



*Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos,  
Canales y Puertos.*  
**UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



# **SISTEMA DE INFORMACIÓN A USUARIOS EN CARRETERA PARA MEJORAR EL ACCESO AL PARQUE DE LA NATURAELZA DE CABÁRCENO**

Trabajo realizado por:

***SANTIAGO GUTIÉRREZ MARTÍNEZ***

Dirigido:

***ANGEL IBEAS PORTILLA***

***BORJA ALONSO OREÑA***

Titulación:

**Grado en Ingeniería Civil**

Santander, Septiembre de 2017

**TRABAJO FINAL DE GRADO**



## Índice

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO .....                            | 10 |
| Introducción .....                                                       | 10 |
| Situación general .....                                                  | 10 |
| Problemáticas .....                                                      | 12 |
| Objetivos y composición del estudio .....                                | 18 |
| Objetivos .....                                                          | 18 |
| 2. DETECCIÓN DE INCIDENCIAS - GESTIÓN DE TRÁFICO .....                   | 19 |
| Detección de incidencias .....                                           | 19 |
| Patrones de incidencias .....                                            | 19 |
| Tipos de algoritmos de detección de incidencias (AID) .....              | 20 |
| Gestión activa de tráfico .....                                          | 23 |
| Reenrutamiento o Dynamic Rerouting .....                                 | 25 |
| Diseño de un sistema de reenrutamiento .....                             | 26 |
| Sistemas de reenrutamiento en uso en la actualidad .....                 | 28 |
| 3. METODOLOGÍA GENERAL – MICROSIMULACIÓN .....                           | 39 |
| Metodología general .....                                                | 39 |
| Sistema de gestión de incidencias propuesto .....                        | 41 |
| Microsimulación .....                                                    | 43 |
| 4. MODELIZACIÓN EN AIMSUN .....                                          | 46 |
| Red modelizada. Oferta de transporte. ....                               | 46 |
| Modelización de la demanda de transporte. Calibración macroscópica. .... | 49 |
| 5. PROCESO DE DISEÑO DE LAS ESTRATEGIAS DE REENRUTAMIENTO .....          | 53 |
| Situación original .....                                                 | 54 |
| Cola Media .....                                                         | 54 |
| Cola Máxima .....                                                        | 57 |
| Densidad simulada .....                                                  | 60 |
| Tiempo de Demora .....                                                   | 63 |
| Estrategia “Desvíos Alternos” .....                                      | 67 |
| Rutas alternativas (Subcaminos) .....                                    | 67 |
| Detectores .....                                                         | 72 |
| Políticas de gestión del tráfico .....                                   | 73 |



|                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------|-----|
| Resultados .....                                                     | 78  |
| 6. ANÁLISIS COMPARATIVO SITUACIÓN INICIAL - ESTRATEGIA APLICADA..... | 92  |
| Sección 12291 (Acceso Obregón).....                                  | 93  |
| Sección 11808 (CA-142 altura Acceso Obregón).....                    | 97  |
| Sección 9716 (N-408) .....                                           | 101 |
| Sección 12727 (Acceso Cabárceno).....                                | 104 |
| 7. CONCLUSIONES .....                                                | 109 |
| BIBLIOGRAFIA.....                                                    | 112 |



## Índice de figuras

|                                                                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 1: CAUSAS DE LA CONGESTIÓN EN ESTADOS UNIDOS. CONGESTIÓN RECURRENTE Y NO RECURRENTE. (FUENTE: ACTIVE TRAFFIC MANAGEMENT: THE NEXT STEP IN CONGESTION MANAGEMENT). ..... | 12 |
| FIGURA 2: COLA DE VEHÍCULOS PRODUCIDA EN LOS ACCESOS A CABÁRCENO EN LA CARRETERA CA-142. (FUENTE: EL DIARIO MONTAÑES). .....                                                   | 13 |
| FIGURA 3: IMAGEN DE UNA DE LAS COLAS QUE SE FORMAN PARA ENTRAR AL PARQUE DE LA NATURALEZA DE CABÁRCENO. (FUENTE: ELDIARIOMONTANES.ES) .....                                    | 14 |
| FIGURA 4: ACCESOS EN LA LOCALIDAD DE OBREGÓN AL PARQUE DE LA NATURALEZA DE CABÁRCENO. (FUENTE: ELDIARIOMONTANES.ES).....                                                       | 15 |
| FIGURA 5: AFORO COMPLETO EN EL PARQUE DE LA NATURALEZA DE CABÁRCENO. (FUENTE: ELDIARIOMONTANES.ES) .....                                                                       | 17 |
| FIGURA 6: EFECTIVOS DE LA POLICÍA ACTUANDO ANTE UNA SITUACIÓN DE COLAPSO EN LOS ACCESOS DE OBREGÓN. (FUENTE: ELDIARIOMONTANES.ES).....                                         | 25 |
| FIGURA 7: PANEL VMS EN ALEMANIA CON INFORMACIÓN DE REENRUTAMIENTO. (FUENTE: ACTIVE TRAFFIC MANAGEMENT: THE NEXT STEP IN CONGESTION MANAGEMENT). .....                          | 29 |
| FIGURA 8: PANEL VMS EN ALEMANIA CON INFORMACIÓN DE REENRUTAMIENTO Y CONGESTIÓN. (FUENTE: ACTIVE TRAFFIC MANAGEMENT: THE NEXT STEP IN CONGESTION MANAGEMENT).....               | 30 |
| FIGURA 9: EJEMPLO ITD EN EL DISTRITO 2, RUTA ALTERNATIVA POR EL ESTADO VECINO. (FUENTE: BEST PRACTICES FOR EMERGENCY REROUTING). .....                                         | 32 |
| FIGURA 10: ESPECIFICACIÓN NJDOT DE LA JURISDICCIÓN DE SEÑALIZACIÓN DE TRÁFICO EN UNA RUTA ALTERNATIVA. (FUENTE: BEST PRACTICES FOR EMERGENCY REROUTING). .....                 | 35 |
| FIGURA 11: DIAGRAMA DE FLUJO REPRESENTATIVO DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE INCIDENCIAS PROPUESTO. ....                                                                              | 41 |
| FIGURA 12: ZONA GEOGRÁFICA ESTUDIADA INCLUYENDO LOS VIALES OBJETO DEL ESTUDIO (FUENTE: OPENSTREETMAPS). ....                                                                   | 46 |
| FIGURA 13: ACCESO POR EL PUEBLO DE OBREGÓN AL PARQUE DE LA NATURALEZA DE CABÁRCENO (FUENTE: OPENSTREETMAPS).....                                                               | 47 |
| FIGURA 14: ACCESO POR EL PUEBLO DE CABÁRCENO AL PARQUE DE LA NATURALEZA DE CABÁRCENO (FUENTE: OPENSTREETMAPS).....                                                             | 47 |
| FIGURA 15: RED DE ESTUDIO REPRESENTADA EN AIMSUN.....                                                                                                                          | 51 |
| FIGURA 16: DEMANDA DE TRÁFICO EN EL ACCESO DE OBREGÓN A LAS 12H03. ....                                                                                                        | 52 |
| FIGURA 17: DEMANDA DE TRÁFICO EN EL ACCESO DE CABÁRCENO A LAS 12H03. ....                                                                                                      | 52 |
| FIGURA 18: COLA MEDIA A LO LARGO DE TODA LA RED DE ESTUDIO ENTRE LAS 10H00 Y LAS 14H00. ....                                                                                   | 56 |
| FIGURA 19: COLA MEDIA, ACCESO OBREGÓN. ....                                                                                                                                    | 56 |
| FIGURA 20: COLA MEDIA, ACCESO CABÁRCENO. ....                                                                                                                                  | 57 |
| FIGURA 21: COLA MÁXIMA A LO LARGO DE TODA LA RED ENTRE LAS 10H00 Y LAS 14H00. ....                                                                                             | 58 |
| FIGURA 22: COLA MÁXIMA, ACCESO OBREGÓN. ....                                                                                                                                   | 59 |
| FIGURA 23: COLA MÁXIMA, ACCESO CABÁRCENO.....                                                                                                                                  | 60 |
| FIGURA 24: DENSIDAD SIMULADA A LO LARGO DE TODA LA RED DE ESTUDIO ENTRE LAS 10H00 Y LAS 14H00. ....                                                                            | 61 |
| FIGURA 25: DENSIDAD SIMULADA, ACCESO OBREGÓN. ....                                                                                                                             | 62 |
| FIGURA 26: DENSIDAD SIMULADA, ACCESO DE CABÁRCENO. ....                                                                                                                        | 63 |
| FIGURA 27: TIEMPO DE DEMORA A LO LARGO DE TODA LA RED DE ESTUDIO ENTRE LAS 10H00 Y LAS 14H00.....                                                                              | 64 |
| FIGURA 28: TIEMPO DE DEMORA, ACCESO DE OBREGÓN. ....                                                                                                                           | 65 |
| FIGURA 29: TIEMPO DE DEMORA, INTERSECCIÓN CA-142 CON S-30. ....                                                                                                                | 66 |
| FIGURA 30: TIEMPO DE DEMORA, ACCESO CABÁRCENO. ....                                                                                                                            | 66 |
| FIGURA 31: RUTA ALTERNATIVA BILBAO – ACCESO CABÁRCENO. ....                                                                                                                    | 68 |
| FIGURA 32: RUTA ALTERNATIVA S-10 – ACCESO CABÁRCENO. ....                                                                                                                      | 69 |
| FIGURA 33: RUTA ALTERNATIVA TORRELAVEGA – ACCESO CABÁRCENO. ....                                                                                                               | 70 |
| FIGURA 34: RUTA ALTERNATIVA CABÁRCENO – ACCESO OBREGÓN. ....                                                                                                                   | 71 |



|                                                                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| FIGURA 35: DETECTORES EN EL ACCESO DE OBREGÓN. ....                                                         | 72  |
| FIGURA 36: DETECTORES EN EL ACCESO DE CABÁRCENO. ....                                                       | 72  |
| FIGURA 37: DETECTORES EN LA CARRETERA CA-405. ....                                                          | 73  |
| FIGURA 38: DETECTOR EN LA CARRETERA CA-408. ....                                                            | 73  |
| FIGURA 39: PANEL VMS EN LA AUTOVÍA A-67 CON MENSAJE INFORMATIVO DE LA POLÍTICA DE GESTIÓN ESTABLECIDA. .... | 74  |
| FIGURA 40: PANEL VMS EN LA AUTOVÍA S-10 CON MENSAJE INFORMATIVO DE LA POLÍTICA DE GESTIÓN ESTABLECIDA. .... | 75  |
| FIGURA 41: PANEL VMS EN LA AUTOVÍA A-67 CON MENSAJE INFORMATIVO DE LA POLÍTICA DE GESTIÓN ESTABLECIDA. .... | 75  |
| FIGURA 42: PANEL VMS EN LA AUTOVÍA A-8 CON MENSAJE INFORMATIVO DE LA POLÍTICA DE GESTIÓN ESTABLECIDA. ....  | 77  |
| FIGURA 43: COLA MEDIA A LO LARGO DE TODA LA RED DE ESTUDIO ENTRE LAS 10H00 Y LAS 14H00. ....                | 79  |
| FIGURA 44: COLA MEDIA, ACCESO OBREGÓN. ....                                                                 | 80  |
| FIGURA 45: COLA MEDIA, ACCESO CABÁRCENO. ....                                                               | 81  |
| FIGURA 46: COLA MÁXIMA A LO LARGO DE TODA LA RED DE ESTUDIO ENTRE LAS 10H00 Y LAS 14H00. ....               | 82  |
| FIGURA 47: COLA MÁXIMA, ACCESO OBREGÓN. ....                                                                | 83  |
| FIGURA 48: COLA MÁXIMA, ACCESO CABÁRCENO. ....                                                              | 84  |
| FIGURA 49: DENSIDAD SIMULADA A LO LARGO DE TODA LA RED DE ESTUDIO ENTRE LAS 10H00 Y LAS 14H00. ....         | 85  |
| FIGURA 50: DENSIDAD SIMULADA, ACCESO OBREGÓN. ....                                                          | 86  |
| FIGURA 51: DENSIDAD SIMULADA, ACCESO CABÁRCENO. ....                                                        | 87  |
| FIGURA 52: TIEMPO DE DEMORA A LO LARGO DE TODA LA RED DE ESTUDIO ENTRE LAS 10H00 Y LAS 14H00. ....          | 88  |
| FIGURA 53: TIEMPO DE DEMORA, ACCESO DE OBREGÓN. ....                                                        | 90  |
| FIGURA 54: TIEMPO DE DEMORA, CA-142. ....                                                                   | 91  |
| FIGURA 55: TIEMPO DE DEMORA, ACCESO CABÁRCENO. ....                                                         | 92  |
| FIGURA 56: DIAGRAMA DE COLA MEDIA DURANTE LA SIMULACIÓN EN LA SECCIÓN 12291, SITUACIÓN INICIAL. ....        | 93  |
| FIGURA 57: DIAGRAMA DE COLA MEDIA DURANTE LA SIMULACIÓN EN LA SECCIÓN 12291, ESTRATEGIA. ....               | 93  |
| FIGURA 58: DIAGRAMA DE DENSIDAD DURANTE LA SIMULACIÓN EN LA SECCIÓN 12291, SITUACIÓN INICIAL. ....          | 94  |
| FIGURA 59: DIAGRAMA DE DENSIDAD DURANTE LA SIMULACIÓN EN LA SECCIÓN 12291, ESTRATEGIA. ....                 | 95  |
| FIGURA 60: DIAGRAMA DE TIEMPO DE DEMORA DURANTE LA SIMULACIÓN EN LA SECCIÓN 12291, SITUACIÓN INICIAL. ....  | 95  |
| FIGURA 61: DIAGRAMA DE TIEMPO DE DEMORA DURANTE LA SIMULACIÓN EN LA SECCIÓN 12291, ESTRATEGIA. ....         | 96  |
| FIGURA 62: DIAGRAMA DE COLA MEDIA DURANTE LA SIMULACIÓN EN LA SECCIÓN 11808, SITUACIÓN INICIAL. ....        | 97  |
| FIGURA 63: DIAGRAMA DE COLA MEDIA DURANTE LA SIMULACIÓN EN LA SECCIÓN 11808, ESTRATEGIA. ....               | 98  |
| FIGURA 64: DIAGRAMA DE DENSIDAD DURANTE LA SIMULACIÓN EN LA SECCIÓN 11808, SITUACIÓN INICIAL. ....          | 98  |
| FIGURA 65: DIAGRAMA DE DENSIDAD DURANTE LA SIMULACIÓN EN LA SECCIÓN 11808, ESTRATEGIA. ....                 | 99  |
| FIGURA 66: DIAGRAMA DE TIEMPO DE DEMORA DURANTE LA SIMULACIÓN EN LA SECCIÓN 11808, SITUACIÓN FINAL. ....    | 99  |
| FIGURA 67: DIAGRAMA DE TIEMPO DE DEMORA DURANTE LA SIMULACIÓN EN LA SECCIÓN 11808, ESTRATEGIA. ....         | 100 |
| FIGURA 68: DIAGRAMA DE COLA MEDIA DURANTE LA SIMULACIÓN EN LA SECCIÓN 9716, SITUACIÓN INICIAL. ....         | 101 |
| FIGURA 69: DIAGRAMA DE COLA MEDIA DURANTE LA SIMULACIÓN EN LA SECCIÓN 9716, ESTRATEGIA. ....                | 101 |
| FIGURA 70: DIAGRAMA DE DENSIDAD DURANTE LA SIMULACIÓN EN LA SECCIÓN 9716, SITUACIÓN INICIAL. ....           | 102 |
| FIGURA 71: DIAGRAMA DE DENSIDAD DURANTE LA SIMULACIÓN EN LA SECCIÓN 9716, ESTRATEGIA. ....                  | 102 |
| FIGURA 72: DIAGRAMA DE TIEMPO DE DEMORA DURANTE LA SIMULACIÓN EN LA SECCIÓN 9716, SITUACIÓN INICIAL. ....   | 103 |
| FIGURA 73: DIAGRAMA DE TIEMPO DE DEMORA DURANTE LA SIMULACIÓN EN LA SECCIÓN 9716, ESTRATEGIA. ....          | 103 |
| FIGURA 74: DIAGRAMA DE COLA MEDIA DURANTE LA SIMULACIÓN EN LA SECCIÓN 12727, SITUACIÓN INICIAL. ....        | 104 |
| FIGURA 75: DIAGRAMA DE COLA MEDIA DURANTE LA SIMULACIÓN EN LA SECCIÓN 12727, ESTRATEGIA. ....               | 105 |
| FIGURA 76: DIAGRAMA DE DENSIDAD DURANTE LA SIMULACIÓN EN LA SECCIÓN 12727, SITUACIÓN INICIAL. ....          | 105 |
| FIGURA 77: DIAGRAMA DE DENSIDAD DURANTE LA SIMULACIÓN EN LA SECCIÓN 12727, ESTRATEGIA. ....                 | 106 |
| FIGURA 78: DIAGRAMA DE TIEMPO DE DEMORA DURANTE LA SIMULACIÓN EN LA SECCIÓN 12727, SITUACIÓN INICIAL. ....  | 107 |
| FIGURA 79: DIAGRAMA DE TIEMPO DE DEMORA DURANTE LA SIMULACIÓN EN LA SECCIÓN 12727, ESTRATEGIA. ....         | 107 |



## Índice de tablas

|                                                                                                                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| TABLA 1: AFOROS ACTUALES EN LOS ACCESOS AL PARQUE DE LA NATURALEZA DE CABÁRCENO. ....                                                                             | 11  |
| TABLA 2: BENEFICIOS POTENCIALES CONSEGUIDOS CON LA GESTIÓN ACTIVA DE TRÁFICO. (FUENTE: ACTIVE TRAFFIC<br>MANAGEMENT: THE NEXT STEP IN CONGESTION MANAGEMENT)..... | 24  |
| TABLA 3: SERIES TEMPORALES PARA EL ESCENARIO EN LA SITUACIÓN ORIGINAL .....                                                                                       | 54  |
| TABLA 4: SERIES TEMPORALES PARA EL ESCENARIO EN LA SITUACIÓN ORIGINAL .....                                                                                       | 78  |
| TABLA 5: TABLA COMPARATIVA DE LOS RESULTADOS EN LA SITUACIÓN INICIAL Y EL SISTEMA DE GESTIÓN ESTABLECIDO.....                                                     | 110 |



## **RESUMEN**

En este proyecto se realiza un estudio del tráfico de vehículos en los accesos al Parque de la Naturaleza de Cabárceno, infraestructura turística que más visitantes atrae a la región de Cantabria, un día de máxima afluencia. El estudio es representativo de la franja horaria desde las 10h00 hasta las 14h00 incluyendo la hora punta de acceso al parque.

En la actualidad nos encontramos con una gran problemática los días de máxima afluencia, dado que las colas formadas por los vehículos en los accesos llegan a entorpecer a los usuarios de la red que no tienen como destino final el parque con la problemática que ello conlleva, congestión de las carreteras, aumento de tiempo de viaje, aumento de coste de viaje...

Para realizar el estudio, mediante la microsimulación, se ha modelizado la red objetivo y la demanda de tráfico en Aimsun. Para la demanda de tráfico se emplea la simulación macroscópica para definir la demanda de transporte total, sin distinguir entre vehículos ligeros o pesados.

Obtenemos los resultados numéricos de la situación actual, Cola Media, Cola Máxima, Densidad Simuladas y Tiempo de Demora son los que más nos interesan en este estudio para poder comparar con los sistemas de gestión establecidos y valorar la eficacia de estos. A parte de los resultados numéricos podemos observar, mediante la simulación a tiempo real, que las colas formadas en el acceso de Obregón llegan hasta la intersección de la carretera CA-142 con la autovía S-30. En cambio, el acceso de Cabárceno actualmente tiene una capacidad muy superior a su demanda, presenta colas prácticamente nulas y por lo tanto un tráfico de acceso bastante fluido.

El objetivo de este estudio es conseguir liberar de congestión la carretera CA-142 para conseguir que las colas formadas en los accesos al parque no interfieran en la calidad de viaje de los demás usuarios de la red que no tienen como destino el Parque de la Naturaleza de Cabárceno.



A partir de una serie de detectores colocados en los accesos, se han ido probando diferentes sistemas de gestión del tráfico a partir de la comparación de los resultados obtenidos, con los resultados obtenidos en la simulación de la situación actual. Trabajando con cambios de localización de estos detectores, diferentes desencadenantes u órdenes. Finalmente se ha optado por el reenrutamiento, los detectores registran unos valores de ocupación que activarán o no una política de gestión del tráfico en función de si los valores obtenidos cumplen o no las condiciones preestablecidas en cada desencadenante.

Se han creado cuatro políticas que se enumeran a continuación:

- **Bilbao – Acceso Cabárceno.** Todos los usuarios procedentes de Bilbao son redireccionados por la autopista A-8 y el acceso de Cabárceno.
- **S-10 – Acceso Cabárceno.** Los usuarios procedentes de la autovía S-10 son redireccionados por la autopista A-67 y posteriormente por la autopista A-8 accediendo al parque por el acceso de Cabárceno.
- **Torrelavega – Acceso Cabárceno.** Tras la reciente finalización de la autopista A-8 se trata de redirigir permanentemente a los usuarios procedentes de Torrelavega por el acceso de Cabárceno.
- **Cabárceno – Obregón.** Cuando el acceso de Obregón entre las 13h00 y las 14h00 va liberándose por debajo de su capacidad, se va redirigiendo tráfico desde Cabárceno a Obregón siempre dentro de su capacidad.

Con este sistema de gestión se obtiene una gran respuesta, consiguiendo liberar de congestión la carretera CA-142. Esto conlleva el aumento de tráfico en la CA-608, pero manteniéndolos dentro de unos valores normales y sin influir en el viaje de los demás usuarios de la red.



## **ABSTRACT**

In this Project a study of traffic of vehicles in the accesses to the Nature Park of Cabarceno is realized. Cabarceno is the tourist infrastructure that more visitors attracts to the región of Cantabria in a day of maximun affluence. The study represents the time zone from 10:00 a.m. to 2:00 p.m. including peak Access time to the park.

Actually, we have a great problem on the days with too visitors. The queues formed by the vehicles in the accesses obtruct the user of the network who don't have the park as final destination. There is a big problem with road congestion, increased travel time, increased travel costs...

To carry out the study, through the microsimulation, the objective network and traffic demand has been modeled in Aimsun. Fort he traffic demand, a macroscopic simulation is used to define the total transport demand without separate between normal and heavy behicles.

