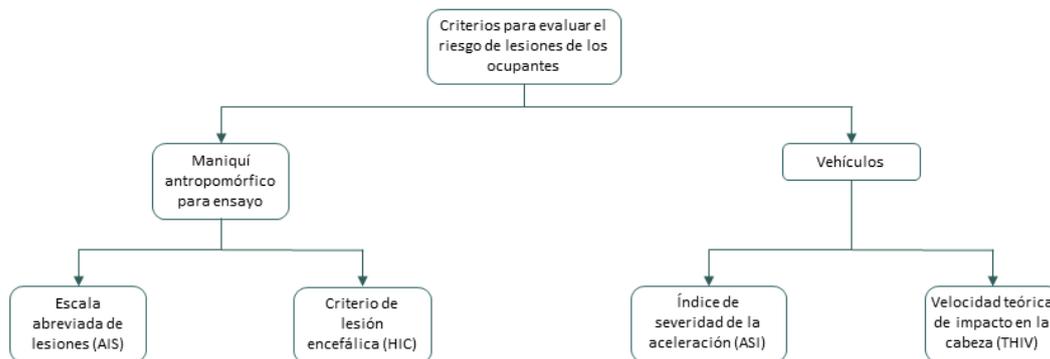


Figura 12. Criterios de evaluación del riesgo de lesiones en los ocupantes para pruebas de choque de vehículos a motor. (Roque & Cardoso, 2013)

El ASI se determina en base a las aceleraciones y desaceleraciones en el centro de gravedad del vehículo, mientras que el HIC describe la gravedad de la lesión en base a las aceleraciones actuantes en los ocupantes del vehículo, siempre que exista un golpe en la cabeza (Shojaati, 2003). En lo que al AIS respecta, este índice distribuye las lesiones anatómicas y las codifica teniendo en cuenta la lesión sufrida en 6 categorías (Calil et al., 2009).

Es posible relacionar entre el riesgo de lesiones y el índice de severidad de la aceleración (ASI), que es una medida de trauma por lesión sufrida durante un choque. La concordancia existente entre el ASI y el HIC es exponencial, ya que a partir de un ASI de 1,2 el HIC aumenta muy rápidamente. Es exponencial también el aumento de la severidad de la lesión con las categorías del AIS (Shojaati, 2003).

Para relacionar el ASI y el AIS el autor Shojaati realizó un análisis en el que definió la relación entre ambos parámetros vinculados al HIC (Head Injury Criteria), índice dependiente del riesgo de lesiones en la cabeza. La Figura 13 muestra la forma de obtener el ASI correlacionando estas tres variables:

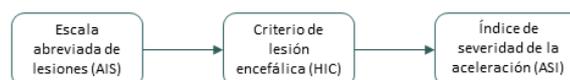


Figura 13. Diagrama de flujo para la obtención del ASI. (Elaboración propia)

Debe tenerse en cuenta que el ocupante del vehículo no está unido rígidamente a la estructura del mismo, lo que provoca que las diferentes aceleraciones y desaceleraciones que actúan sobre el centro de gravedad del vehículo sean distintas a las que actúan sobre los ocupantes del mismo (Shojaati, 2003).

Es posible establecer un paralelismo entre el riesgo de lesiones y el índice de severidad de la aceleración (ASI), que es una medida de trauma por lesión sufrida durante un choque (Shojaati, 2003). Al ser la medición del HIC relativamente cara, resulta ventajoso predecir el HIC con la ayuda del ASI. Sobre la base de los resultados proporcionados el autor establece, de forma aproximada, la correlación entre el ASI y el HIC que muestra la Figura 14:

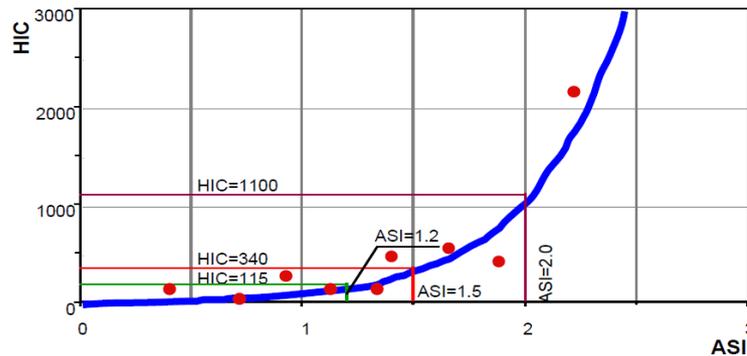


Figura 14. Correlación entre el ASI y el HIC. (Shojaati, 2003)

Sobre un número considerable de experimentos con víctimas mortales el autor (Shojaati, 2003) establece una correlación entre el HIC y el AIS (Figura 15) para el caso de los accidentes con colisiones frontales:

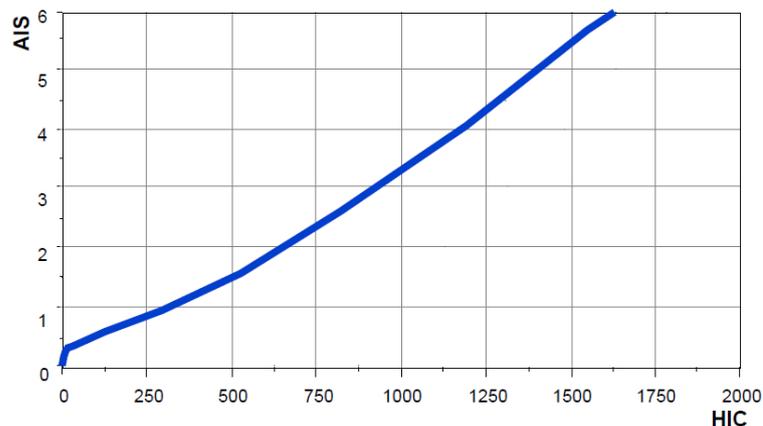


Figura 15. Correlación entre el HIC y el AIS. (Shojaati, 2003)

En base a la gráfica de la Figura 15 se aprecia cómo en el caso de los accidentes frontales un HIC de 200 se correlaciona con un AIS inferior a la unidad, que a su vez se corresponde con lesiones insignificantes. Sin embargo, para los accidentes laterales es diferente: el HIC no se desarrolló para evaluar el riesgo de lesiones de las pruebas de impacto lateral, ya que la cabeza no es tan flexible en la dirección transversal como en la dirección longitudinal. Por lo tanto, el valor límite del HIC para un impacto lateral debe fijarse en 200, siendo el valor umbral del HIC superior a 1000 a partir del cual se esperan elevadas lesiones de ocupantes (Shojaati, 2003).

Se puede demostrar que, a partir de un HIC de 200, relacionado con un ASI de 1,2, la cabeza del dummy penetra por la ventanilla lateral. Por tanto, a partir de un HIC de 200 existe un mayor riesgo de lesiones para el ocupante del vehículo. Significa que mediante pruebas de impacto lateral (según EN 1317), el valor límite de HIC=1000 no es apropiado y debe establecerse nuevamente (Shojaati, 2003).

Para evaluar los valores límite representativos del HIC para choques transversales, se necesita más investigación (Shojaati, 2003). Este hecho concuerda con lo contrastado al realizar una revisión exhaustiva de la literatura, ya que se pudo apreciar que el número de estudios es muy limitado.

Partiendo de la definición de la gravedad de la lesión en los accidentados se han podido definir el HIC y el ASI en los impactos producidos, verificando así si los sistemas de contención instalados en

las carreteras analizadas cumplen o no con los límites establecidos para que estos no supongan un peligro en la vida de los ocupantes de los vehículos accidentados.