We obtain the numerical results of the current situation, Medium Cola, Maximum Cola, Simulated Density and Delay Time are the ones that we are really interested for this study in order to be able to compare with the management systems stablished and to evaluate their effetiveness. Also, we can observe through real time simulation, that the queues created at the Obregon acces reach the intersection of the CA-142 with the autoroute S-30. In contrast, Cabarceno's access has a capactiy far superior to its demand, its tails are null and a fairly fluid of traffic.

The objective of this study is to reduce the congestion in the route CA-142 to ensure that queues formed in the acces to the park don't intefere with the other users's travel quality who have not the Nature Park of Cabarceno as final destination.

From a series of detectors placed in the accesses, different traffic management systems have bien tried by comparing the results obtained in the simulation of the curren situation.



Working with location changes of these detectors, different triggers or orders. Finally, the rerouting has been chosen, the detector register occupancy values that will activate or not, a traffic management policy depending on whether the values obtained meet or not the pre-established conditions in each trigger.

Four policies have been created that are listed below:

- **Bilbao – Cabarceno Access.** All the users coming from Bilbao are redirected by the highway A-8 and the Access of Cabarceno.
- **S-10 – Cabarceno Access.** Users coming from the S-10 motorway are redirected by the A-67 motorway and later by the A-8 motorway accessing the park by Cabarceno access.
- **Torrelavega – Cabarceno Access.** By the recent construction of the A-8 motorway, it is a matter of permanently redirecting users from Torrelavega through Cabarceno access.
- **Cabarceno – Obregon.** When the Access of Obregon between 1:00 p.m. and 2:00 p.m. is realised below its capacity, traffic is redirected from Cabarceno to Obregon always within its capacity.

With this management system, this study gets a great response, managing to remove congestion of the CA-142 motorway. This leads to increased traffic on the CA-608 but keeping a normal range and without affecting the travel of the other users of the network.



# 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO

## Introducción

### Situación general

El Parque de la Naturaleza de Cabárceno se encuentra en el valle del Pisueña, en la localidad de Cabárceno, en el municipio de Penagos.

El Parque de la Naturaleza de Cabárceno no es un zoológico convencional ni un parque natural, es un espacio naturalizado por la mano del hombre, a partir de la belleza primitiva de su paisaje kárstico, sobre 750 ha de una antigua explotación minera a cielo abierto. El Parque de la Naturaleza de Cabárceno acoge a casi 150 especies animales de los cinco continentes en régimen de semilibertad, que se distribuyen en recintos de grandes superficies donde coexisten una o varias especies.

Dentro de esta infraestructura nos encontramos con un recorrido de más de 20 km, asfaltado y señalizado para poder visitar el parque en vehículo, bicicleta o a pie. También dispone de un área acondicionada para autocaravanas.

Todo esto hace que sea una de las infraestructuras turísticas más visitada en Cantabria año tras año. Por ello, a su alrededor se genera un alto volumen de tráfico que en días de máxima afluencia al parque produce retenciones en las carreteras de acceso entorpeciendo con ello el tráfico de los vehículos que viajan por éstas carreteras sin tener como destino final este.

Cabárceno estableció en 2016 un aforo máximo al parque de 8500 visitantes, eso conlleva una afluencia de 2500 coches, que a su vez tienen que acceder al parque por las dos únicas entradas que tiene, la entrada principal, o más grande, en la localidad de Obregón que dispone de 3 carriles de acceso con 4 cabinas, y también disponen de la entrada secundaria, en la localidad de Cabárceno que dispone actualmente de 2 cabinas, y que se están ampliando a 4 cabinas.

El mayor número de vehículos con destino al parque, proceden de las carreteras S-30 y S-10 que por su disposición geográfica acceden la gran mayoría por la entrada que se encuentra en Obregón, colapsando ésta en los días de máxima afluencia. Esto produce retenciones de más de 4 km en la carretera CA-142, carretera que une el lazo formado entre la S-30 y la S-10 con las poblaciones que se encuentran en el Valle de Pisueña, pasando por Sarón y Selaya, ambas poblaciones que concentran más de 5000 habitantes.

A su vez también tenemos un tráfico importante procedente de Bilbao que principalmente accede al parque por la entrada de Cabárceno, así como de Torrelavega que se reparte entre las dos entradas, predominando el acceso por la entrada de Obregón.

*Tabla 1: Aforos actuales en los accesos al Parque de la Naturaleza de Cabárceno.*

| O\D         | Obregón (Veh) | Cabárceno (Veh) | Total (Veh) | Obregón (%) | Cabárceno (%) | Total (%) |
|-------------|---------------|-----------------|-------------|-------------|---------------|-----------|
| Bilbao      | 61            | 319             | 380         | 3,6         | 42,4          | 46,1      |
| Torrelavega | 344           | 168             | 512         | 20,5        | 22,3          | 42,8      |
| S-30        | 666           | 0               | 666         | 39,6        | 0,0           | 39,6      |
| S-10        | 484           | 68              | 552         | 28,8        | 9,0           | 37,9      |
| Solares     | 3             | 79              | 82          | 0,2         | 10,5          | 10,7      |
| Liérganes   | 0             | 65              | 65          | 0,0         | 8,6           | 8,6       |
| Penagos     | 30            | 39              | 69          | 1,8         | 5,2           | 7,0       |
| Marina      | 33            | 14              | 47          | 2,0         | 1,9           | 3,8       |
| Astillero   | 59            | 0               | 59          | 3,5         | 0,0           | 3,5       |
| Total:      | 1.680         | 752             | 2.432       | 69,1        | 30,9          | 100,0     |

Con los Sistemas Avanzados de Gestión del Tráfico (ATMS) se busca reducir, la congestión del tráfico, valiéndose de la mejora de la eficiencia en la utilización de las infraestructuras existentes. Estos sistemas habitualmente se emplean para buscar alternativas ante la congestión a través del despliegue de tecnologías de detección del estado de tráfico, telecomunicaciones y procesadores de datos, así como de instalaciones de tráfico como son la semaforización o los VMS.

El objetivo de estos sistemas es vigilar el funcionamiento de la red en tiempo real mediante la recopilación de datos, realizando cambios en el funcionamiento de la red (límites de velocidad, regulación semafórica, apertura y cierre de carriles...)

mejorando el comportamiento de la red ante situaciones anormales, durante el tiempo que sea preciso con el fin de maximizar la eficiencia de la red.

### **Problemáticas**

El ATMS considera dos problemáticas diferentes: la congestión causada por los patrones de tráfico regulares (Sistemas de Gestión de la Congestión o CMS) y los problemas de tráfico causados por incidencias no predecibles (Sistemas de Gestión de Incidencias o IMS).

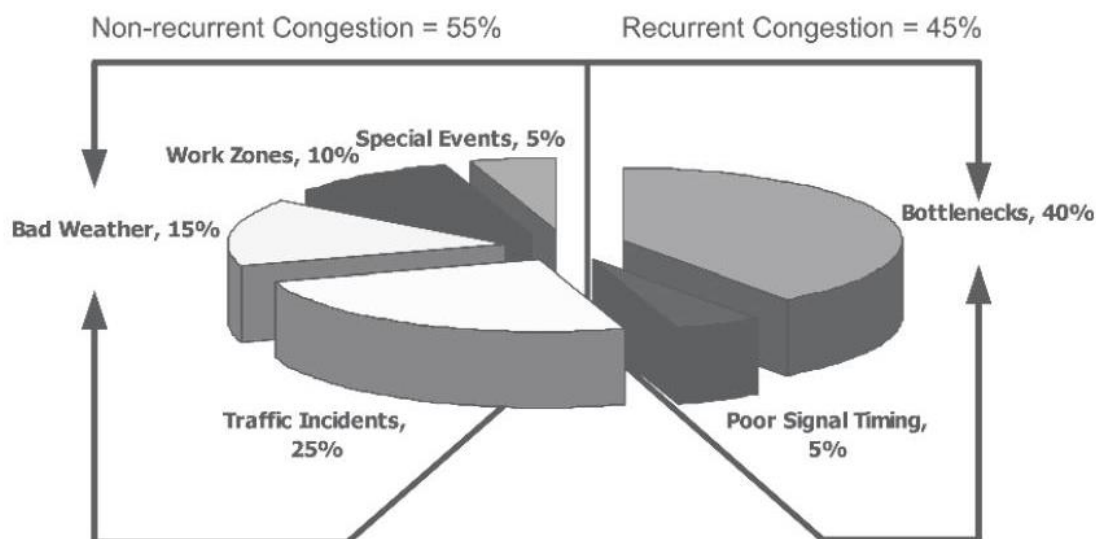


Figura 1: Causas de la congestión en Estados Unidos. Congestión recurrente y no recurrente. (Fuente: *Active Traffic Management: The Next Step in Congestion Management*).

Una infraestructura turística como es el Parque de la Naturaleza de Cabárceno, es habitual que provoque una pérdida de capacidad y la formación de colas debido a que el volumen excede dicha capacidad en días de máxima afluencia, incluyéndose por tanto en el grupo de “Special Events” en la Figura 1, causando así el retraso en los viajes, congestión...



*Figura 2: Cola de vehículos producida en los accesos a Cabárceno en la carretera CA-142.  
(Fuente: El Diario Montañés).*

Todo esto es posible minimizarlo a partir de dos herramientas:

- Una respuesta rápida de los servicios encargados de normalizar la situación de la carretera.
- Una gestión del tráfico que maximice la funcionalidad de la red en las condiciones en las que existe la perturbación.

Para minimizar los efectos de congestión ocasionados en la red, es fundamental el uso de los sistemas ATMS y ATIS, requiriéndose la coordinación de recursos tanto humanos como tecnológicos (Estos sistemas incluyen la detección de incidencias, verificación de la detección, respuesta a la incidencia y vuelta a la normalidad).

El empleo de señales de tráfico variables (VMS) es el sistema con mayor potencial para prevenir la congestión, alertando a los conductores y sugiriendo rutas alternativas de las que se tiene también un control. Un sistema adecuado de reenrutamiento permite mantener una carga adecuada en la red, minimizando los efectos de un evento o infraestructura como el Parque de la Naturaleza de Cabárceno y evitando con ello el colapso de los accesos y las redes colindantes.

A continuación se refleja la problemática actual mediante recortes de prensa actuales:

Jueves, 31 de Agosto 2017. (Fuente: El Diario Montañes)

## Penagos y Villaescusa exigen soluciones ante los atascos en el acceso a Cabárceno

Los ayuntamientos de Penagos y Villaescusa aseguran que han sufrido «más que nunca» este agosto las consecuencias de vivir al lado de la atracción turística estrella de Cantabria, el Parque de la Naturaleza de Cabárceno. El pasado miércoles, día 23, entraron al parque casi 8.500 personas y eso provocó **«horas de colas»** en las dos entradas por Cabárceno y Obregón.

A su juicio, esta circunstancia afecta a los vecinos y a la vida comercial del muenicipio ante la imposibilidad de acceder a suministros. Según Lavín los propios técnicos de Cabárceno le han reconocido que el problema existe y asegura que hay gente que no llega a entrar al parque y «se vuelve o se va a otro sitio», por no esperar», por lo que insiste en que hay que tomar medidas.



*Figura 3: Imagen de una de las colas que se forman para entrar al Parque de la Naturaleza de Cabárceno. (Fuente: eldiariomontanes.es)*

- Viernes, 14 de Abril 2017. (Fuente: eldiario.es)

## Más de 9.000 personas entran en Cabárceno y obligan a cerrar la taquilla

Los problemas de tráfico se han localizado en las carreteras de acceso al parque, desde primera hora de la mañana.

Así, la CA-142 ha registrado circulación irregular a lo largo de casi un kilómetro (del punto 7.1 al 8) a la altura del recinto, en dirección Astillero.

Las condiciones también han sido difíciles en esa misma vía a lo largo de casi 2 kilómetros, del punto 7.1 al 5.5, en sentido Selaya, según información de la Dirección General de Tráfico.”



*Figura 4: accesos en la localidad de Obregón al Parque de la Naturaleza de Cabárceno. (Fuente: eldiariomontanes.es)*



- Viernes 14 de Abril 2017. (Fuente: cadenaser.com)

## Cabárceno cierra el acceso para los que no tengan entrada previa

Desde primeras horas de la mañana de este Viernes Santo se han registrado colas en la entrada del Parque y retenciones de alrededor de **tres kilómetros en la carretera que lleva a esta instalación turística (CA-142)**.

A la una de la tarde el Parque ha cerrado el acceso a las personas que no tienen entrada online y en una o dos horas, dependiendo del flujo de visitantes que siga llegando, se verá si es posible abrir a todo el mundo o no.

Cantur ha pedido disculpas a todas las personas que se han podido ver afectadas por esta circunstancia, **por las molestias ocasionadas**. Algunas de ellas se quejaban de falta de información.”

- Sábado 4 de Abril 2015. (Fuente: El Diario Montañes)

## Aforo completo en Cabárceno

El Viernes Santo es el día de mayor afluencia al parque, como ocurre cada año por estas fechas. De hecho, a lo largo del día se registraron retenciones, de hasta 3 kilómetros, en las carreteras de acceso al recinto, a su paso por las localidades de Obregón y Liaño.

En una "apuesta por la calidad", Cabárceno ha cerrado sus puertas esta mañana y no ha permitido la entrada por la tarde."



*Figura 5: Aforo completo en el Parque de la Naturaleza de Cabárceno. (Fuente: eldiariomontanes.es)*

## Objetivos y composición del estudio

### Objetivos

Este estudio se ha llevado a cabo con el fin de diseñar un sistema de control para la gestión de la congestión no recurrente en los accesos al Parque de la Naturaleza de Cabárceno, gestionando el tráfico en tiempo real. El sistema consta principalmente de una estrategia de reenrutamiento que se basará en una serie de políticas de actuación que se accionarán dependiendo del estado de la red. Dichas políticas se han determinado mediante microsimulación.

El sistema de reenrutamiento aplicado consiste en un algoritmo de detección de incidencias y una redistribución del tráfico con destino el Parque de la Naturaleza de Cabárceno. El algoritmo es el medio por el que el Centro de Control de Tráfico podrá accionar las políticas de reenrutamiento.

Para concretar la estrategia disponemos de una red en microsimulación de la zona de forma que sea representativa de un día de máxima afluencia en el Parque de la Naturaleza de Cabárceno. Tras esto, se han testado una serie de diferentes políticas de redistribución del tráfico hasta comprobar cual ofrece un resultado más satisfactorio minimizando con ello el impacto que produce el colapso de los accesos al parque, en los viales cercanos y con ello a los usuarios de estos que no tienen como destino final este.

El sistema se ha planteado para gestionar el tráfico de los viales que más vehículos soportan con destino el Parque de la Naturaleza de Cabárceno dentro de la red objeto de estudio: Tráfico procedente de la S-30, S-10, Torrelavega y Bilbao.

El objetivo de todo ello es conseguir que las colas en los accesos al Parque de la Naturaleza de Cabárceno disminuyan, minimizando la congestión no recurrente inducida por incidencias en sus accesos, influya de la menor manera posible en los viales de la zona.

## 2. DETECCIÓN DE INCIDENCIAS - GESTIÓN DE TRÁFICO

### Detección de incidencias

Para reducir la congestión es esencial contar con una rápida y fiable detección de incidencias, reduciendo con ello el retraso y el riesgo potencial derivados de la incidencia. Un sistema eficaz es fundamental dentro de un sistema de gestión de incidencias (IMS). Tiene una gran influencia en la eficiencia y fiabilidad de todo el IMS. Disponer de información en tiempo real es muy importante para la realización de numerosas funciones en la gestión del tráfico, pero la detección de incidencias es uno de los puntos débiles a la hora de implementar herramientas ATMS. En los últimos años se están desarrollando numerosos análisis del funcionamiento de los Detectores Automáticos de Incidencias (AID) ya existentes.

### Patrones de incidencias

La manera con que una incidencia altera el estado del tráfico responde a una serie de patrones diferenciados. Existen cinco patrones definidos:

1. El primero está caracterizado por la menor capacidad en el punto de la incidencia que el volumen de tráfico a soportar, desarrollándose una cola aguas arriba y apareciendo simultáneamente una región de tráfico ligero aguas abajo. Es con lo cual el patrón de tráfico más fácil de detectar y en el cual está basado el algoritmo de California básico.
2. En el segundo patrón el impacto de la incidencia es menos severo que el primer caso. En este caso la condición prevalente es flujo libre, ocurre cuando la capacidad de la vía es superior al volumen de tráfico a soportar aún habiendo surgido la incidencia (Por ejemplo en una carretera de varios

- carriles, en la que solo se cierra uno, y el resto de carriles suman mayor capacidad aun que el volumen de tráfico).
3. En el tercer patrón, el tráfico se encuentra en flujo libre, ocurre en tráfico moderado encontrándonos con un vehículo averiado en un lateral de la calzada. Este patrón no tiene un impacto brusco en las condiciones de tráfico.
  4. El cuarto patrón lo encontramos en una vía con mucha afluencia de tráfico, teniendo una capacidad en la incidencia menor que el volumen aguas abajo, dando lugar a una disipación del problema aguas abajo, aunque evolucionando lentamente, a no ser que la incidencia sea de carácter severo.
  5. En el quinto caso ocurre al revés que en el cuarto, la capacidad en el punto de incidencia es superior al volumen de tráfico aguas abajo. Este patrón no es detectable en los datos de tráfico, similar al tercer caso.

### **Tipos de algoritmos de detección de incidencias (AID)**

Existen distintos tipos de algoritmos basados en diferentes principios de funcionamiento, complejidad, y datos de entrada. Todos ellos utilizan detectores loop desplegados a lo largo de toda la calzada tanto en autovías como en autopistas. Se realiza una sencilla y práctica clasificación en bases a los principios de funcionamiento:

#### **1. Algoritmos comparativos.**

Para comparar los valores de parámetros de tráfico se diseñaron los algoritmos comparativos, medidos en campo basándose en unos umbrales ya preestablecidos desencadenándose la alarma de detección cuando se superan los umbrales establecidos. Se incluyen los algoritmos DT/California/Payne (Payne H.J. et al., 1976), el algoritmo PATREG (Collins J.F. et al., 1979) y el algoritmo APID (Masters P.H. et al., 1991)

## **2. Algoritmos estadísticos**

Por otro lado, los algoritmos estadísticos utilizan técnicas estadísticas determinando cuando los datos de un detector están difiriendo de las características estadísticas usuales. Encontramos entre otros algoritmos estadísticos el Estándar Normal Deviate (SND) y el Bayesian Algorithm.

## **3. Algoritmos de series temporales**

Estos algoritmos asumen que el tráfico sigue patrones predecibles mediante registros de series temporales. Se predicen cuales son las condiciones de tráfico normales detectando incidencias cuando los detectores registran una diferencia significativa al modelo correspondiente. Se utilizan numerosas técnicas, las cuales predicen el tráfico a lo largo del tiempo y predecir las incidencias, contando con el modelo ARIMA (Ahmed , M.S. and Cook, A.R. 1977) y el algoritmo de alta ocupación HIOCC (Collins et al., 1979), complementándose estos a su vez con el PATREG.

## **4. Algoritmos de filtrado o smoothing**

Para extraer el ruido o las heterogeneidades de los datos de tráfico causantes de falsas alarmas se utilizan las técnicas de filtrado y smoothing. Estas técnicas permiten que los patrones de tráfico más puros sean visibles detectando así mejor las incidencias reales. La atenuación produce una media ponderada mediante una técnica matemática a partir de una variable de tráfico establecida. Por otro lado, los algoritmos de filtrado utilizan un filtro lineal permitiendo que los componentes de baja frecuencia sin dar lugar a confusión con las componentes de alta frecuencia. Entre los algoritmos de filtrado o Smoothing encontramos el algoritmo Double Exponential Smoothing (DES) (Cook and Cleveland, 1974), los Low-Pass filter (LPF) (Stephanedes et al., 1992) y el algoritmo DWT-LDA (Samant and Adeli, 2000; Adeli and Samant, 2000).

### **5. Algoritmos de modelado de tráfico**

Los algoritmos de modelado de tráfico recurren a la teoría de tráfico describiendo y prediciendo el comportamiento del tráfico bajo condiciones de incidencia. Se basa en la diferencia entre tráfico con incidencias y tráfico sin incidencias comparando patrones de tráfico observados y valores de parámetros estimados a partir de modelos. Podemos encontrar algunos ejemplos como el Dynamic model, el Catastrophe Theroy Model (basado en la teoría de catástrofe sobre la variación brusca de la velocidad frente a la continuidad del volumen y la ocupación en el límite entre incidencia y no incidencia), y el algoritmo Low-Volume (LV) (Fambro and Ritch, 1979).

### **6. Algoritmos de inteligencia artificial**

Este algoritmo se refiere a la colección de procedimientos aplicando un rozamiento inexacto y la incertidumbre en la toma de decisiones complejas y procesos de análisis de datos. Para la detección automática de incidencias se utilizan las técnicas de inteligencia artificial incluyendo en esta las redes neurales, fuzzy logic, y combinaciones de estas dos técnicas.

### **7. Algoritmos de procesamiento de imágenes**

En este caso encontramos dos tipos. En primer lugar tenemos la unidad de procesamiento de imagen, que consiste en una cámara de vigilancia y un ordenador procesando la imagen. Este puede usarse como detector de loop u otro detector fijado para proveer medidas de tráfico como volumen, ocupación, velocidad o longitud de cola. Este programa extrae las variables de tráfico de las imágenes grabadas por las cámaras de vigilancia. En segundo lugar encontramos el proceso que interpreta toda la imagen de video, encontrando vehículos estacionarios o muy lentos con el fin de encontrar incidencias. Encontramos el Autoscope Incident Detection Algorithm (AIDA) (Michalopoulos et al., 1993).



## Gestión activa de tráfico

Lo contrario a la gestión espontánea, es la habilidad de gestionar dinámicamente tanto la congestión recurrente como la no recurrente, gestión activa del tráfico, basándose por ello en las condiciones de tráfico existentes con la intención de mejorar la eficacia de la red optimizando con ello la capacidad y la minimizando los efectos negativos del funcionamiento del sistema de transporte. Para gestionar esta congestión se precisa de una combinación de estrategias operacionales que se aplican de forma oportuna y en el momento preciso. Se optimiza con esto, el funcionamiento de la infraestructura existente ofreciendo con ello beneficios en la red de transporte y a los usuarios de esta.