10. En los accidentes de tráfico la cabeza y el cuello congregan lesiones con un AIS igual o superior a 4 en la mayoría de estudios (Calil et al., 2009). Teniendo en cuenta la gravedad del accidente y el porcentaje que suponen las lesiones en la cabeza, se define estimativamente que, para el caso de accidentes graves, tendríamos un valor AIS=4 y, para los leves, un valor AIS=1.

Con estos valores del AIS, podemos obtener el correspondiente HIC (Shojaati, 2003) y con él, el ASI que tendría la barrera instalada. En el caso de los heridos graves, en los que el AIS=4, obtendríamos un HIC=1150 (Figura 15), lo que nos proporcionaría un ASI=2 (Figura 14). Respecto a los heridos leves, con el AIS=1 consideraríamos el valor del HIC=310 (Figura 15), y con esto, un ASI=1,40 (Figura 14).

El resultado obtenido indica que la barrera instalada tendría un ASI muy superior a los que marca la norma, lo que demuestra la inseguridad en estos tramos de carretera donde se produjeron los accidentes. Es relevante también ver cómo, en los accidentes graves y leves, el HIC supera los 200, límite definido a partir del cual las lesiones resultan ser bastante graves. Por ende, las barreras instaladas, al menos en las zonas donde se han producido los accidentes, no son válidas, especialmente preocupantes son los accidentes producidos en las carreteras convencionales AS-376 y AS-377, donde los índices de peligrosidad (IP) del MITMA han sido muy elevados, tal y como se puede apreciar en la Tabla 1 y en la Tabla 2.

Algunos de los puntos donde se han producido los accidentes más graves, se detallan a continuación, realizando un análisis de los mismos:

- En el caso de la Figura 16 en la carretera AS-376, PK 4,2 se produjo la caída por el desnivel que se encuentra a la derecha de la vía, lo que trajo consigo heridos graves. Esto plantea un serio análisis de la zona ya que ese lateral se encuentra desprotegido de sistema de contención, algo que sería totalmente necesario en este caso.



Figura 16. Ejemplo de accidente en la AS-376 en el 2017. (Google Maps)

- En la Figura 17 el accidente producido en la carretera convencional AS-377, PK 6,8, ha sido del tipo vuelco después una caída por el desnivel en el lateral izquierdo de la vía. En este caso se puede apreciar la existencia de barrera de seguridad, pero la gravedad del accidente indica que la misma resulta insuficiente, es decir, la barrera instalada no

posee un nivel de contención adecuado para contener y redireccionar nuevamente a la vía el vehículo que impacta.



Figura 17. Ejemplo de accidente en la AS-377 en 2015. (Google Maps)

- La Figura 18 muestra el PK 12,4 donde se produjo uno de los accidentes en la autovía A-66, en este caso con víctimas mortales. El accidente producido fue un choque contra la barrera, lo que indica que la barrera instalada no cumple con el requerimiento de nivel de contención para los vehículos tipo turismos, la misma no contuvo ni recondujo adecuadamente al vehículo en el momento del impacto. Además, se conoce que el vehículo circulaba a la velocidad adecuada, por lo que el sistema instalado debía contener y redireccionar ese vehículo.



Figura 18. Ejemplo de accidente en la A-66 en 2016. (Google Maps)

Cabe destacar que las barreras de seguridad que aparecen en las imágenes de la Figura 17 y la Figura 18, corresponden a las barreras incluidas en el catálogo de productos en la Orden Circular OC 321/95TyP (actualmente descatalogada), definidas como BMSNA4 (poste cada 4 metros) y BMSNA2 (poste cada 2 metros). Estas barreras no han superado ensayos de choque conforme la UNE-EN 1317-1/2 por lo que se desconoce su nivel de contención e índice de severidad real. Teniendo en cuenta los accidentes producidos, aunque los mismos sean leves, estas barreras

deberían sustituirse de inmediato de las carreteras, principalmente en aquellas con cierto grado de peligrosidad, así como definir las mismas en correspondencia con la gravedad de los accidentes producidos y las lesiones en los ocupantes de los vehículos impactados, con ello se lograría una reducción muy importante en el número de accidentes y su gravedad.