Entre las principales estrategias de gestión del tráfico encontramos:

- Velocidad variable o armonizada.
- Uso temporal de arcenes.
- Ramp metering.
- Control de intersecciones.
- Gestión de carriles.
- Señalización dinámica.
- Reenrutamiento o dynamic recrouting.

En la siguiente tabla se nos indican los potenciales beneficios que aportan cada una de las estrategias ya mencionadas:

*Tabla 2: Beneficios potenciales conseguidos con la gestión activa de tráfico. (Fuente: Active Traffic Management: The Next Step in Congestion Management).*

| Active Traffic Management Strategy | Potential Benefits                         |                    |                               |                                 |                               |                     |                    |                              |                            |                                  |                            |                        |                               |
|------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------------|--------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------------|----------------------------|------------------------|-------------------------------|
|                                    | Increased throughput                       | Increased capacity | Decrease in primary incidents | Decrease in secondary incidents | Decrease in incident severity | More uniform speeds | Decreased headways | More uniform driver behavior | Increased trip reliability | Delay onset of freeway breakdown | Reduction in traffic noise | Reduction in emissions | Reduction in fuel consumption |
|                                    | Speed harmonization                        | ●                  |                               | ●                               |                               | ●                   | ●                  | ●                            | ●                          | ●                                | ●                          | ●                      | ●                             |
|                                    | Temporary shoulder use                     | ●                  | ●                             |                                 |                               |                     |                    |                              | ●                          | ●                                |                            |                        |                               |
|                                    | Queue warning                              |                    |                               | ●                               | ●                             | ●                   | ●                  | ●                            | ●                          |                                  | ●                          | ●                      | ●                             |
|                                    | Dynamic merge control                      | ●                  | ●                             | ●                               |                               |                     | ●                  |                              | ●                          | ●                                | ●                          | ●                      | ●                             |
|                                    | Construction site management               | ●                  | ●                             |                                 |                               |                     |                    |                              | ●                          |                                  | ●                          | ●                      | ●                             |
|                                    | Dynamic truck restrictions                 | ●                  | ●                             |                                 |                               |                     | ●                  |                              | ●                          |                                  |                            | ●                      | ●                             |
|                                    | Dynamic rerouting and traveler information | ●                  |                               | ●                               | ●                             |                     |                    | ●                            | ●                          |                                  |                            | ●                      | ●                             |
|                                    | Dynamic lane markings                      | ●                  | ●                             |                                 |                               |                     |                    |                              | ●                          |                                  |                            |                        |                               |
| Automated speed enforcement        |                                            |                    | ●                             |                                 | ●                             | ●                   |                    | ●                            | ●                          |                                  | ●                          | ●                      |                               |

Estas estrategias complementadas con un sistema integrado a partir de la tecnología de la información para la activación automática de estas medidas, que detecten automáticamente cuando se debe iniciar o finalizar una medida, mejoran el funcionamiento respecto de una puesta en marcha manual de dichas estrategias.

En el presente estudio se presente diseñar un sistema de señalización luminosa variables capaz de representar las indicaciones precisas a cada una de las medidas o estrategias establecidas, capaz así de gestionar la congestión no recurrente generada en la red ante un suceso como son las colas generadas en los accesos al Parque de la Naturaleza de Cabárceno.

Una incidencia como es el colapso de los accesos provoca grandes retrasos en los tiempos de viaje de los usuarios de la red, así como la alteración en la red de transporte público, ocasionando largas colas que pueden inhabilitar la red. Todo esto precisa la presencia de efectivos de la policía para realizar las gestiones pertinente de

manera manual, teniendo en cuenta que las órdenes de estos solo son alcanzadas por los usuarios que se aproximan a ellos.



*Figura 6: Efectivos de la policía actuando ante una situación de colapso en los accesos de Obregón. (Fuente: eldiariomontanes.es)*

En estos casos de congestión de la red, la estrategia con mayor potencial para minimizar la afección al tráfico es el reenrutamiento dinámico de vehículos o *Dynamic Rerouting*.

### **Reenrutamiento o Dynamic Rerouting**

El reenrutamiento dinámico de vehículos o Dynamic Rerouting es la estrategia mediante la cual se indica a los vehículos un cambio en la ruta durante su viaje haciendo uso de elementos de señalización variable (VMS), no se hayan aproximado a la zona, previniendo el uso de un vial en el que se haya observado una caída de capacidad imprevista, para poder comunicar la alternativa a usuarios que aún, con el fin de prevenir la congestión y la formación de una mayor cola.

### **Diseño de un sistema de reenrutamiento**

Un sistema de reenrutamiento eficaz debe ser rápido, fiable y seguro:

- La rapidez del sistema está basada en la capacidad de detectar la incidencia. Para ello debe implementarse un sistema de detección automática de incidencias (AIS). Estos sistemas usan detectores de tráfico y algoritmos lógicos para determinar la existencia de una incidencia con el fin de dar una respuesta eficaz a la misma.
- La fiabilidad del sistema está determinada por el potencial que tiene la nueva distribución de tráfico de prevenir la congestión y el colapso que se produciría en caso de no aplicarse ningún sistema de reenrutamiento.
- La seguridad es un objetivo de cualquier sistema de reenrutamiento. Los vehículos tienen que adaptar su velocidad al cambio de condiciones, para realizar los cambios de ruta con seguridad y evitar que se produzcan más incidencias como consecuencia de la primera.

En general, los aspectos a analizar para diseñar un plan de reenrutamiento son los siguientes:

- El volumen de tráfico.
- El porcentaje de vehículos pesados.
- El transporte público.
- Puntos posibles de comienzo y final de la vía de reenrutamiento.
- Seguridad en la red con reenrutamiento, especialmente considerando a los usuarios de la calzada no protegidos.
- La existencia de edificios residenciales, escuelas y lugares de recreo a lo largo de la red de reenrutamiento.
- Molestias debido al ruido o la contaminación del aire.
- Accesibilidad en la red de reenrutamiento.
- Limitaciones por mercancías peligrosas, longitud de vehículos, anchura, y galibo máximos en la red de reenrutamiento.

- Categoría de tráfico en la red de reenrutamiento.

Para diseñar un reenrutamiento es necesario:

1. Determinar la zona vulnerable que será protegida con el reenrutamiento.
2. Determinar el tráfico que discurre por ese vial: composición y caracterización del flujo.
3. Diseñar el sistema de detección de incidencias.
4. Encontrar una ruta alternativa que sirva a los usuarios del vial afectado.

Existiendo dos tipos de reenrutamiento:

- a. Reenrutar por otra carretera: Se emplea otra carretera cuando el tráfico es dirigido más allá de la incidencia a través de una calzada viable de la red circundante a la zona de la incidencia. En este caso el reenrutamiento comienza en una intersección donde la vía de reenrutamiento conecta con la principal, y termina en una intersección en la que el tráfico pueda volver a la ruta principal.
- b. Reenrutar por la propia carretera con la incidencia: En este caso el tráfico evita la incidencia desviándose por uno de los carriles de la propia calzada. En estos casos puede ser perceptivo retirar elementos que separen los carriles o los sentidos de circulación, o aprovechar comunicaciones existentes entre los mismos. Existen dos subcasos distintos dentro de esta tipología:
  - **El carril de desvío conserva su sentido:** En este caso, la incidencia deja algún carril por el que la circulación es viable en la calzada, y trata de canalizarse el tráfico por ese carril desde antes de que la incidencia sea percibida.
  - **El carril de desvío no conserva su sentido:** En este caso, un sentido de la calzada está inutilizable y se opta por utilizar un carril del sentido contrario para atravesar la incidencia, protegiéndolo. En este caso es especialmente

importante el uso de señalización adicional o incluso operarios que guíen el tráfico.

5. Caracterizar la velocidad en los tramos afectados por el reenrutamiento para que el tráfico sea compatible con la situación de emergencia.
6. Diseñar el sistema de información a los usuarios para que sea posible el reenrutamiento.
7. Diseñar el sistema de información a los usuarios para que sea posible el reenrutamiento.
8. Comprobar la efectividad del plan para mitigar la congestión no recurrente. Para este propósito es preceptivo el empleo de la microsimulación.

### **Sistemas de reenrutamiento en uso en la actualidad**

Hoy en día, no se encuentra una implementación muy extendida de planes de reenrutamiento. El reenrutamiento es un recurso muy útil en multitud de situaciones existentes actualmente, pero no se diseñan sistemas de forma tan específica como para otras estrategias de gestión activa del tráfico como son el ramp metering o la speed harmonization, sistemas sobre los que encontramos más investigación y conocimiento.

Aunque, podemos encontrar algunos ejemplos de sistemas de reenrutamiento que han sido llevados a cabo, analizados y comparados. Los más importantes son los siguientes:

- **Alemania**

En los últimos años se ha seguido una estrategia dirigida para gestionar la mayoría de los trayectos dentro de su territorio nacional mediante información estandarizada de tráfico y de viajeros en tiempo real (RTTI) (F. Bolte, 2006). Un componente de reenrutamiento a los usuarios. En Alemania son habituales las señales rotacionales variables que facilitan información de las condiciones del tráfico. Si se da lugar una incidencia, los operarios del CCT despliegan información de rutas alternativas

para los usuarios de la vía. En instalaciones en las que se combina reenrutamiento con la velocidad variable y el uso temporal del arcén, las señales también son capaces de facilitar esa información.



*Figura 7: Panel VMS en Alemania con información de reenrutamiento. (Fuente: Active Traffic Management: The Next Step in Congestion Management).*

A raíz del aumento del tráfico internacional, se ha percibido que los usuarios extranjeros pueden no percibir correctamente estos mensajes, por lo que en Alemania también se estandarizan los mensajes en las señales VMS para reducir la probabilidad de los usuarios de no interpretar bien la información. Estas señales emplean mensajes configurados según una serie de principios básicos:

- Las señales se emplean sólo para información del tráfico.
- Se emplean leyendas comprensibles internacionalmente.
- Se emplea el mínimo texto posible.
- SE emplea tanto texto como sea inevitable.
- Preferencia por los símbolos y señales de la convención de Viena.



*Figura 8: Panel VMS en Alemania con información de reenrutamiento y congestión. (Fuente: Active Traffic Management: The Next Step in Congestion Management).*

Otro componente del sistema RTTI alemán es el canal de información del tráfico. Este canal provee información de tráfico a los usuarios a través del GPS de a bordo de forma que puede traducirse desde unidades GPS al lenguaje preferido del usuario. La mayoría de estos mensajes son generados desde sistemas de detección que se repiten cada 2-3 minutos para garantizar su recepción rápida en la calzada. Numerosas entidades (industria automovilista y de radio, instituciones, empresas privadas de información...) facilitan la disponibilidad de estas unidades con el fin de aumentar la introducción de la información en los vehículos a lo largo de todo el país. Los mensajes se transmiten digitalmente codificados a través de frecuencias FM, el llamado Radio Data System (RDS). Esta clase de mensajes son transmitidos sin interrupciones en los programas de unas 50 cadenas de radio, por razones legales, la información del tráfico es de libre acceso. Esta tecnología ha permitido aplicar reenrutamiento en vías no equipadas con VMS. Habitualmente, bastan de 2 a 5 minutos para proveer información de la congestión. Dado su éxito, este modelo se ha propagado a lugares como Estados Unidos, Australia o Singapur. Actualmente se trabaja en tecnologías con mayor capacidad informáticas para poder informar también del tráfico a nivel urbano.



Algunos sistemas de reenrutamiento alemanes son:

- Rerouting *A5/A6/A81 Leonberg – Walldorf*. (combinado a su vez con uso de arcén a lo largo de 42 km).
- Sistema de Dynamic Reroutin *A8 Munich – Salzburg*.
- Guiado dinámico de tráfico con información de congestión integrada “dWiSta” *A3/A66*.

Con estos sistemas se ha disminuido el riesgo de accidente por incidencia en un 30%, y aumentando con ello el 30% la capacidad de la vía.

- **Estados Unidos**

En estados Unidos, son diferentes administraciones las que han diseñado planes de reenrutamiento y se caracterizan por tener diferentes objetivos, densidad de instalaciones y señalización, métodos empleados para obtener rutas alternativas y control de calidad del sistema. Algunos ejemplos característicos de planes de reenrutamiento que se han desarrollado son:

**Idaho**

La policía estatal de Idaho, en coordinación con el Idaho Transportation Department (ITD), emergencias, agencias locales y públicas, se pusieron de acuerdo para elaborar el Idaho Transportation Incident Management Plan en Enero de 2008. El plan fue creado para proveer una respuesta coordinada y eficiente, así como una gestión de cualquier riesgo de tráfico significativo. Cubre ciertas clases de incidencias tales como, choques, coches parados u obstrucciones que requieran del cierre de carriles y control de tráfico. Pero el problema se encuentra en la respuesta lenta a las incidencias y la recuperación posterior del tráfico. Este plan contiene rutas alternativas para los seis distritos del estado, predominando el uso de la infraestructura estatal (autopistas interestatales, rutas estatales...) pero también emplea carreteras locales o del condado cuando no existe la posibilidad de usar una

carretera estatal. En el distrito 2 existe un caso particular de reenrutamiento en el que se incluyen como rutas alternativas, carreteras que discurren por el estado vecino de Washington. El plan provee información sobre procedimientos de notificación, contacto, formación e información genérica sobre los procedimientos de respuesta a una incidencia.

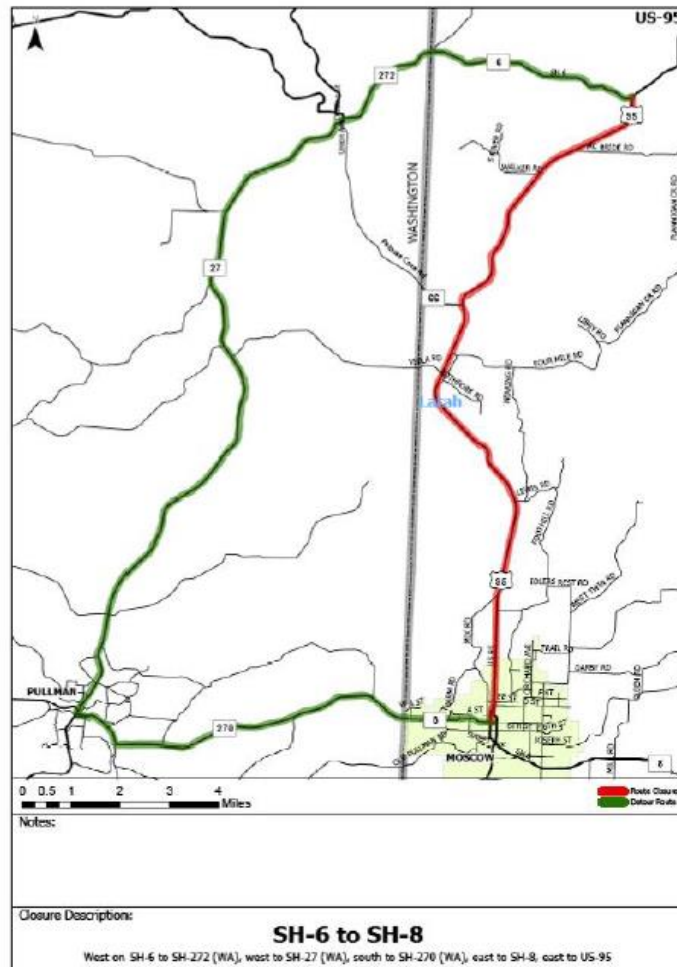


Figura 9: Ejemplo ITD en el distrito 2, ruta alternativa por el estado vecino. (Fuente: Best practices for emergency rerouting).

El objetivo del plan es tener una guía para mejorar la coordinación y la comunicación en casos de incidencia con el fin de minimizar el tiempo de recuperación sin sacrificar la calidad de los procesos que tienen lugar en la zona de la incidencia. Las incidencias se clasifican en niveles:

- Nivel A (<30 minutos)

- Nivel C (30-120 minutos desde incidencia a restauración del tráfico normal), requiere de la aplicación del reenrutamiento.
- Nivel D (>120 minutos) requiere de la aplicación del reenrutamiento.

No se usa señalización especial para apoyar al reenrutamiento. No existen tampoco indicadores de eficacia del plan ni una evaluación del control de calidad.

### **Wisconsin**

El Wisconsin Department of Transportation (WisDOT) elaboró un programa de gestión de incidencias (TIME) que consiste en un programa multidisciplinario y multiagencia dedicado a coordinar la gestión de las incidencias mediante las relaciones y la tecnología. Se publicó un memorándum que documenta el programa.

El objetivo del programa es asegurar la consistencia en el desarrollo e implementación de guías de rutas alternativas de emergencia a lo largo del estado, para lo cual se desarrolló una plantilla en la que se basaron los planes del estado, gracias a lo cual todos tienen una forma y organización similar. Según este plan, tan pronto como se llegue a la escena de una incidencia, debe considerarse la posibilidad de utilizar una ruta alternativa de emergencia, aunque se recomiendan con una duración superior a 30 minutos (umbral mínimo establecido para un cierre de calzada o de carril). En el proceso se coordinan departamentos de carreteras, bomberos, sheriff, policía, asistencia sanitaria, grúas y reparaciones, aunque pueden participar otros agentes en algunos casos como asociaciones de vecinos, entidades legislativas, etc. Se ha instalado señalización específica para informar del reenrutamiento, que puede complementarse con el uso de señalización variable portátil que pueda desplegarse y retirarse tras el establecimiento de nuevo de la normalidad. A partir de la implementación de rutas de emergencia en varios corredores de Wisconsin, se obtienen los siguientes beneficios:

- Reducir colas y el riesgo de choques secundarios.
- Mantener el transporte de mercancías y pasajeros.

- Despliegue eficaz de personal y equipamientos.
- Mejora del tiempo de respuesta.

Las mediciones son relativas al tiempo de respuesta y restauración, retraso, uso de VMS y otros. No hay medidas específicas para el uso de rutas alternativas, aunque se aporta información indirecta del uso de rutas alternativas mediante los indicadores de tiempo de respuesta, restauración y retraso del tiempo de viaje. Se revisan continuamente los planes de emergencias mediante encuentros regionales organizados con motivo de revisar el TIME.

### **New jersey**

En New Jersey, documentado en el *Traffic Mitigation Guidelines for Work Zone Safety and Mobility* del NJ Department of Transportation (NJDOT), para evaluar las estrategias para disminuir el tráfico, las rutas alternativas con un eslabón principal, sobre todo cuando la incidencia conlleva cerrar el área de trabajo para realizar trabajos o cuando distribuir el tráfico puedes disminuir bastante la congestión. Estas estrategias serán más eficaces si de manera paralela a la ruta principal, existen rutas de capacidad disponible capaces de absorber la misma tipología de tráfico.

Este plan tiene como objetivo la disminución del tráfico aportando para ello estrategias. El empleo de rutas alternativas conlleva una buena coordinación, teniendo por ello que analizar de manera minuciosa el reenrutamiento del tráfico pesado. Es necesario que la señalización sea capaz de asimilar los tiempos de demanda informando en tiempo real, detallando los desvíos (inicio, giro, vuelta a la ruta original...). Se mide la velocidad, volumen y retraso, pudiendo así comparar todas las estrategias ATMS empleadas en el estado. Las mediciones normalmente son:

- Volúmenes y aforos de pico (ruta principal y alternativas).
- Rendimiento de los vehículos.
- Ocupación.
- Tráfico peatonal y ciclista en la zona de incidencia.
- Tiempo de viaje y retrasos.

- Ratio de colisiones.

Estas mediciones se realizan en todo el tiempo del evento (antes, durante y después del evento de cierre) observando el impacto que produce a corto y medio plazo. Se necesita también emplear corredores similares no afectados como sistema de control. La medición del retraso en las rutas alternativas, se utiliza para observar si es necesario optimizar el sistema.

En la siguiente imagen podemos observar una especificación de la señalización de tráfico utilizada en New Jersey para una ruta alternativa.



Figura 10: Especificación NJDOT de la jurisdicción de señalización de tráfico en una ruta alternativa.  
(Fuente: Best practices for emergency rerouting).

### Washington

Julio de 2002, el Washington State Patrol (WSP), el WS Department Of Transportation (WSDOT) y el Washington State Association of Fire Chiefs (WSAFC) propusieron un nuevo plan coordinando así su esfuerzo y recursos para hacer frente, disminuir, investigar y reparar las incidencias en las autopistas y rutas de ferry, quedando implementada en el Joint Operation Policy Statement (JOPS). En este



documento quedan detallados los procedimientos de gestión del tráfico, la vialidad invernal y las condiciones de seguridad de trabajo. En Thurston se elaboró un sistema que desvía el tráfico por la interstatal 5 y la US Highway 101 alrededor de las incidencias, y fue llamado *Incident Management Handbook for the I-5 Thruston County Corridor*. Tiene como objetivo dirigir de manera más eficaz los tráficos en la autopista y arterias principales, cuando en la autopista surge una incidencia. Los tráficos se desvían por las calles circundantes a la incidencia que bloquea el carril en un tiempo superior a 2 horas. El plan gestiona la sobrecarga de tráfico en la zona y por ello trata de minimizar la demora del usuario y mejora la seguridad. Se crean así Equipos de Respuesta a Incidencias (IRTs) disponibles 24 horas, todos los días de la semana patrullando las zonas congestionadas, coordinados con la WSP para ofrecer así una respuesta, guía y restauración de la ruta en el menor tiempo posible en casos de avería y colisión, previniendo así colisiones secundarias a causa de la original. Se desarrollan mapas de rutas alternativas, un nuevo plan de señalización, control del tráfico y comunicación.

### **Colorado**

El Colorado Department Of Transportation tiene desarrollados numerosos planes de gestión de incidencias a raíz de la publicación del *Guidelines for Traffic Incident Management in Work Zones (2008)*. Fueron creados a partir de un proceso de planificación coordinado por el CDOT, del que formaron parte agencias de transporte, rescate/bomberos, sanitarios, servicios de grúa, etc. Este proceso revisa e incluye protocolos y convenios. Se informa con antelación de que carriles se prevé que serán cerrados, y facilita un mapa de reenrutamiento que se actualiza en tiempo real cada 10 minutos. Estos programas incluyen un manual de respuesta a incidencias con una referencia rápida para el personal de respuesta asegurando respuestas estandarizadas y efectivas. El reenrutamiento se aplica para cierres no totales de la calzada de entre 30 y 120 minutos, conteniendo cada plan su lista de rutas alternativas



predeterminadas, informando al CDOT TOC del reenrutamiento, para que se encargue de coordinar toda la información.

1. El CDOT TOC debe ser notificado de los cierres y las rutas alternativas implementadas.
2. Todas las agencias afectadas por las rutas alternativas deben ser notificadas. El CDOT TOC será responsable de notificar a las agencias apropiadas.
3. Tras la notificación, las agencias con sistemas de señalización o desvíos en la ruta alternativa deben sincronizar apropiadamente las señales y desvíos. Si la agencia no es capaz de sincronizar inmediatamente, será necesario establecer en las intersecciones críticas personal de control de tráfico.

### **Arizona**

Otro ejemplo más de sistemas de reenrutamiento se aplica en Arizona. El *Statewide Alternate Route Plan (AZ-485, December 1999)*, incluye pautas para establecer rutas alternativas y operaciones de TMC y Traffic Incident Management (TIM) en colaboración con múltiples agencias. Para el diseño de los desvíos se utiliza el software GIS, teniendo como resultado el Alternate Routing System (ARIS), pudiendo determinar la mejor opción de desvíos cuando surge una incidencia.

Dada la extensa variedad de planes de desvío con diferentes formatos que podemos encontrar en Phoenix, ARIS sirve para ayudar a los operarios de TOC de Phoenix a interpretar estos mientras coordinan otras incidencias en todo el estado. Basándose en las restricciones de tráfico pesado de la red interestatal, velocidades medias, información adicional (puentes, regulación de velocidad en segmentos, segmentos funcionales, localización VMS...) se establece el criterio de reenrutamiento.

### California

Podemos encontrar numerosas rutas alternativas en el *Alternate Routes for Traffic Incident (ARTI) Guide (January 2009)* como respuesta a incidencias específicas en las autopistas. Cada alternativa está formada por la ruta asignada y los elementos que apoyan la implementación de ésta. Estos elementos de apoyo en muchos casos no son permanentes. Estas alternativas se basan en la distribución del tráfico a rutas alternativas establecidas alrededor de la incidencia facilitando así el movimiento del tráfico, aumentando la movilidad y fiabilidad del sistema. A continuación se enumeran algunos ejemplos de desarrollo de rutas alternativas como:

- US 101 – Desde el condado de San Francisco hasta el condado de Santa Clara.
- I-280 – Desde el condado de San Francisco hasta la carretera estatal (SR92).
- I-380 – Desde US 101 hasta I-280.
- SR-92 – Desde el puente de San Mateo hasta I-280.

Como agencia estatal, Caltrans, no tiene formalmente ningún plan formalmente desarrollado, aunque periódicamente despliega sitios web de información, asociados así a proyectos específicos requiriendo cierres importantes con rutas alternativas.

La guía ARTI tiene como objetivo principal gestionar los efectos de la congestión no recurrente en el condado de San Mateo identificando con anticipación las rutas alternativas disponibles. Establece respuestas de gestión del tráfico, facilitando la comunicación y coordinación entre las agencias participantes proveyendo un enfoque coordinado con los servicios de emergencia para gestionar así el tráfico, y optimizarlo. Cabe la posibilidad, en casos específicos, de conectar varias rutas alternativas evitando así colas masivas. Se emplea señalización ATMS como el ramp metering, el VMS, sistemas de control de tiempos de señalización, CCTV o señalización electrónica.

### 3. METODOLOGÍA GENERAL – MICROSIMULACIÓN

#### Metodología general

En términos generales la metodología que se ha seguido en el estudio tanto para modelizar la red, como para concretar el algoritmo de detección y las políticas de reenrutamiento del tráfico, se muestra a continuación.

1. Representación de la red en Aimsun: Para comenzar con el estudio, lo primero es dibujar la red objeto en Aimsun, incluyendo las vías donde se encuentran las incidencias así como las vías que puedan ser relevantes para la creación del sistema de reenrutamiento del tráfico.
2. Modelización de la demanda de la red en Aimsun: Ahora es necesario modelizar una demanda significativa que represente con la mayor precisión posible a la demanda real de la red de estudio para poder diseñar con ello el sistema de gestión. A partir de una serie de detectores colocados a lo largo de la red, de los cuales se extraen los datos de flujo de tráfico actuales, se crea una matriz Origen-Destino (O-D) dando lugar a una replicación lo más coherente posible con los datos recogidos por los detectores.
3. Implementación del algoritmo de detección de incidencias: Una vez asumido que el modelo de microsimulación está lo suficientemente calibrado, se caracterizan las incidencias que se usarán en el modelo, y con ello la implementación en el modelo de un algoritmo que sea capaz de detectar dichas incidencias.
4. Análisis del tráfico en la incidencia y desarrollo de las estrategias: En este paso se estudian y valoran las posibilidades de reenrutamiento del tráfico disponibles para cada una de las incidencias. Para ello se simulan una serie de estrategias, pudiendo así valorar cual conseguirá obtener un mejor resultado minimizando de la mejor forma la congestión producida a partir de la incidencia.



5. Resultados: Una vez realizado las pruebas pertinentes con cada una de las estrategias establecidas, se obtienen los resultados con los cuales se elabora una conclusión sobre las pautas a seguir en el sistema de gestión del tráfico ante la incidencia estudiada.

### Sistema de gestión de incidencias propuesto

Creemos un sistema que una vez implementado funcione siguiendo el guión mostrado en el siguiente diagrama de flujo.

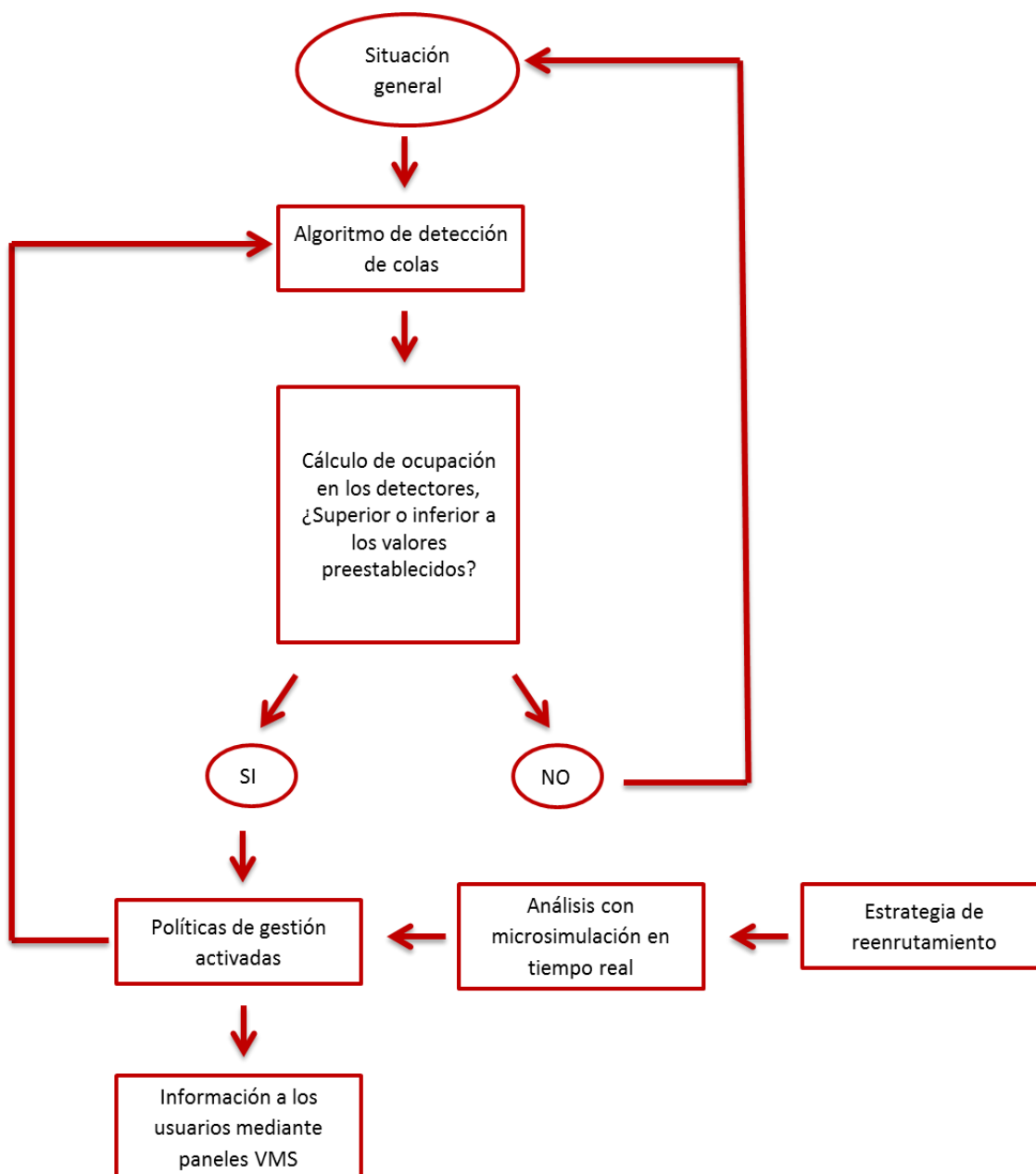


Figura 11: Diagrama de flujo representativo del sistema de gestión de incidencias propuesto.

Como se muestra en el diagrama se sigue una serie de pasos de forma cíclica con dos variantes en función de la detección o no de una cola mediante la comprobación de los

datos de tráfico recogidos por los detectores. Con ello se pretende controlar el estado de la red en tiempo real y con ello realizar las acciones pertinentes:

1. Nos encontramos en la situación original, sin ninguna cola reconocida, por lo que ninguna política de gestión es activada.
2. El algoritmo de detección de colas, se encarga de calcular en tiempo real los datos de ocupación de todos los detectores desplegados a lo largo de la red. Se trabaja con parejas de detectores para así poder dar un margen entre la activación y la desactivación de la política.
3. Si los detectores, mediante el algoritmo, no detectan una ocupación mayor o menor (según lo preestablecido), volvemos a la situación original sin haberse activado ninguna política.
4. Si en cambio, se detecta una ocupación inferior o superior a la preestablecida como condición, se activan las políticas de gestión de incidencias pertinentes. Para ello, se ha creado una estrategia de reenrutamiento que ofrece una garantía de eficacia, y la cual se forma a partir de las políticas establecidas en respuesta a las incidencias.

La estrategia se crea a partir de un análisis con microsimulación en tiempo real, precisando de una complejidad tecnológica. A partir de esta herramienta se determina cual es la estrategia más favorable de las estudiadas, a través de una simulación real de las condiciones de tráfico actuales.

5. La política de gestión se basa en una serie de órdenes y mensajes informativos a los usuarios de la red a través de señales VMS implantadas en las carreteras a lo largo de toda la red. Se emplean fundamentalmente mensajes de redireccionamiento ante la congestión de ciertas zonas de la red para disuadir a los conductores para que tomen rutas alternativas descongestionando así la zona detectada con una alta ocupación.
6. Por último, se realiza una nueva comprobación siguiendo el ciclo del diagrama, si la incidencia persiste, la política seguirá activada. Si la incidencia ha desaparecido, volveremos a la situación original con ninguna política activada.

## Microsimulación

La microsimulación consiste en la modelización de la red y el tráfico mediante la representación de los vehículos individualmente que forman parte de la red. El modelo debe ser construido, calibrado, validado y entonces puede diremos que la realidad está representada prácticamente a la perfección para poder asumir los resultados vinculados a cambios en la red que solo pueden existir en el modelo. Los parámetros que precisan de calibrado y validación son aquellos que definen los elementos de los cual está compuesto el modelo así como las funciones de comportamiento:

- **Red de tráfico:** Todos los viales e intersección de precisan de una perfecta representación, así como las instalaciones de tráfico situadas en estos (detectores, paneles VMS).
- **Demanda de tráfico:** el movimiento de los vehículos sigue unos patrones predeterminados que pueden implementarse mediante una matriz Origen/Destino o mediante estados de tráfico (vehículos entrantes, salientes y porcentajes de giro).
- **Control de tráfico:** Reglas y tiempos que rigen las intersecciones.
- **Transporte público:** Líneas y horarios.
- **Parámetros de comportamiento:** En el modelo el movimiento de un vehículo depende de su comportamiento y el de los vehículos con los que interacciona. Esto se resuelve mediante la aplicación de los siguientes modelos de comportamiento:
  - Car following: Consiste en el seguimiento de los vehículos.
  - Lane changing: Consiste en el control de cambio de carril.
    - Elección de carril objetivo.
    - Gap acceptance (aceptación de hueco).

La microsimulación tiene el potencial de mejorar significativamente la precisión y relevancia de las predicciones de tiempo de viaje teniendo en cuenta los cambios de capacidad y eventos surgidos en la red. Es por tanto la única técnica disponible para

comparar las estrategias de gestión del tráfico complejas que influyen en la propia red desarrollándose en base a cambios en las interacciones de los vehículos de forma que se consiga:

- Gestión de incidencias más eficaz y efectiva.
- Reducción del impactos de una incidencia y tiempos de recuperación más rápidos.
- Difusión a los usuarios de la red, de la información de incidencias de manera más rápida.
- Reducción de recursos humanos.
- Reducción de los tiempos de viaje y por tanto reducción del coste de viaje.

La forma más avanzada de aplicar la microsimulación a la gestión del tráfico es con los sistemas de simulación en tiempo real, empleándose como complemento a un HTMS e implementándose en los Centros de Control de Tráfico. En estos casos el proceso de datos se apoya en un software de simulación de alta velocidad para la toma de decisiones. El software procesa constantemente los datos recogidos del tráfico que en combinación con la microsimulación permite predecir la congestión antes de que ésta aparezca. Se seleccionan las mejores estrategias de disminución de la congestión, siendo más efectivas antes de que se llegue al colapso. Con tan solo 5 minutos de recogida de datos de tráfico, se puede predecir con precisión el comportamiento del tráfico la media hora siguiente que resultaría de aplicar una de determinada estrategia de gestión.

Este sistema toma una reproducción precisa del tráfico actual que sirve como base para el proceso de predicción. Mediante la comparación de los datos recogidos con los patrones históricos de la base de datos, podemos obtener las matrices de viajes O/D, pudiendo así simular la red bajo las condiciones de capacidad reales. Todo esto permite simular la red con las diferentes estrategias de gestión para poder valorar su habilidad para la mitigación de la congestión previamente a que esta ocurra.

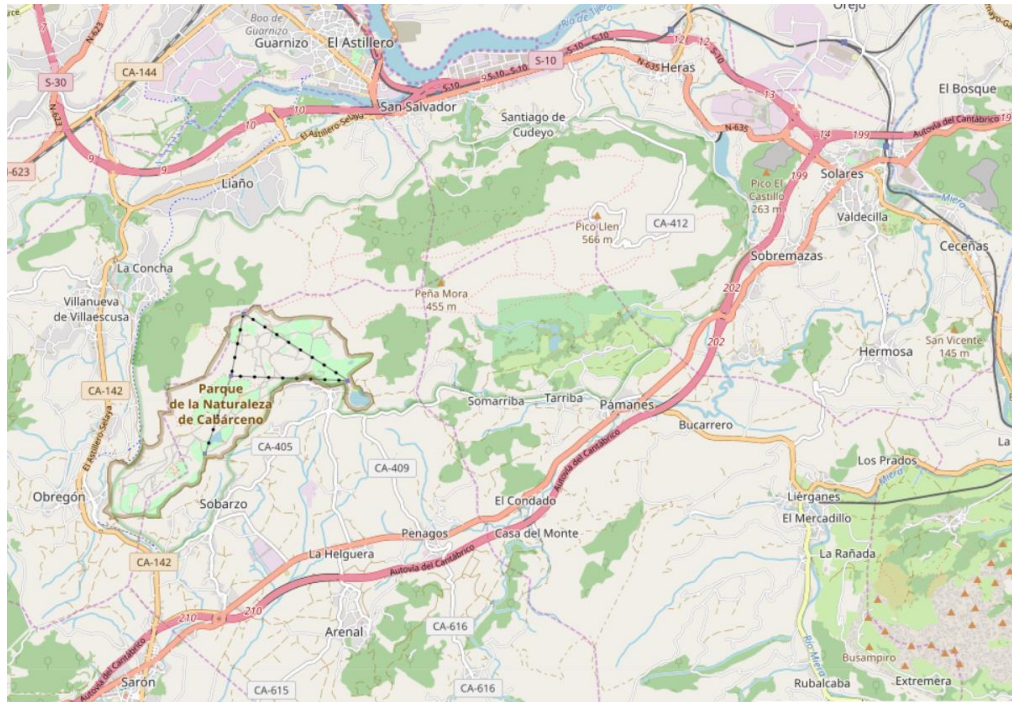


La comparación entre estrategias se puede llevar a cabo dada la capacidad que tiene el sistema de procesar una gran cantidad de datos de la simulación con una velocidad suficiente. Esto permite a los operadores del TCC escoger cual será la mejor estrategia a partir de unos mapas de temperatura que reflejan diferentes valores representando la calidad del tráfico.

## 4. MODELIZACIÓN EN AIMSUN

### Red modelizada. Oferta de transporte.

A continuación se muestra la zona geográfica que se ha modelizado en Aimsun. Observamos la red viaria entorno al Parque de la Naturaleza de Cabarceno, causante de las incidencias.



*Figura 12: Zona geográfica estudiada incluyendo los viales objeto del estudio (Fuente: openstreetmaps).*

En esta otra imagen se muestra de forma más localizada el acceso al parque por el pueblo de Obregón, acceso principal en la actualidad con 4 cabinas de acceso.

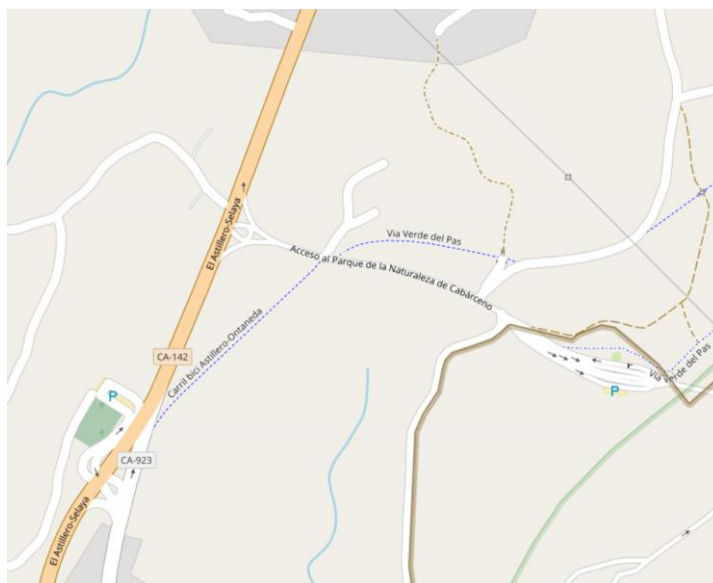


Figura 13: Acceso por el pueblo de Obregón al Parque de la Naturaleza de Cabárceno (Fuente: *openstreetmaps*).

En esta otra imagen mostramos también de forma más detallada el acceso al parque por el pueblo de Cabárceno. En la actualidad se está realizando la ampliación de este acceso de 2 cabinas (actualmente) a 4 cabinas, para dotarle de una mayor capacidad.

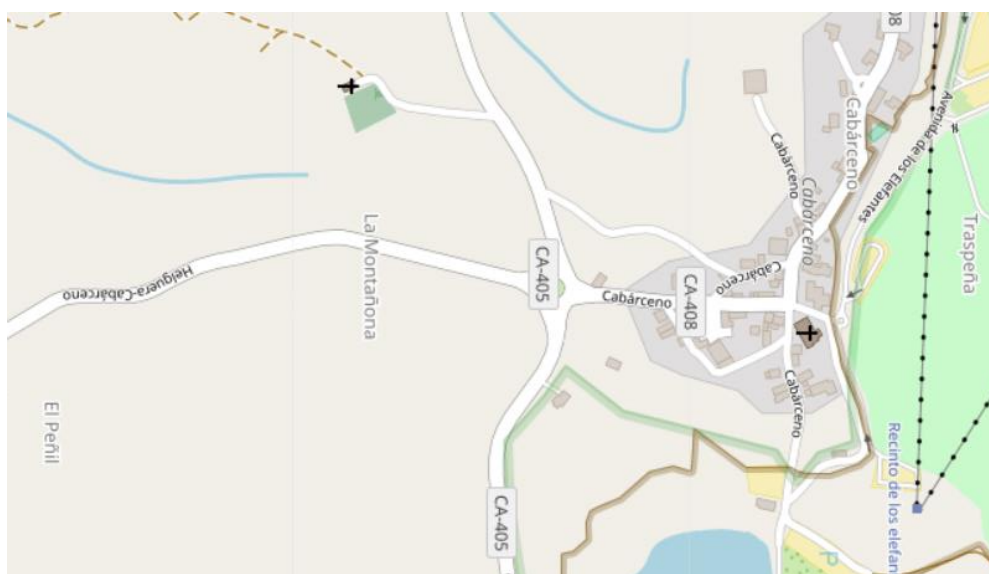


Figura 14: Acceso por el pueblo de Cabárceno al Parque de la Naturaleza de Cabárceno (Fuente: *openstreetmaps*).

La red objeto de estudio comprende los accesos al Parque de la Naturaleza de Cabárceno tanto por el pueblo de Obregón, como por el pueblo de Cabárceno, así como las carreteras autonómicas y nacionales que proporcionan el flujo de tráfico a estos accesos. Para la modelización de la demanda, se cuenta con una matriz de viajes por Origen/Destino previamente calibrada.

La red viaria que se ha tenido en cuenta para el modelo tiene la siguiente composición jerárquica:

- Autopista:
  - A-8
  - A-67
- Autovías:
  - S-10
  - S-30
- Nacionales:
  - N-623
  - N-634
  - N-635
- Autonómicas:
  - CA-141
  - CA-142
  - CA-143
  - CA-144
  - CA-145
  - CA-160
  - CA-405
  - CA-406
  - CA-407
  - CA-408
  - CA-409

- CA-614
- CA-616
- CA-923
- Algunas otras vías de interés para el estudio:
  - Acceso al Parque de la Naturaleza de Cabárceno
  - Barrio Castanedo
  - Barrio Villanueva
  - Barrio la Iglesia
  - Etc.

### **Modelización de la demanda de transporte. Calibración macroscópica.**

Aunque nos encontramos ante un modelo de simulación microscópica, empleamos la simulación macroscópica concretando así la demanda de transporte total, sin distinguir entre vehículos pesados y ligeros, que responde a la situación real a estudiar. Para esto se utiliza el software TSS Aimsun ajustando la matriz preexistente con el fin de conseguir una matriz para una simulación macroscópica con valores de flujo aceptables. Se precisa para ello de datos de aforos representativos dentro del periodo de tiempo a estudiar. Estos datos se obtienen del Mapa de Tráfico del Ministerio de Fomento y del plan de aforos de Cantabria, Consejería de Obras Públicas.