- La Orden Circular 35/2014 (Ministerio de Fomento, 2014) recomienda el nivel de contención para los sistemas de contención de vehículos a seleccionar en función del riesgo del accidente. En base a esto se han elaborado diagramas de flujo a modo de metodología de selección multicriterio en función de la lesividad del accidente, distinguiendo entre riesgo de accidente muy grave (Figura 19), grave (Figura 20) y normal (Figura 21):

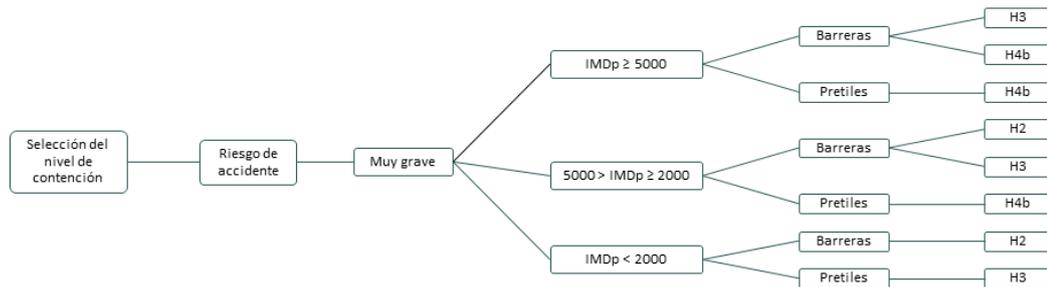


Figura 19. Selección del nivel de contención para riesgo de accidente muy grave. (Elaboración propia)

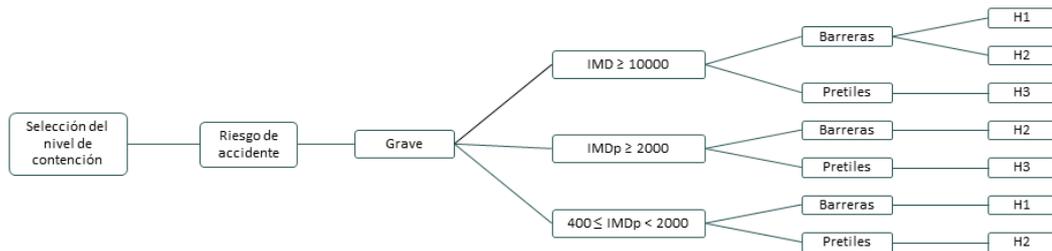


Figura 20. Selección del nivel de contención para riesgo de accidente grave. (Elaboración propia)

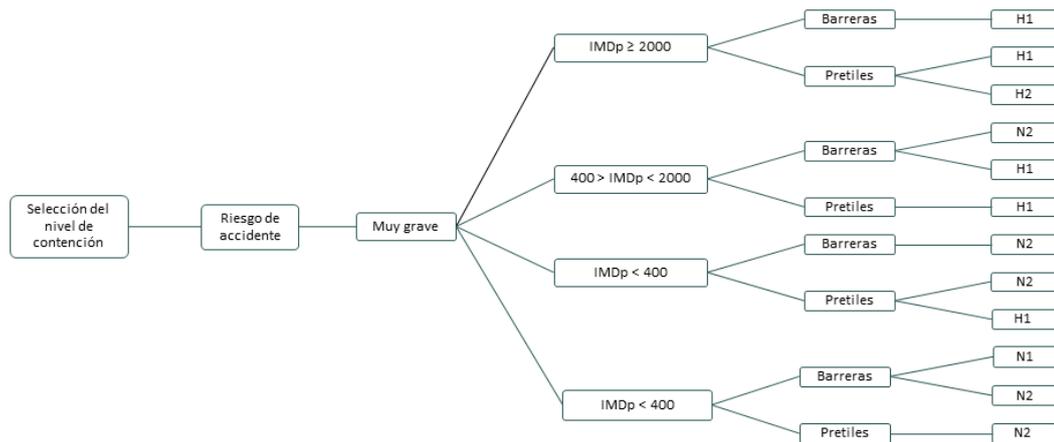


Figura 21. Selección del nivel de contención para riesgo de accidente normal. (Elaboración propia)