Se ha escogido como escenario un día de máxima ocupación en el parque entre las 10h00 y las 14h00 coincidiendo esta franja horaria con el horario de entrada de los usuarios al parque. En un día de máxima ocupación en el parque, los accesos se colapsan generando colas, con lo cual se puede realizar el diseño de las estrategias de reenrutamiento. Los datos de aforo introducidos en el modelo son representativos del tráfico que circula un día de máxima ocupación en la franja horaria establecida.

A Continuación se enumeran los centroides establecidos en la red, los cuales son atractores y generadores de vehículos:

- S-10
- S-30
- Astillero-Guarnizo



- Marina
- Bilbao
- Solares
- Liérganes
- Penagos
- Torrelavega
- Obregón y Villaescusa
- N-623

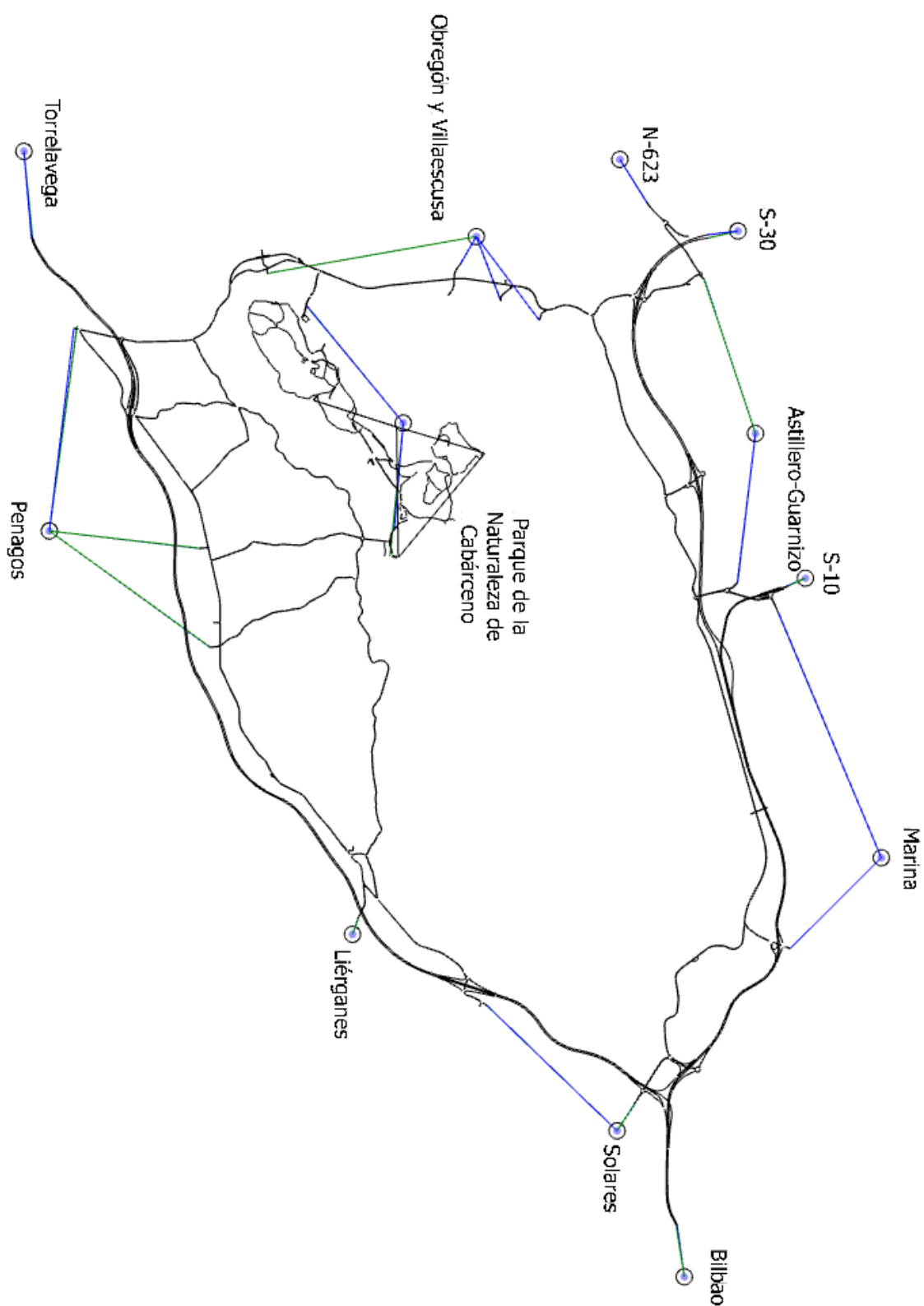


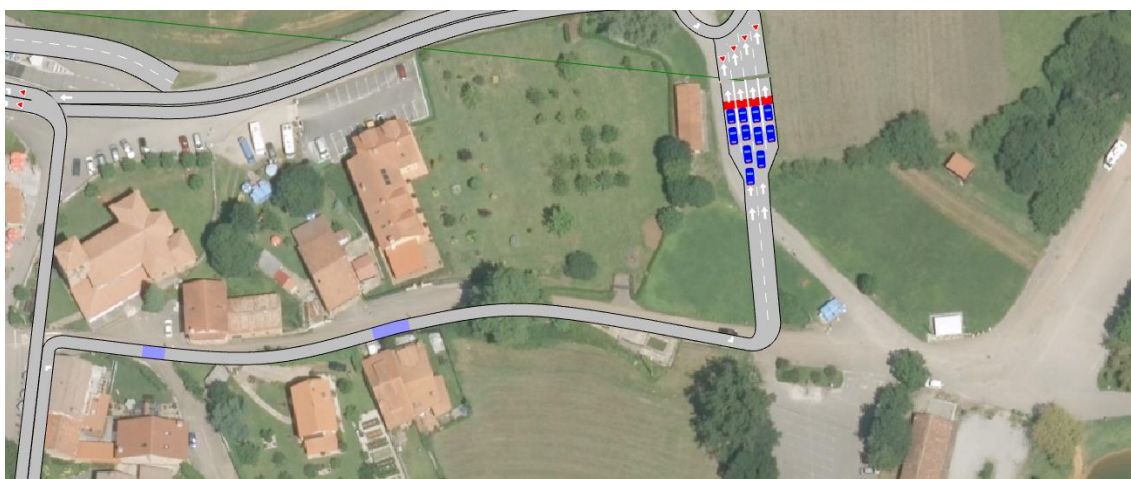
Figura 15: Red de estudio representada en Aimsun.

En la siguiente imagen se refleja a tiempo real en la simulación de la situación original, la demanda de tráfico que sufre el acceso por Obregón en hora punta.



*Figura 16: Demanda de tráfico en el acceso de Obregón a las 12h03.*

A continuación se representa también la demanda que sufre el acceso de Cabárceno también en la situación original, en hora punta.



*Figura 17: Demanda de tráfico en el acceso de Cabárceno a las 12h03.*

## 5. PROCESO DE DISEÑO DE LAS ESTRATEGIAS DE REENRUTAMIENTO

El diseño de las estrategias de reenrutamiento sigue los siguientes pasos:

1. Caracterización del tráfico en la situación original. Caracterización de los valores normales de ocupación en los detectores para el algoritmo de detección.
2. Caracterización del flujo en el área a estudiar. Caracterización de los valores de ocupación producidos por la incidencia en los detectores para el algoritmo de detección.
3. Caracterización del escenario en el estado original, con incidencia pero sin gestión.
4. Análisis pormenorizados de las rutas que siguen los vehículos que acceden al parque.
5. Generación de forma progresiva de distintas decisiones que afecten a los vehículos en base al análisis del punto anterior. A partir de la generación de nuevas decisiones se crean nuevas estrategias teniendo en cuenta:
  - Capacidad de la estrategia para disminuir la congestión en la zona de colapso.
  - Capacidad de la estrategia para soportar la demanda de tráfico en la franja horaria estudiada. Esto se observa mediante la variación de los índices de cola virtual y de flujo al finalizar la simulación, debiéndose observar una gran mejoría (disminución) de estos valores. Cuanto más cerca estén de ser nulos estos índices, mejor será la respuesta de la estrategia.
  - La estrategia no provoca el colapso o una importante congestión en otras zonas de la red.

Cada nueva estrategia alternativa se comparará con las anteriores con el fin de determinar si su aportación es positiva o negativa respecto de la situación original y las demás alternativas.

Finalmente hemos obtenido una serie de datos a partir de los cuales comparamos la situación original, sin políticas de gestión, y las estrategias estudiadas.

### Situación original

La situación inicial nos sirve de referencia para realizar las diferentes estrategias. Los parámetros que se tienen en cuenta para la comparación y los valores de la situación original se presentan a continuación:

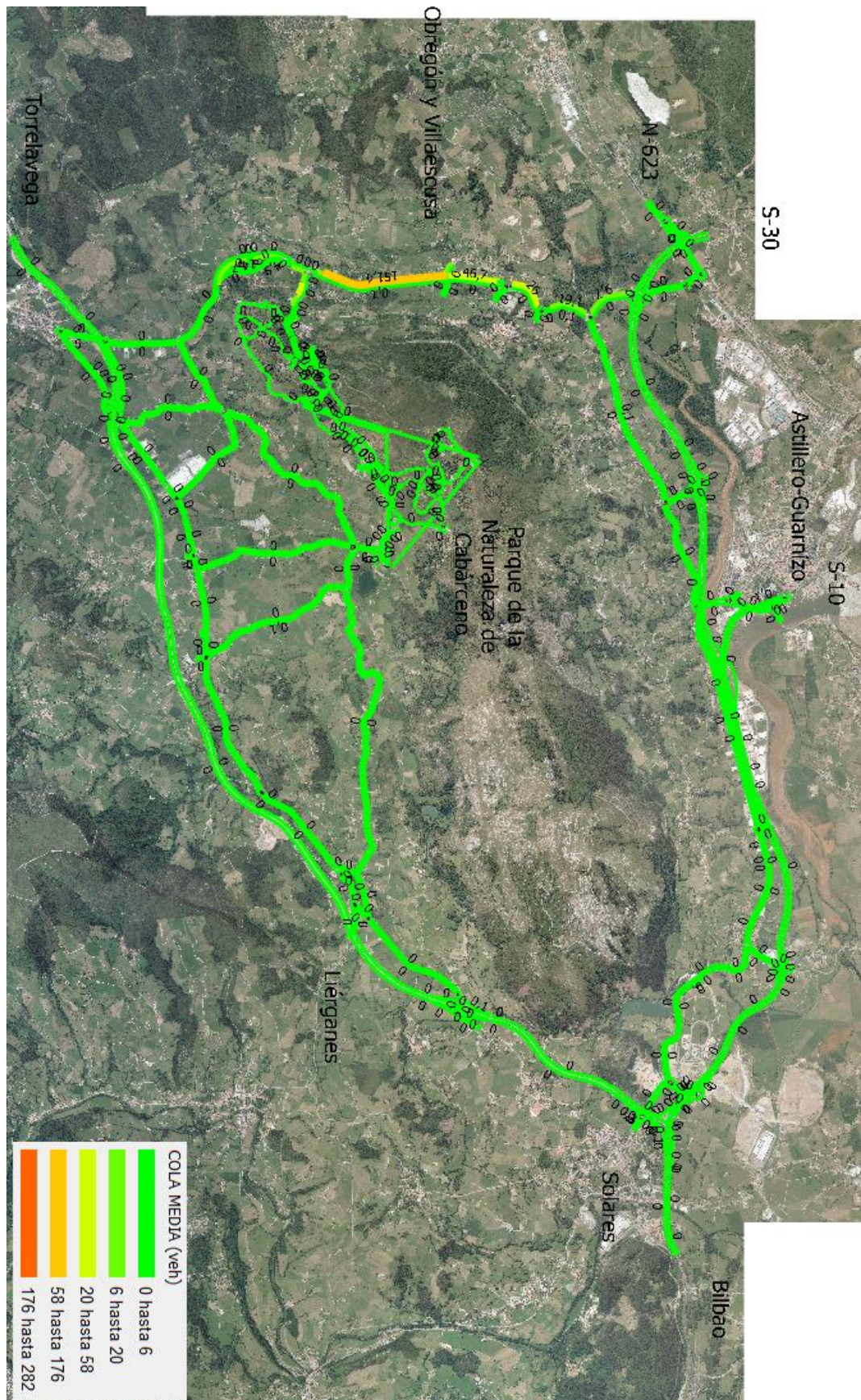
*Tabla 3: Series temporales para el escenario en la situación original*

| Serie Temporal           | Valor   | Unidades |
|--------------------------|---------|----------|
| Cola Media - Todo        | 514,82  | veh      |
| Cola Media - Coche       | 514,37  | veh      |
| Cola Media - Bus         | 0,45    | veh      |
| Densidad - Todo          | 5,07    | veh/km   |
| Densidad - Coche         | 5,07    | veh/km   |
| Densidad - Bus           | 0       | veh/km   |
| Tiempo de Demora - Todo  | 20,5    | seg/km   |
| Tiempo de Demora - Coche | 20,5    | seg/km   |
| Tiempo de Demora - Bus   | 56,98   | seg/km   |
| Tiempo de Viaje - Todo   | 58,11   | seg/km   |
| Tiempo de Viaje - Coche  | 58,1    | seg/km   |
| Tiempo de Viaje - Bus    | 130,88  | seg/km   |
| Tiempo total de viaje    | 4641,01 | h        |

En los siguientes gráficos vamos a ver representados los siguientes índices:

#### Cola Media

En la siguiente imagen se ve reflejado el índice de cola media a lo largo de toda la red definiendo el número de vehículos que se acumulan en cada sección de la red calculado en la franja horaria preestablecida.



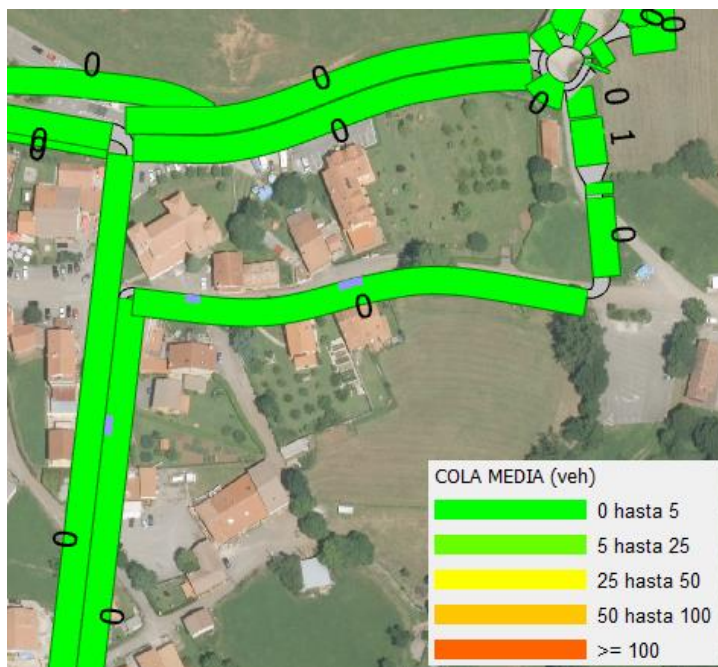
A continuación observamos más detalladamente los accesos al Parque de la Naturaleza de Cabárceno.

Podemos observar en la imagen que en la carretera CA-142 a la altura de los accesos de Obregón, se forma bastante cola a lo largo de toda la simulación por lo que esto interfiere en el viaje de los usuarios de esta carretera que no tienen como destino final el Parque de la Naturaleza de Cabárceno.



- **Cabárceno**

En el acceso por Cabárceno la cola es prácticamente nula por lo que el acceso es fluido.



*Figura 20: Cola Media, acceso Cabárceno.*

### **Cola Máxima**

Este índice representa el número máximo de vehículos que se acumulan al mismo tiempo en cada sección de la red.

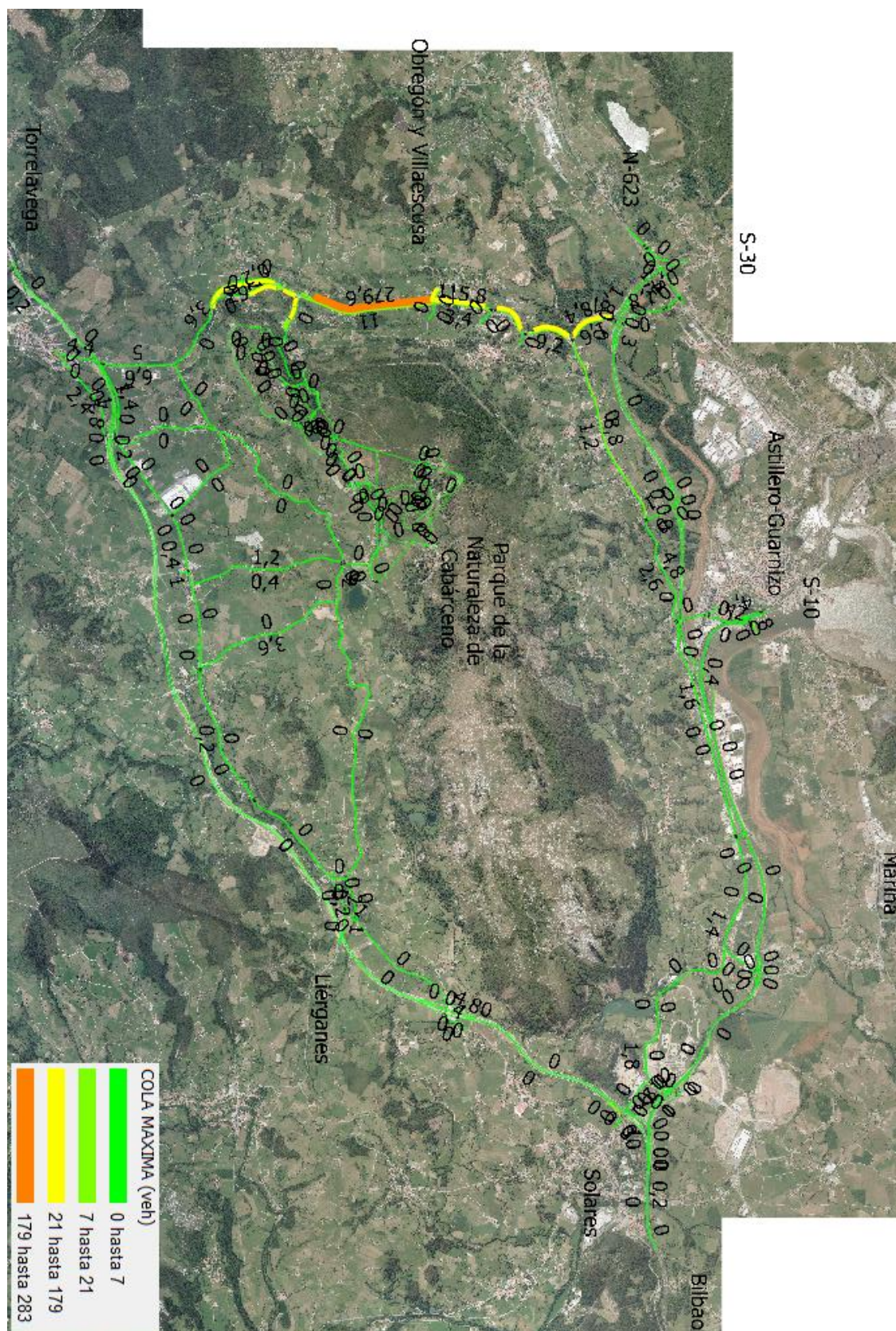
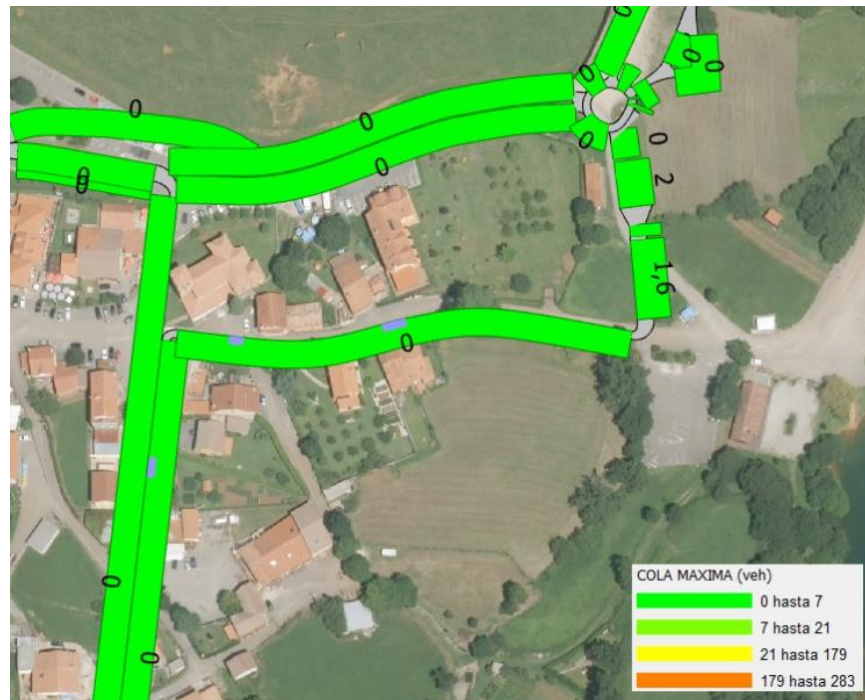


Figura 21: Cola máxima a lo largo de toda la red entre las 10h00 y las 14h00.



- **Cabárceno**

Se observa que en el acceso por Cabárceno el índice de Cola Máxima es prácticamente nulo.



*Figura 23: Cola Máxima, acceso Cabárceno.*

### **Densidad simulada**

En este otro gráfico se representa para cada sección de la red el número de vehículos por kilómetro que absorbe dentro de la franja horaria establecida.