- La Orden Circular 35/2014 (Ministerio de Fomento, 2014) establece la distancia del borde exterior de la marca vial a un obstáculo o desnivel, por debajo de la cual se considera que existe riesgo de accidente, según la gravedad del mismo. Tomando esto como punto de partida, se ha definido una metodología de selección multicriterio teniendo en cuenta las características de la vía en función de si es de calzada única (Figura 22) o de calzadas separadas (Figura 23):

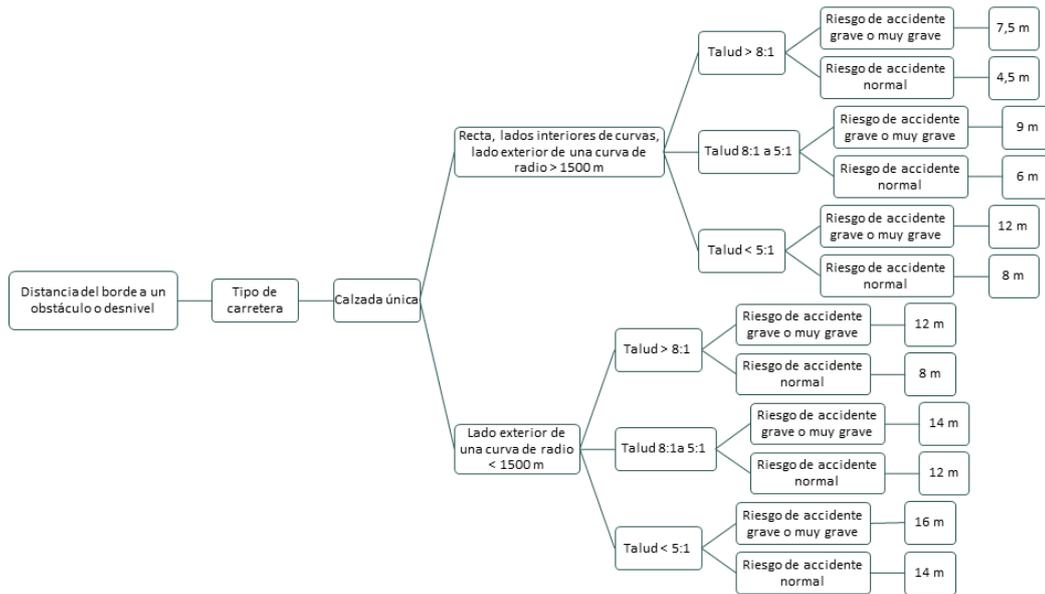


Figura 22. Distancia del borde exterior de la marca vial a un obstáculo o desnivel para el caso de calzada única. (Elaboración propia)

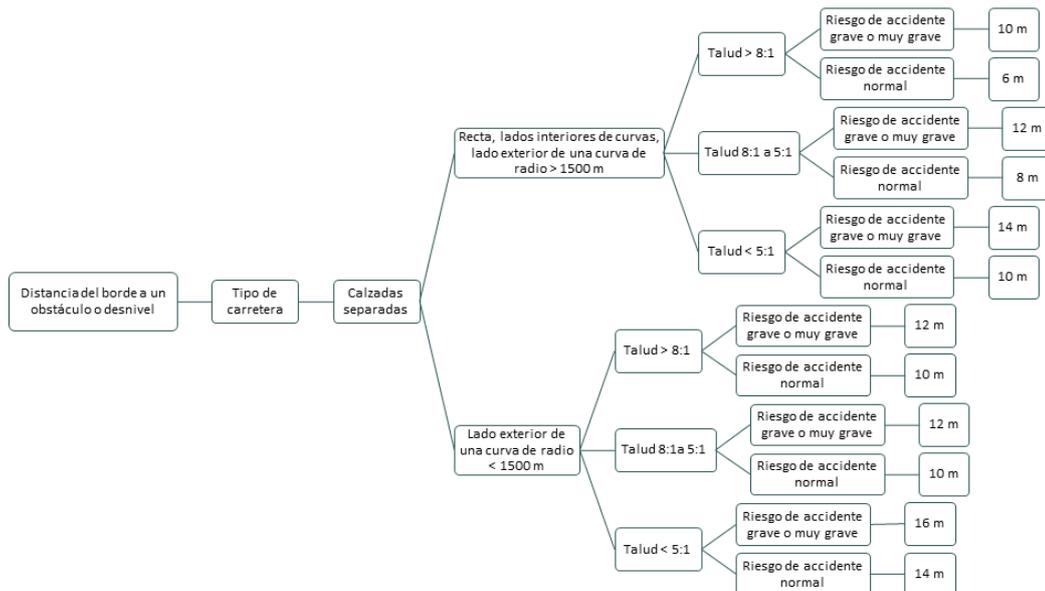


Figura 23. Distancia del borde exterior de la marca vial a un obstáculo o desnivel para el caso de calzadas separadas. (Elaboración propia)

13. En base al estudio realizado se ha elaborado el diagrama de flujo que recoge la Figura 24 para la selección del sistema de contención debido a los accidentes acontecidos en la zona de estudio:

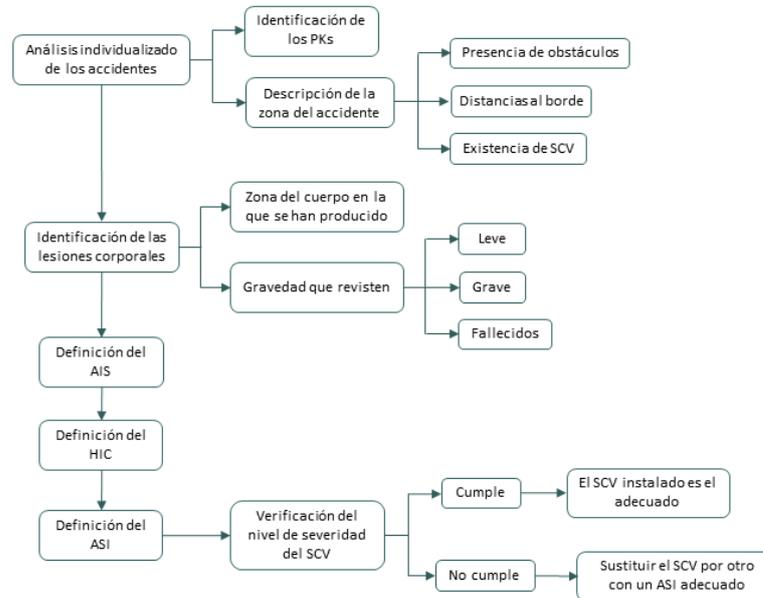


Figura 24. Diagrama para la selección del sistema de contención en base a los datos de accidentes disponibles. (Elaboración propia)

3.5 Trabajos o necesidades futuras

Dado que el proyecto se había planteado con una duración de 8 meses pero en la práctica su ejecución fue mucho más breve, ha habido objetivos o parte de estos que no se han podido completar. Las tareas no finalizadas o parcialmente finalizadas, junto con otras necesidades futuras que surgen a partir de los resultados obtenidos abren varios campos de investigación:

- Estudio de los accidentes con vehículos eléctricos involucrados.
- Análisis de la distancia libre por detrás de la barrera o distancia a los obstáculos próximos a esta en los puntos donde se produjeron accidentes, para definir de forma concreta la anchura de trabajo de la barrera de seguridad a disponer o verificación de la existente.
- Definición de una metodología más rigurosa apoyada en los datos de las lesiones producidas a nivel de Asturias o incluso a nivel de Gijón., para esto necesitaremos una colaboración más estrecha con el Hospital Universitario Central de Asturias (HUCA), en lo relativo a la identificación detallada de las lesiones en los ocupantes de los accidentados producidos.
- Elaboración de un modelo predictivo de accidentes de tráfico que ayudaría a estimar la probabilidad de que ocurriesen estos accidentes en el concejo de Gijón y, además, conferiría un incremento de la seguridad. Con un modelo de estas características podrían reducirse el número de accidentes y/o la gravedad de los mismos.

3.6 Divulgación de los resultados

Para la divulgación del proyecto y los resultados derivados del mismo, el equipo investigador tenía previsto llevar a cabo diferentes acciones, pero, debido al poco tiempo disponible para desarrollar el

proyecto, estas acciones aún no han podido llevarse a cabo, esto no implica que en cualquier publicación derivada de los resultados obtenidos de este proyecto, así como la participación en Jornadas y Congresos en los que se expongan estos resultados, se haga mención explícita a la ayuda concedida por el Instituto Universitario Tecnológico de Asturias. |

4. Memoria económica

4.1 Gastos:

CONCEPTO	GASTOS
Personal	2.685 €
Fungibles	
Amortización	
TOTAL GASTOS	

4.2 Ingresos:

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Personal	TOTAL INGRESOS

5. Bibliografía

AENOR. (2011a). UNE EN 1317-1 “Sistemas de contención para carreteras. Parte 1: Terminología y criterios generales para los métodos de ensayo”.pdf.

AENOR. (2011b). UNE EN 1317-2 “Sistemas de contención para carreteras. Parte 2: Clases de comportamiento, criterios de aceptación para el ensayo de impacto y métodos de ensayo para barreras de seguridad incluyendo pretiles”.pdf.

Augenstein, J., Perdeck, E., Stratton, J., Digges, K., & Bahouth, G. (2003). Characteristics of crashes that increase the risk of serious injuries. Annual Proceedings / Association for the Advancement of Automotive Medicine. Association for the Advancement of Automotive Medicine, 47, 561–576.

Calil, A. M., Sallum, E. A., Domingues, C. de A., & Nogueira, L. de S. (2009). Identificación de lesiones en víctimas de accidentes de tránsito: revisión sistemática de la literatura. Revista Latino-Americana de Enfermagem, 17(1), 120–125. <https://doi.org/10.1590/s0104-11692009000100019>

Fundación Línea Directa. (2017). El impacto de los lesionados por accidente de tráfico en la seguridad vial. Análisis y evolución de una década (2006-2015).

Hernández, Z. A., Álvarez, F., Alonso, M., & Sañudo, L. (2018). Analysis of the test criteria for vehicle containment systems in the Standard en 1317 regarding the number of vehicles in use. Transportation Research Procedia, 33, 315–322. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.10.108>

Lorenzo AE, H., Gómez-Guillamón F, G., & Anduaga A, M. (2013). Biomecánica de lesiones: utilidad en la valoración del daño corporal. *Revista Portuguesa Do Dano Corporal*, 24, 41–55. https://doi.org/10.14195/1647-8630_24_3

Ministerio de Fomento, D. G. de C. (2014). Orden Circular 35/2014 Sobre Criterios De Aplicación De Sistemas De Contención De Vehículos. 50. <https://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/11AFD57B-6604-4E4D-8F1E-D4535CB18249/124764/OC352014.pdf>

Roque, C., & Cardoso, J. L. (2013). Observations on the relationship between european standards for safety barrier impact severity and the degree of injury sustained. *IATSS Research*, 37(1), 21–29. <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2013.04.002>

Shojaati, M. (2003). Correlation between injury risk and impact severity index.