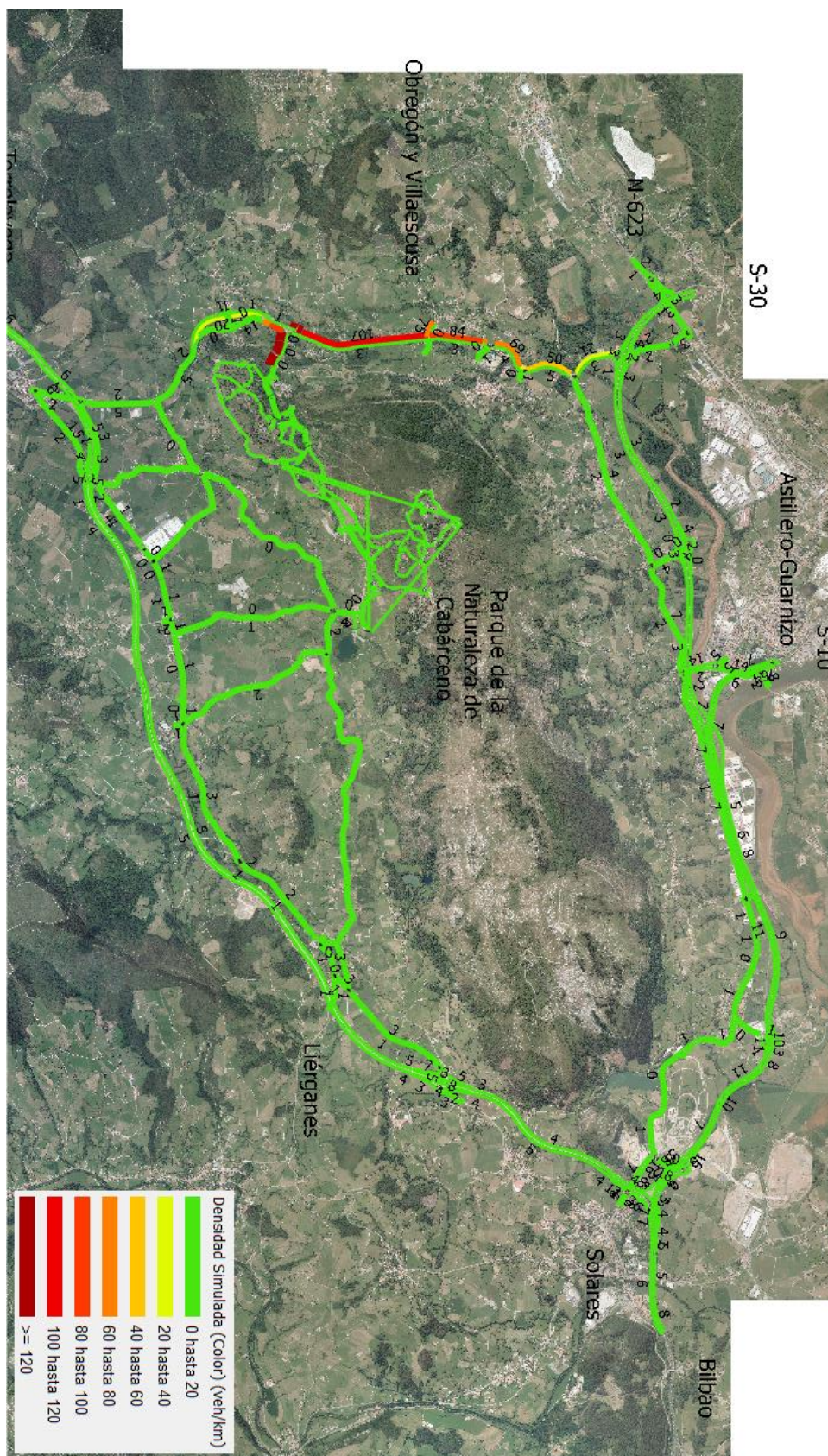
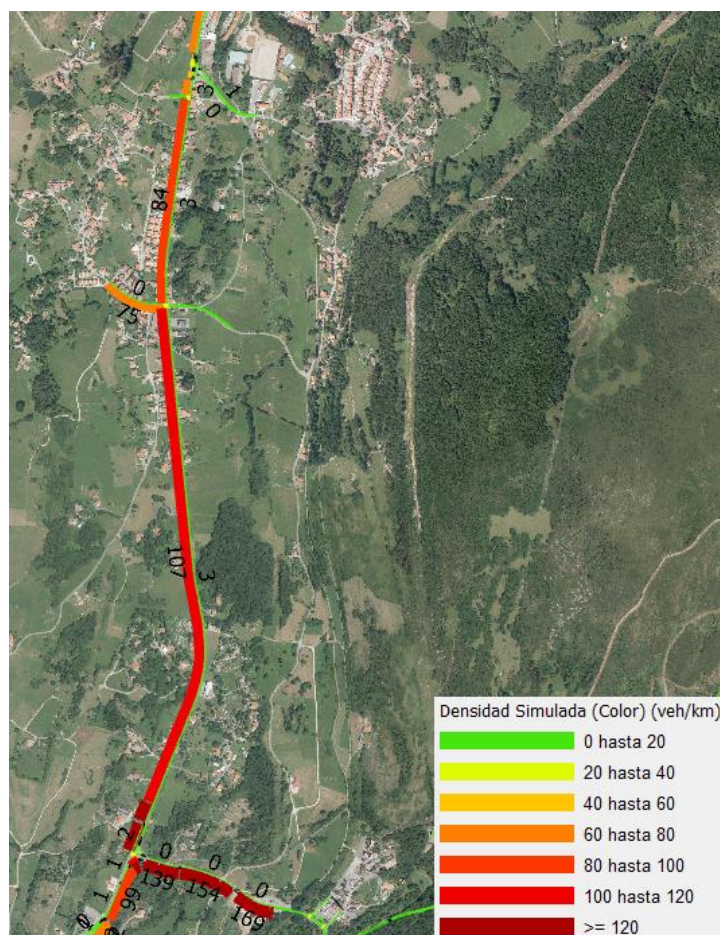


Figura 24: Densidad simulada a lo largo de toda la red de estudio entre las 10h00 y las 14h00.

A continuación observamos más detalladamente los accesos al Parque de la Naturaleza de Cabárceno.

- **Obregón**

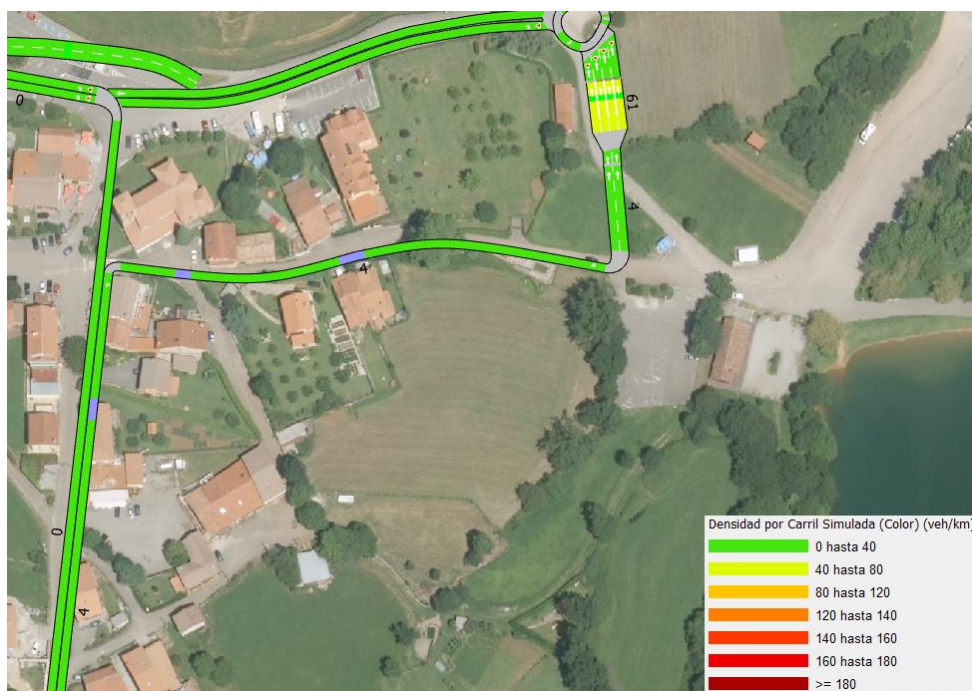
Observamos que en el tramo de la CA-142 con acceso al Parque de la Naturaleza de Cabárceno a través de la localidad de Obregón se presenta una alta densidad de vehículos por kilómetro, producido por las colas de acceso al parque.



*Figura 25: Densidad simulada, acceso Obregón.*

- **Cabárceno**

Observamos que en el acceso de Cabárceno el índice de Densidad Simulada sigue las mismas directrices que los índices de Cola Media y Cola Máxima dado que como vamos observando, actualmente es el acceso con menor demanda de tráfico.



*Figura 26: Densidad simulada, acceso de Cabárceno.*

### **Tiempo de Demora**

En la siguiente imagen se representa el Tiempo de Demora a lo largo de la red, indicando el tiempo que tarda un vehículo en recorrer cada una de las secciones. Observamos como en zonas de tráfico fluido como son las autopistas A-67 y A-8 el Tiempo de Demora es prácticamente nulo, en cambio en las zonas estudiadas ya se registran tiempos de demora bastante significativos.

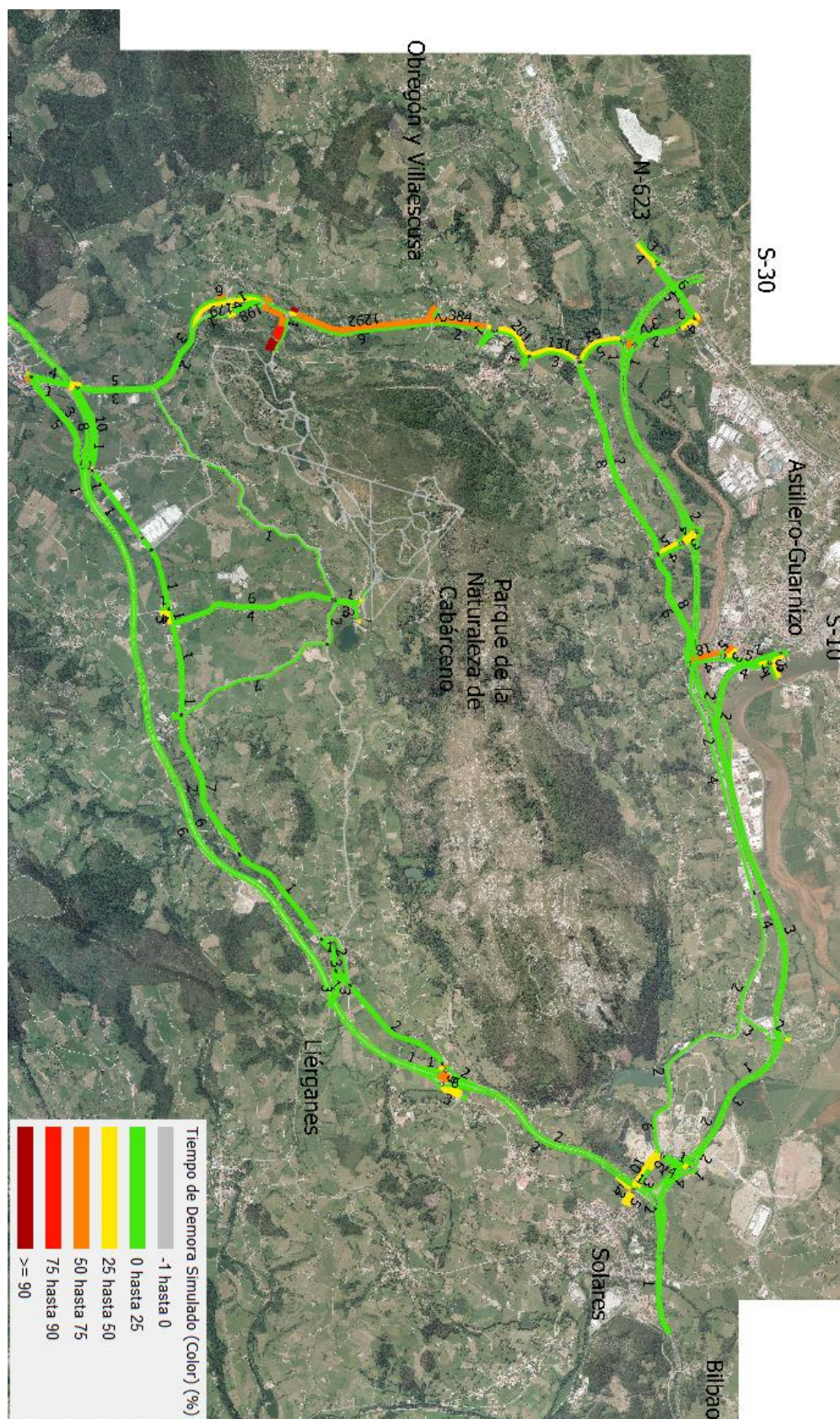
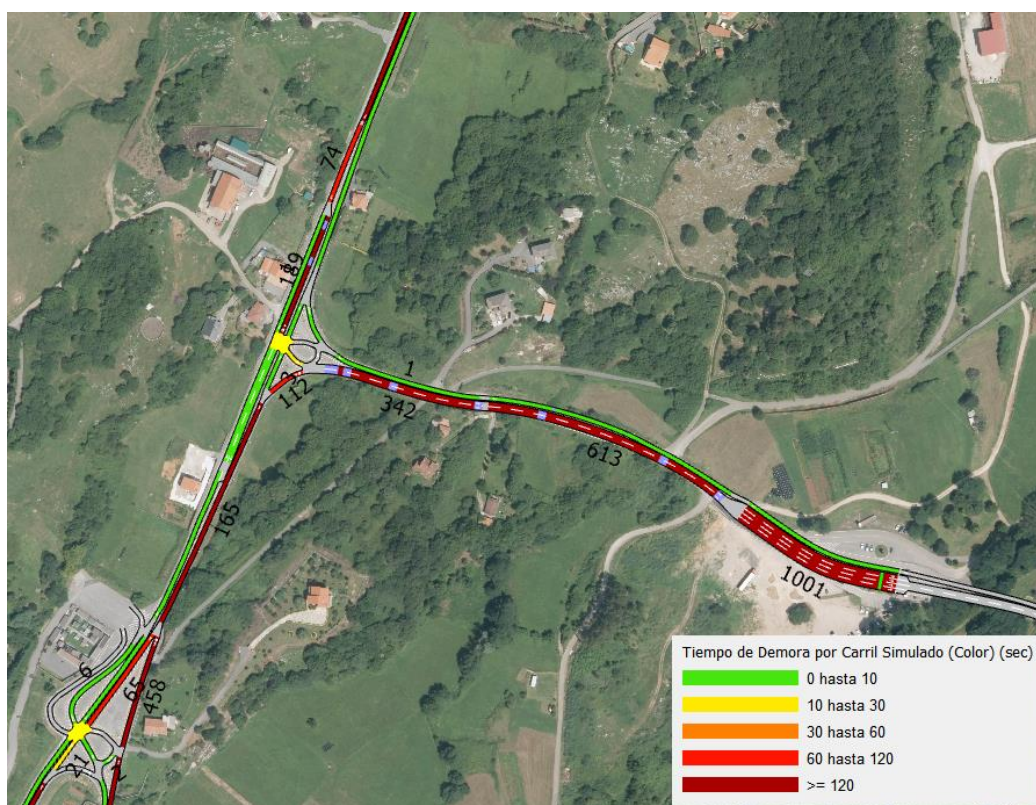


Figura 27: Tiempo de Demora a lo largo de toda la red de estudio entre las 10h00 y las 14h00.

A continuación observamos más detalladamente los accesos al Parque de la Naturaleza de Cabárceno.

- **Obregón**

Como en los anteriores índices, en el acceso de Obregón se presenta la misma problemática con el índice de Tiempo de Demora, podemos observar un Tiempo de Demora bastante alto.



*Figura 28: Tiempo de Demora, acceso de Obregón.*

En este caso se muestra también la intersección entre la carretera CA-142 y la Autovía S-30 para hacer ver hasta que altura de la red viaria podemos observar tiempos de demora altos en un día de máxima ocupación en Cabárceno.



Figura 29: Tiempo de Demora, intersección CA-142 con S-30.

- Cabárceno

Observamos que el Tiempo de Demora en el acceso de Cabárceno como era esperado es muy bajo, llegando a ser nulo.



Figura 30: Tiempo de Demora, acceso Cabárceno.



### **Estrategia “Desvíos Alternos”**

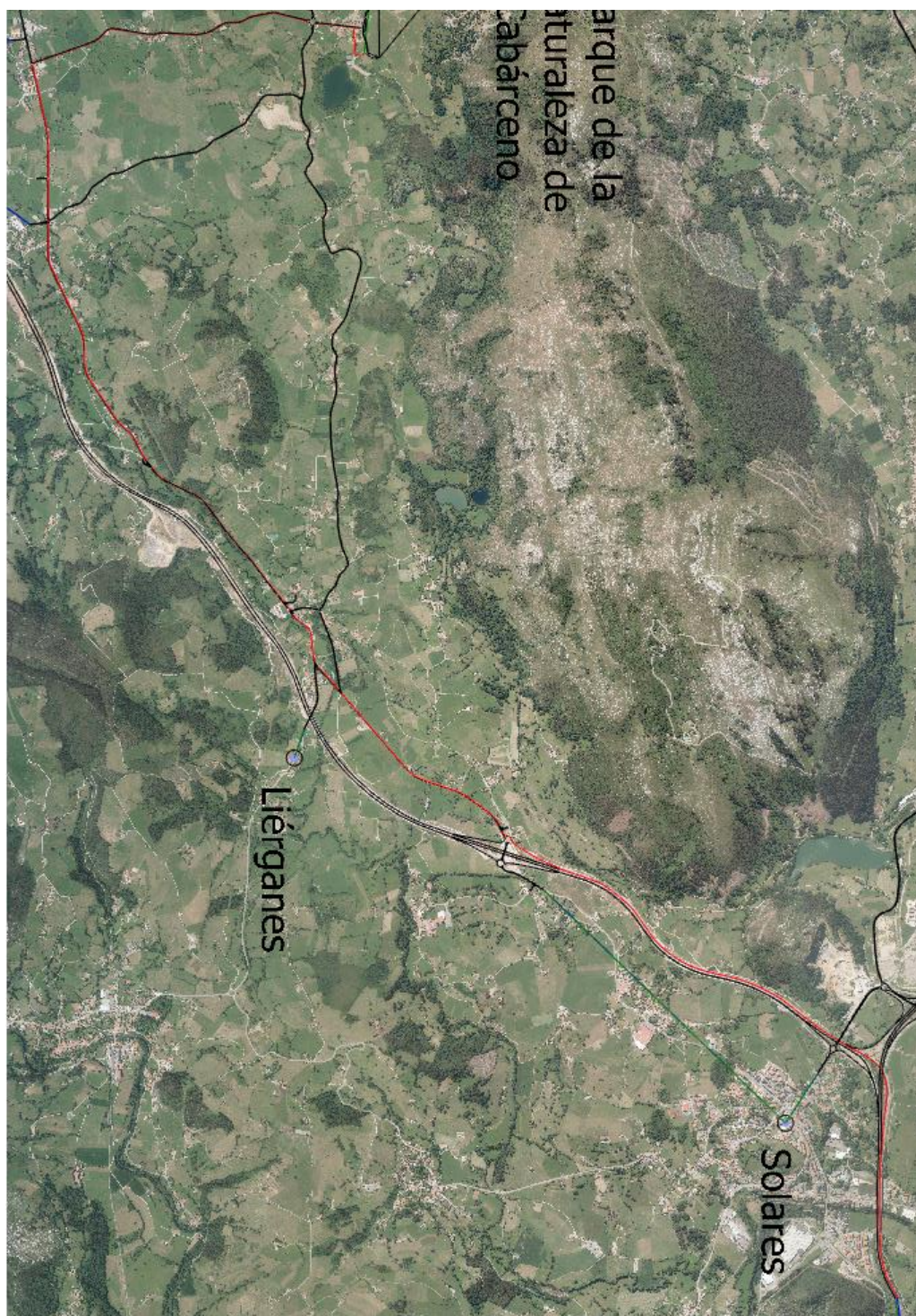
Esta estrategia se llama así dado que las políticas de gestión por las cuales se define, tratan de redirigir el tráfico a través de rutas alternativas (Subcaminos) a medida que los detectores van registrando ocupaciones superiores o inferiores a la preestablecidas.

#### **Rutas alternativas (Subcaminos)**

Cuando una política es activada se emiten a través de señales VMS mensajes informativos a lo largo de la red para que los vehículos tomen rutas alternativas descongestionando los accesos de Cabárceno. Las rutas alternativas establecidas en esta estrategia y que se hará alusión a ellas más adelante en la explicación de las políticas utilizadas, se presentan a continuación.

- **Bilbao – Acceso Cabárceno**

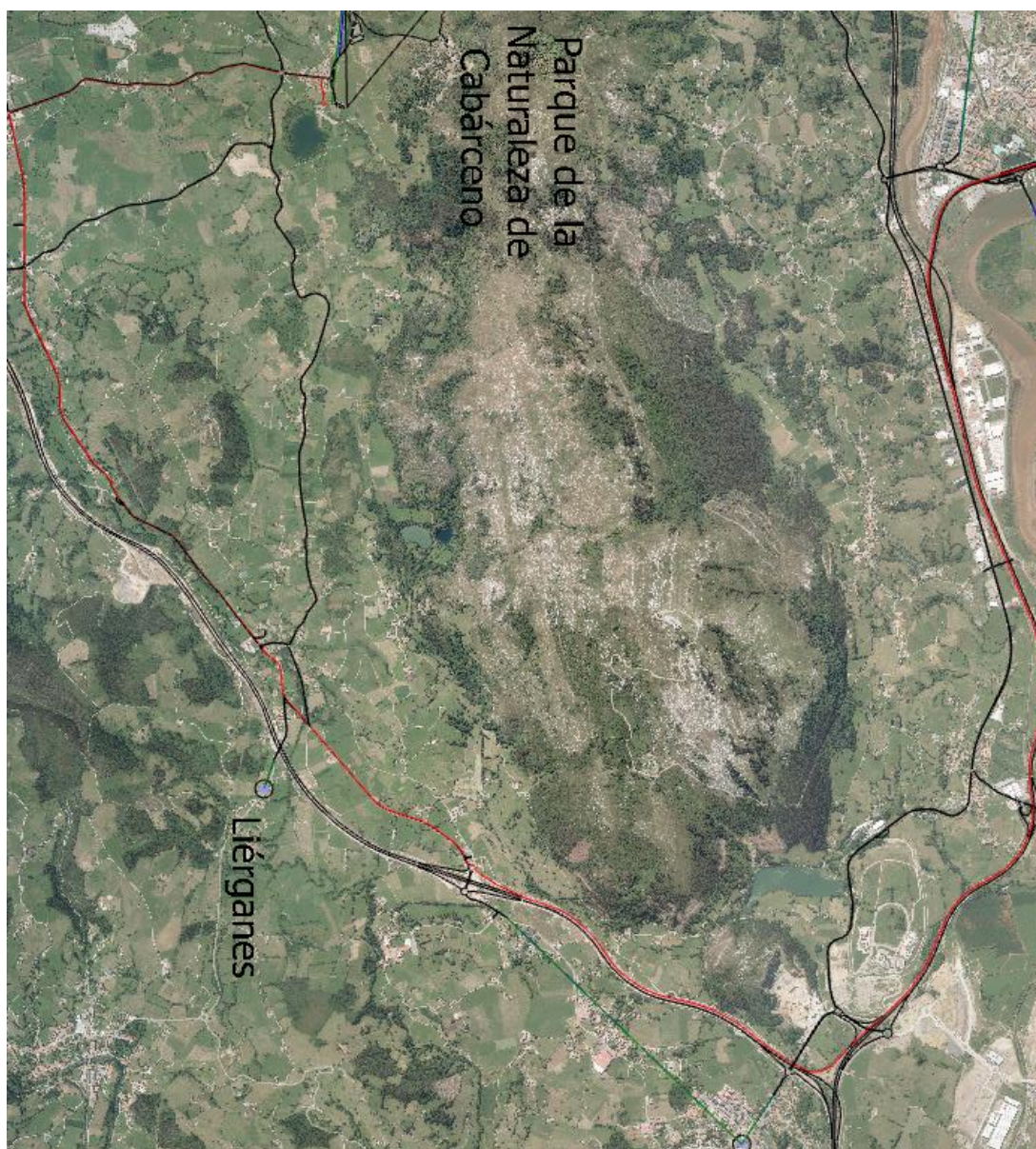
Los vehículos procedentes de la autopista A-67 dispondrán de la ruta alternativa mostrada a continuación a través de la Autopista A-8.



*Figura 31: Ruta alternativa Bilbao – Acceso Cabárceno.*

- **S-10 – Acceso Cabárceno**

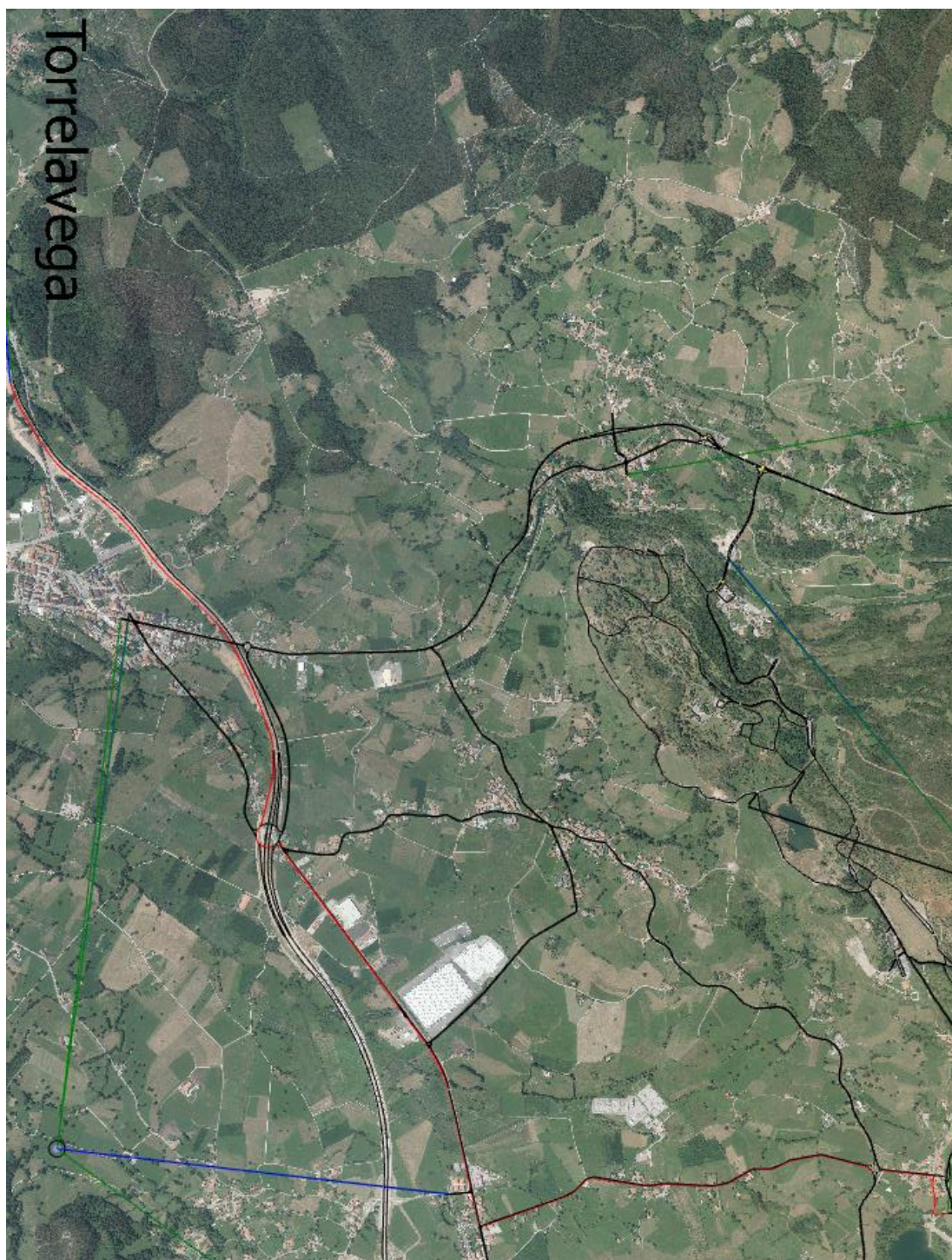
Los vehículos procedentes de la autovía S-10 dispondrán de la ruta alternativa pasando por la localidad de Solares y a través de las autopista A-8 mostrada a continuación.



*Figura 32: Ruta alternativa S-10 – Acceso Cabárceno.*

- **Torrelavega – Acceso Cabárceno**

Los vehículos procedentes de Torrelavega por la autopista A-8 dispondrán de la ruta alternativa mostrada a continuación.



*Figura 33: Ruta alternativa Torrelavega – Acceso Cabárceno.*

- **Cabárceno – Acceso Obregón**

Esta ruta alternativa como se hablará más adelante es de menor uso que las anteriores y ante casos de congestión en el acceso de Cabárceno.



*Figura 34: Ruta alternativa Cabárceno – Acceso Obregón.*

### Detectores

Para poder llevar a cabo esta estrategia se ha necesitado una previa colocación de detectores en la red viaria que actúan como desencadenantes de las distintas políticas que forman parte de esta estrategia. A continuación podemos observar la situación de dichos detectores.

- **Obregón**

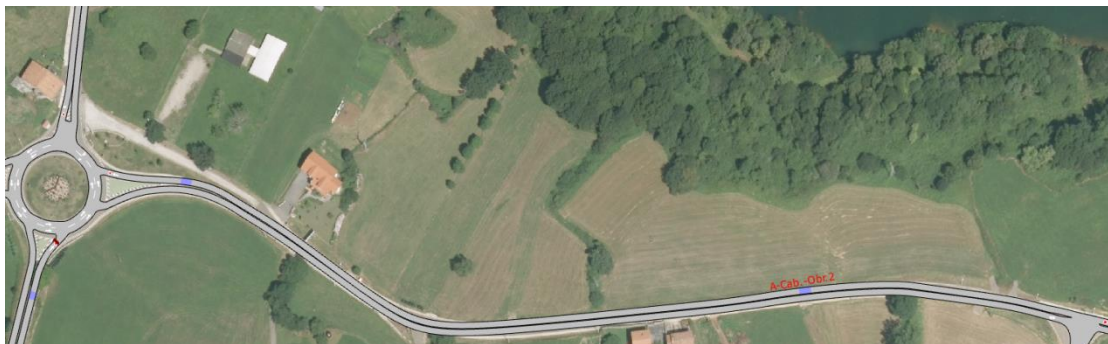


*Figura 35: Detectores en el acceso de Obregón.*

- **Cabárceno**



*Figura 36: Detectores en el acceso de Cabárceno.*



*Figura 37: Detectores en la carretera CA-405.*



*Figura 38: Detector en la carretera CA-408.*

### **Políticas de gestión del tráfico**

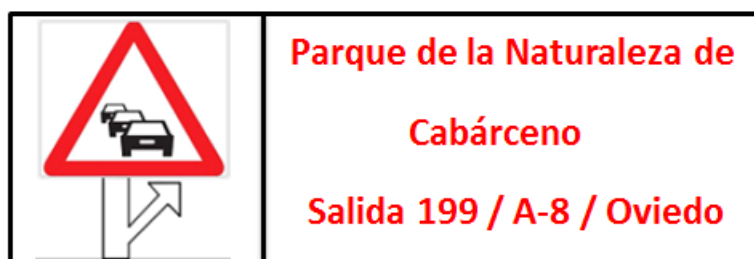
Los datos recogidos en tiempo real por los detectores, que actúan como desencadenantes de las políticas de gestión del tráfico, son analizados automáticamente para activar o no dichas políticas.

A continuación se enumeran las políticas establecidas en la estrategia que hemos creado para la gestión del colapso de tráfico en los accesos al Parque de la Naturaleza de Cabárceno:

## 1. Política Bilbao – Cabárceno.

- **Política activada**

En el instante que el detector A-C.Carril situado en el acceso al parque por Obregón detecta una presencia continua de vehículos sobre él, activa el desencadenante que da comienzo a la política Bilbao – Cabárceno enviando un mensaje informativo mediante VMS, indicando a los usuarios de la red con destino el Parque de la Naturaleza de Cabárceno que tomen la salida número 199 de la autopista A-67 dirección Torrelavega/Oviedo para posteriormente acceder al parque por el acceso de Cabárceno (Subcamino Bilbao – Acceso Cabárceno).



*Figura 39: Panel VMS en la autovía A-67 con mensaje informativo de la política de gestión establecida.*

- **Política finalizada**

En el instante que el detector D-Corte Carril detecta ocupación continua sobre él, se desactiva la política Bilbao – Cabárceno volviendo los coches a su ruta original.

## 2. Política S-10 – Cabárceno.

- **Política activada**

En el instante que el detector llamado A-Desvío(S-10) situado en el acceso al parque por Obregón detecta presencia continua sobre él, activa el desencadenante que da comienzo a la política S-10 – Cabárceno enviando un mensaje informativo mediante VMS, indicando a los usuarios de la red procedentes de la autovía S-10 con

destino el Parque de la Naturaleza de Cabárceno que sigan dirección Bilbao para posteriormente tomar la salida 13B de la autovía A-67 dirección Torrelavega/Oviedo para posteriormente acceder al parque por el acceso de Cabárceno (Subcamino S-10 – Cabárceno).

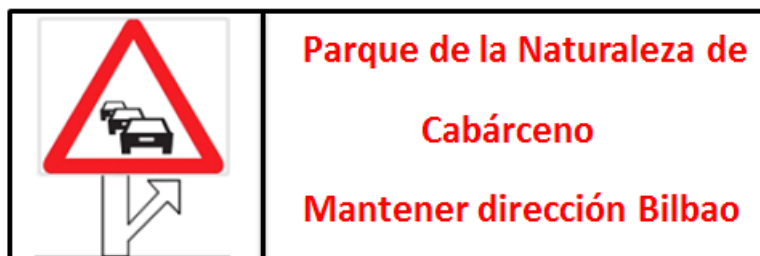


Figura 40: Panel VMS en la autovía S-10 con mensaje informativo de la política de gestión establecida.

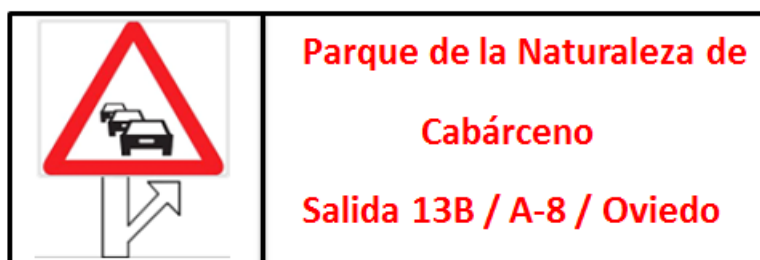


Figura 41: Panel VMS en la autovía A-67 con mensaje informativo de la política de gestión establecida.

- **Política finalizada**

En el instante que el detector D-Desvíos(S-10) detecta que la cola de vehículos ha disminuido aguas arriba de éste, la política se desactiva volviendo así los vehículos a tomar la ruta original.

### **3. Política Cabárceno – Obregón**

- **Política activada**

Con las anteriores políticas se ha conseguido descongestionar de forma sustancial el acceso por Obregón y con ello se ha aumentado el tráfico a soportar por el acceso de Cabárceno. Esta política es la única que precisa de detectores en ambos accesos del parque dado que trabaja con las ocupaciones de ambos, cuando el acceso a Obregón queda menos saturado se desvía una cantidad de vehículos en el acceso de Cabárceno admisible en el acceso de Obregón. Para ello utilizamos el detector A-Cab.Obr.1, cuando detecta que ya no hay presencia de vehículos sobre él y a su vez, el detector A-Cab.Obr.2 detecta presencia continua sobre él, activándose la política Cabárceno-Obregón.

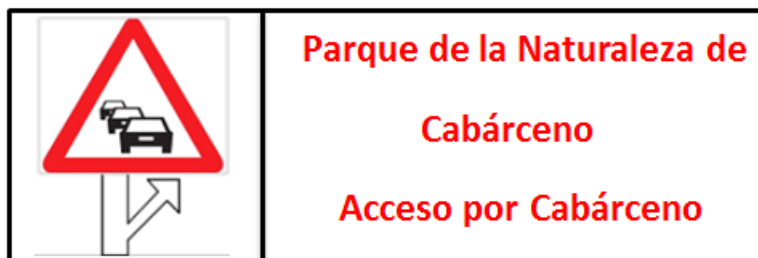
- **Política finalizada**

En el instante que el detector D-Cab.Obr. detecta que la cola de vehículos ha disminuido aguas arriba de éste, se desactiva la política Cabárceno – Obregón.

### **4. Política Torrelavega – Cabárceno**

Dada la reciente finalización del nuevo tramo de la autopista A-8 entre Torrelavega y Solares, con esta política se pretende que el 100% del tráfico procedente de Torrelavega con destino el Parque de la Naturaleza de Cabárceno acceda por el acceso

de Cabárceno. Esta política no precisa de detectores ya que es estática, lo que quiere decir que está activada permanentemente durante la simulación.



*Figura 42: Panel VMS en la autovía A-8 con mensaje informativo de la política de gestión establecida.*

## **Resultados**

Una vez finalizada la simulación se procede al análisis de los resultados obtenidos.

*Tabla 4: Series temporales para el escenario en la situación original*

| Serie Temporal           | Valor   | Unidades |
|--------------------------|---------|----------|
| Cola Media - Todo        | 233,41  | veh      |
| Cola Media - Coche       | 233,35  | veh      |
| Cola Media - Bus         | 0,06    | veh      |
| Densidad - Todo          | 4,05    | veh/km   |
| Densidad - Coche         | 4,05    | veh/km   |
| Densidad - Bus           | 0       | veh/km   |
| Tiempo de Demora - Todo  | 15,83   | seg/km   |
| Tiempo de Demora - Coche | 15,83   | seg/km   |
| Tiempo de Demora - Bus   | 13,94   | seg/km   |
| Tiempo de Viaje - Todo   | 53,62   | seg/km   |
| Tiempo de Viaje - Coche  | 53,61   | seg/km   |
| Tiempo de Viaje - Bus    | 85,87   | seg/km   |
| Tiempo total de viaje    | 4301,16 | h        |

Estos datos reflejan a nivel general de toda la red viaria estudiada, en este estudio solo nos vamos a centrar en los datos recogidos en los accesos del Parque de la Naturaleza de Cabárceno, pero a partir de estos datos ya podemos observar que aplicando esta estrategia se mejora la situación inicial ya que todos los valores presentan mejoría.

### ***Cola Media***

Se observa que en toda la red la cola media es prácticamente nula presentando por ello una gran mejoría.

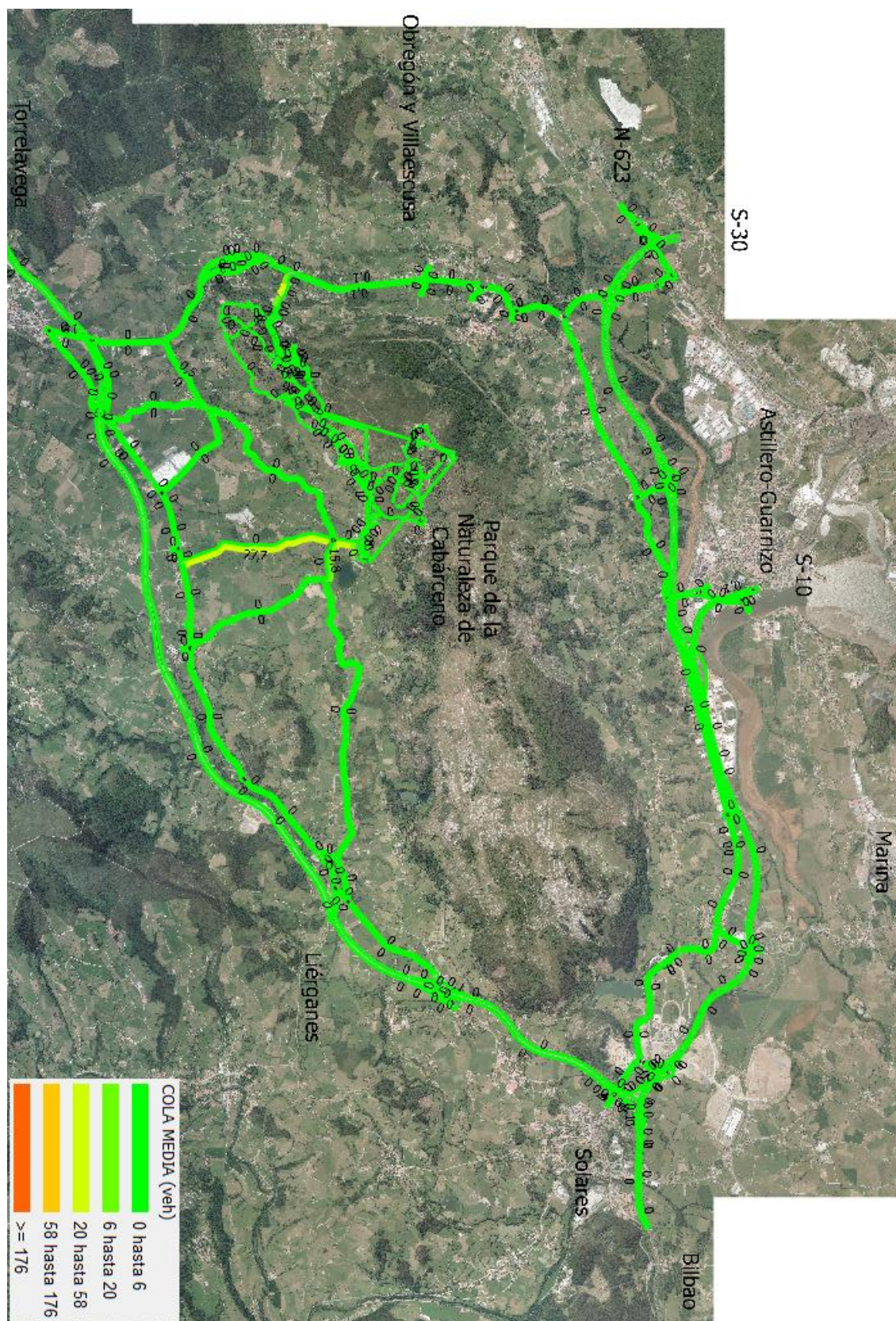
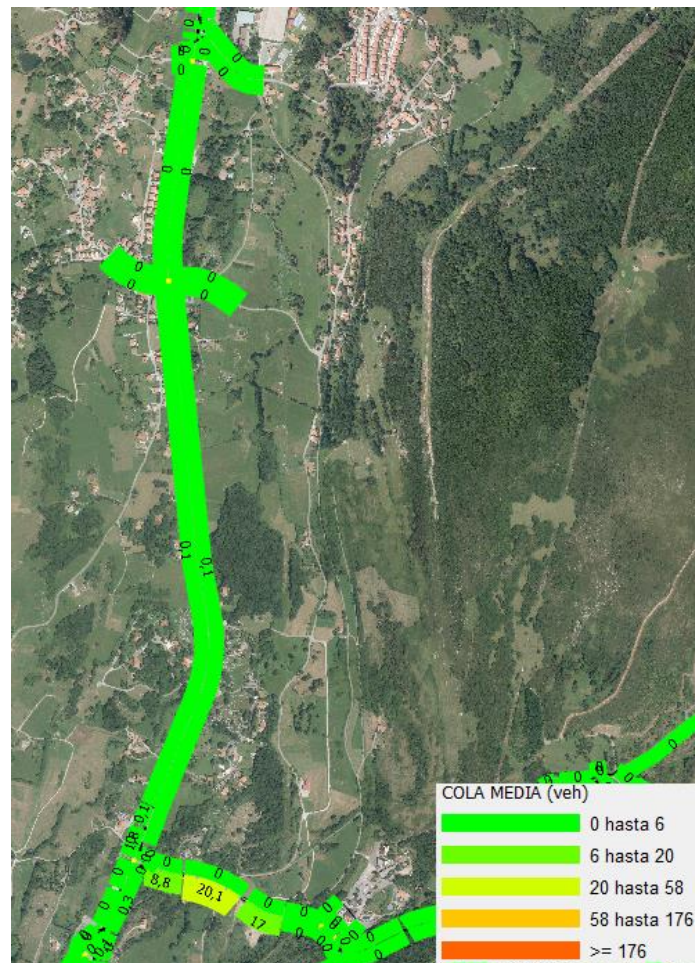


Figura 43: Cola Media a lo largo de toda la red de estudio entre las 10h00 y las 14h00

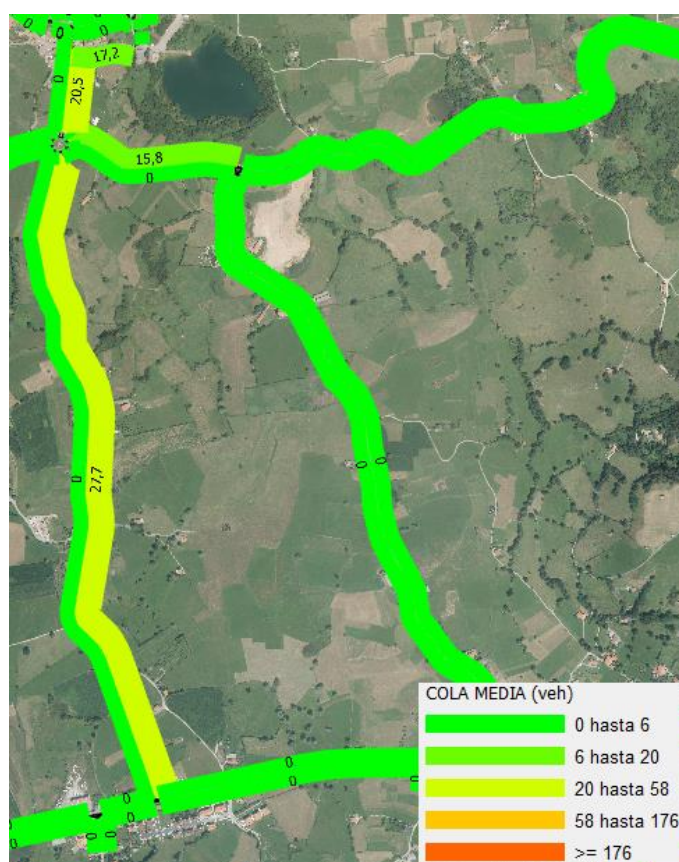
Centrándonos en la zona objetivo de este estudio, en el acceso de Obregón se presenta una gran mejoría respecto al índice de Cola Media reduciéndose esta casi al mínimo.



*Figura 44: Cola Media, acceso Obregón.*

- **Cabárceno**

La mejora en la Cola Media en el acceso de Obregón se debe a las políticas establecidas y con ello la Cola Media en el acceso de Cabárceno sufre un ligero aumento.



*Figura 45: Cola Media, acceso Cabárceno.*

### **Cola Máxima**

Este índice presenta una gran mejoría dado que ya no presentan altos valores de Cola Máxima en ninguna sección de la red.

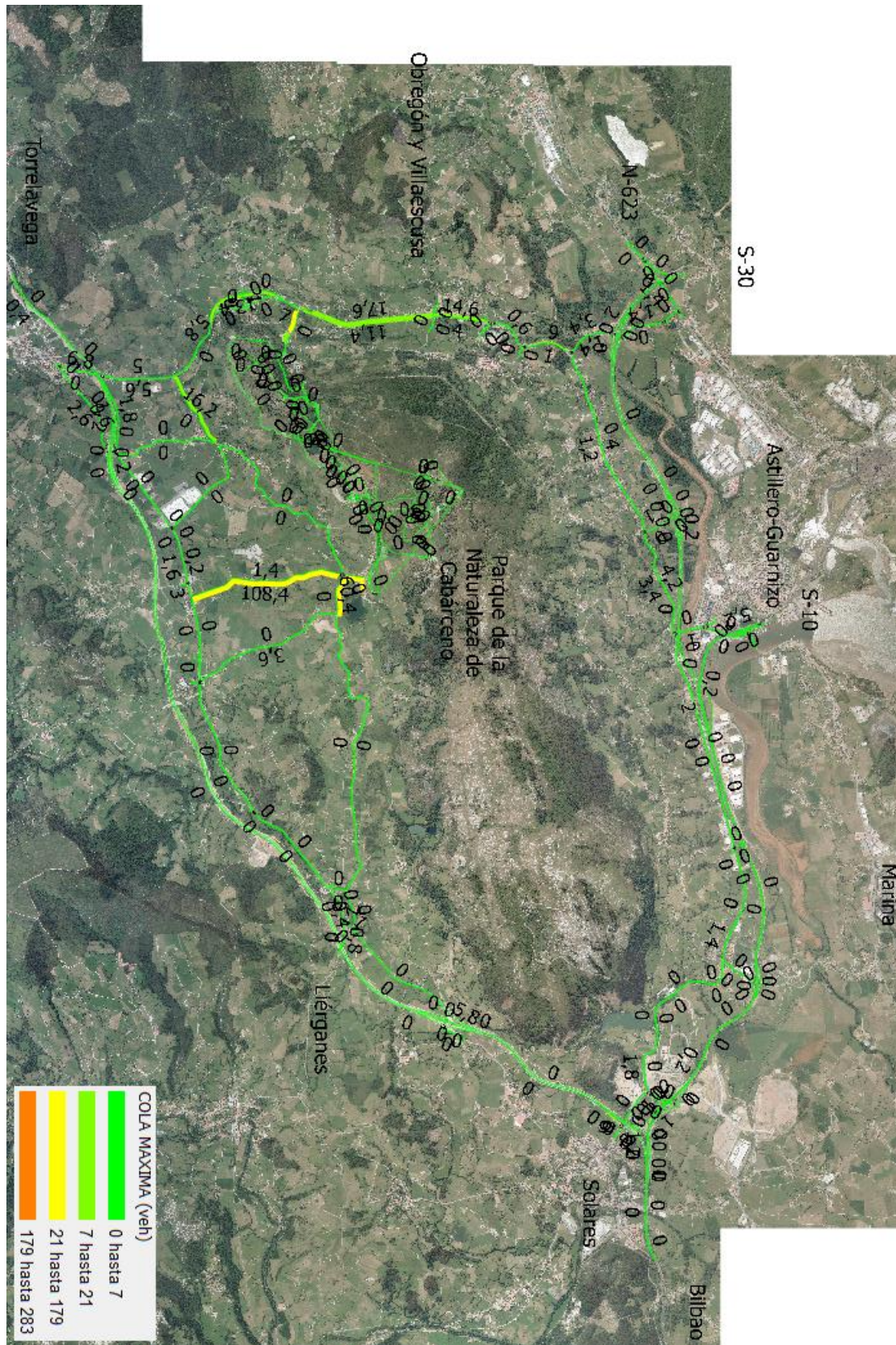
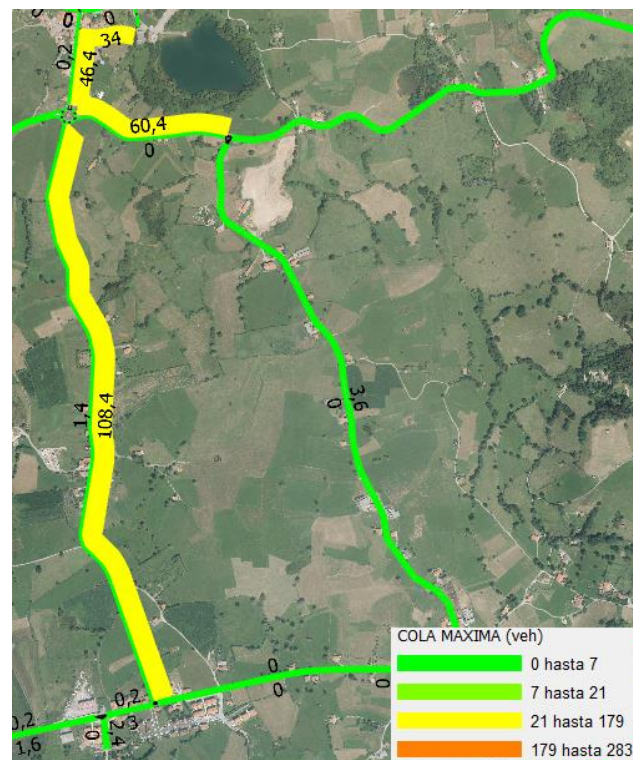


Figura 46: Cola Máxima a lo largo de toda la red de estudio entre las 10h00 y las 14h00.



- **Cabárceno**

De nuevo observamos el aumento de los valores sin llegar a ser alarmantes del índice de Cola Máxima en el acceso de Cabárceno debido al aumento de tráfico a soportar a causa de las políticas de gestión del tráfico.



*Figura 48: Cola Máxima, acceso Cabárceno.*

### ***Densidad Simulada***

A vista de la red en general, se apreci bastante mejoría respecto de la densidad simulada en la situación inicial.

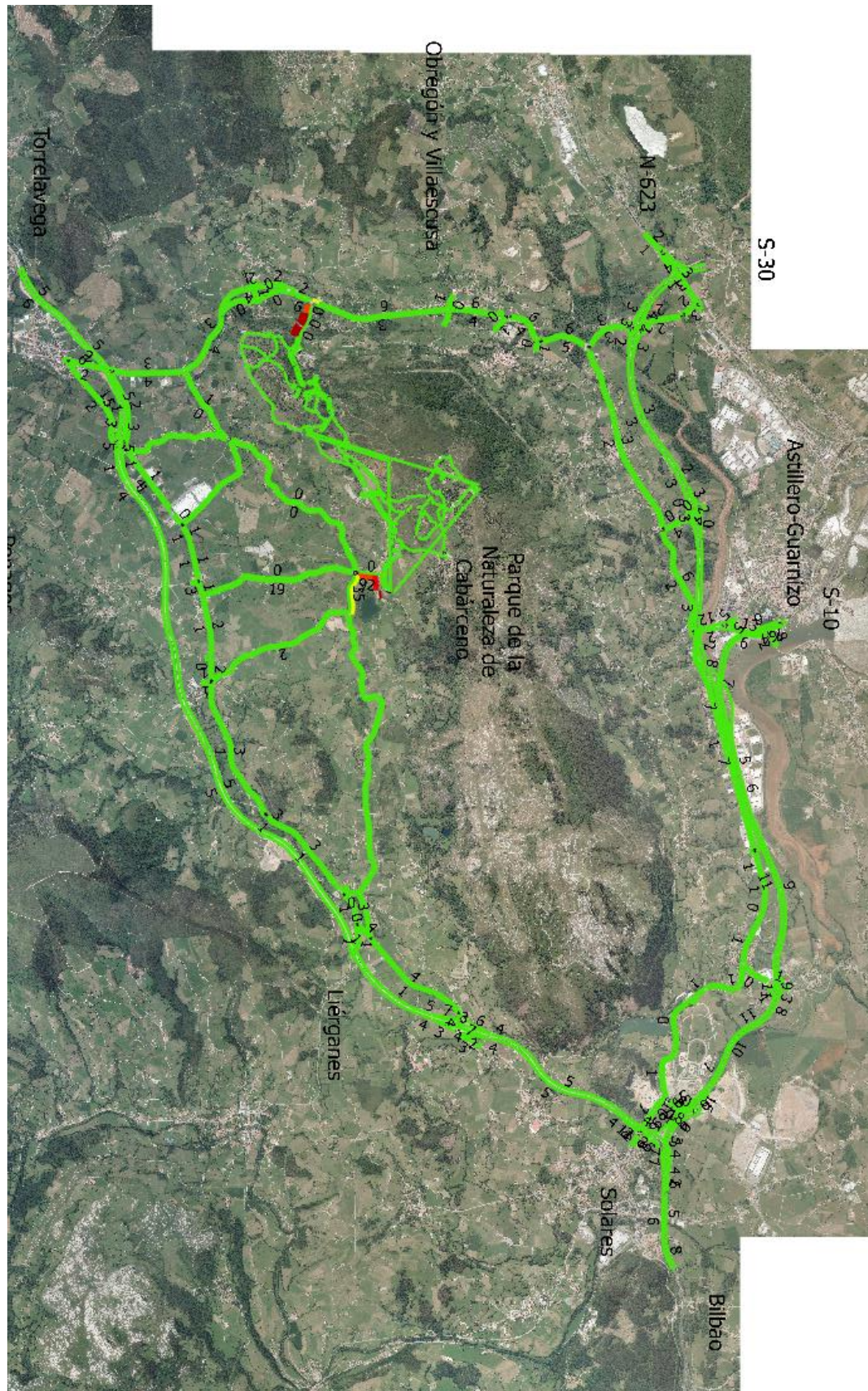
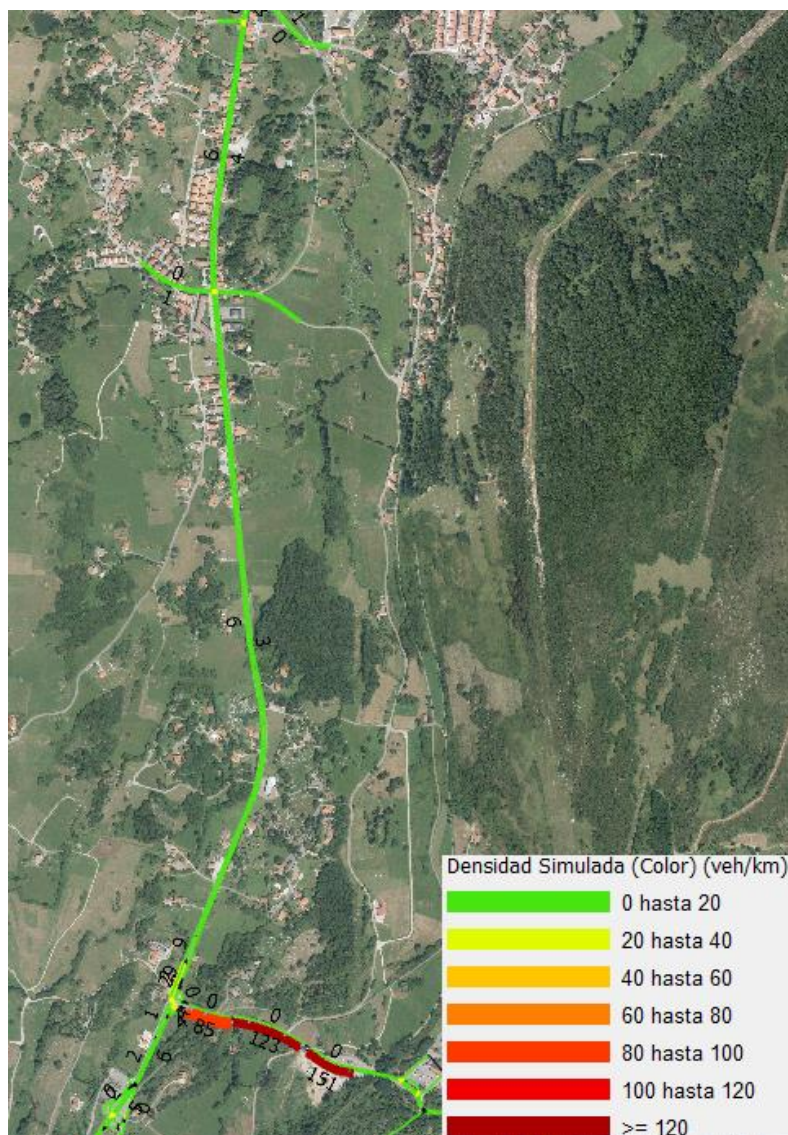


Figura 49: Densidad Simulada a lo largo de toda la red de estudio entre las 10h00 y las 14h00.

- **Obregón**

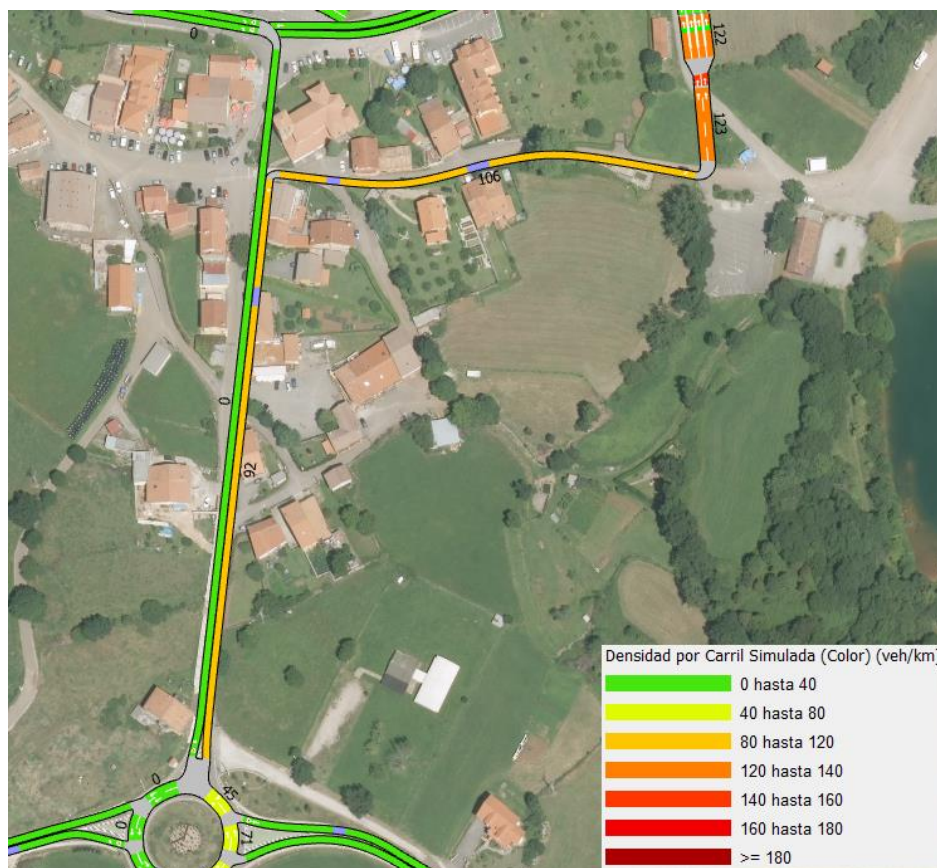
Se ha pasado a tener unos valores muy pequeños de densidad en el tramo de la carretera CA-142 de acceso a Cabárceno con lo que se ha conseguido que haya un tráfico fluido y los vehículos que atraviesan esta sección de la red y no tienen como destino final el Parque de la Naturaleza de Cabárceno no vean afectado su viaje.



*Figura 50: Densidad Simulada, acceso Obregón.*

- **Cabárceno**

Como se está observando en los demás índices, el de densidad sigue el mismo aumento pero sin llegar tampoco a ser un valor alarmante.



*Figura 51: Densidad Simulada, acceso Cabárceno.*

### **Tiempo de Demora**

A nivel general se observa como en el resto de índices una mejora.

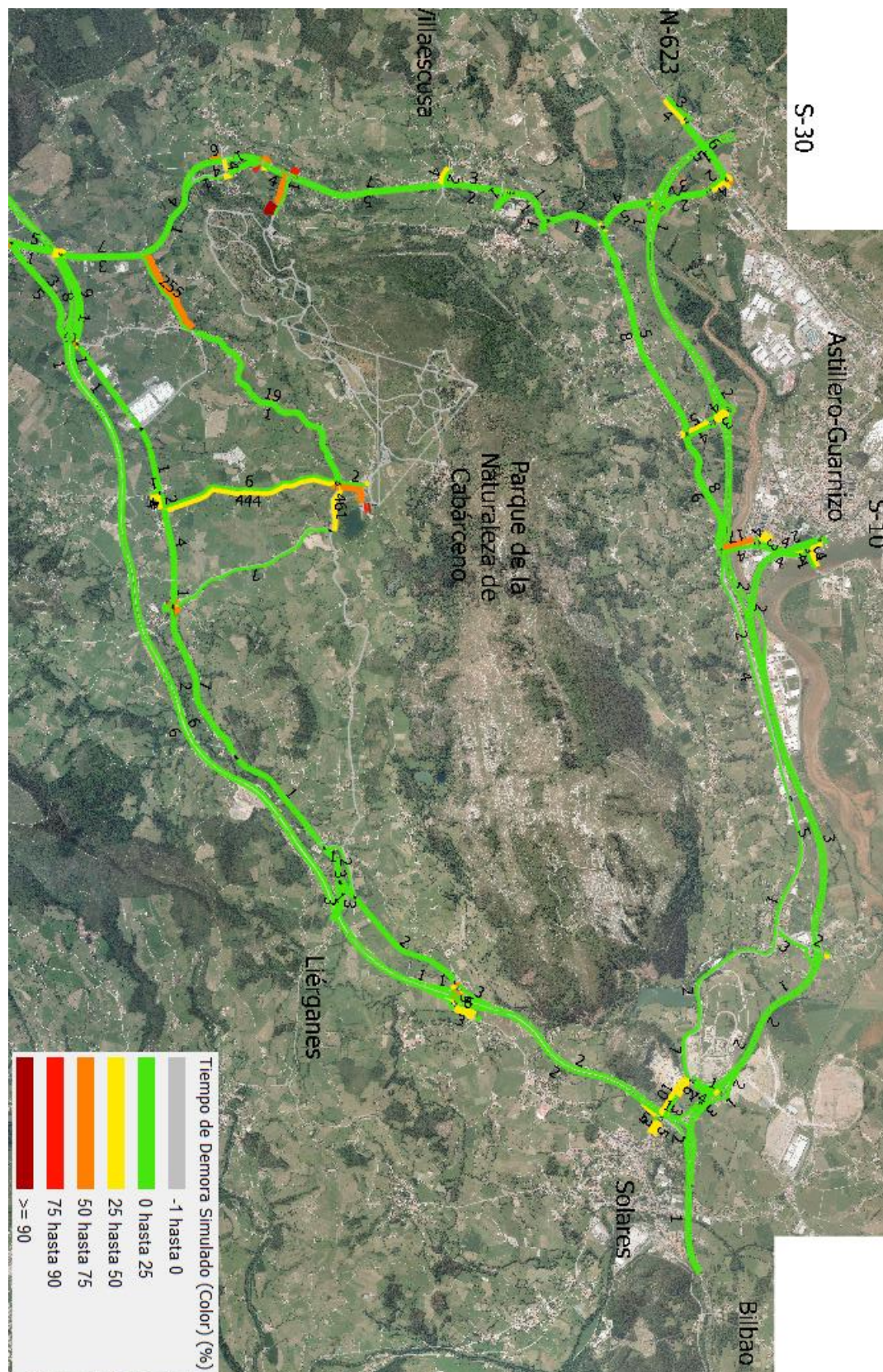


Figura 52: Tiempo de Demora a lo largo de toda la red de estudio entre las 10h00 y las 14h00.



- **Obregón**

El Tiempo de Demora ha mejorado significativamente en la carretera CA-142 a la altura de los accesos de Cabárceno, lo que permite afirmar el éxito de esta estrategia, dado que como en el índice de densidad se ha dejado de influir en las condiciones de viaje de los usuarios de la red que no tienen como destino final el Parque de la Naturaleza de Cabárceno.

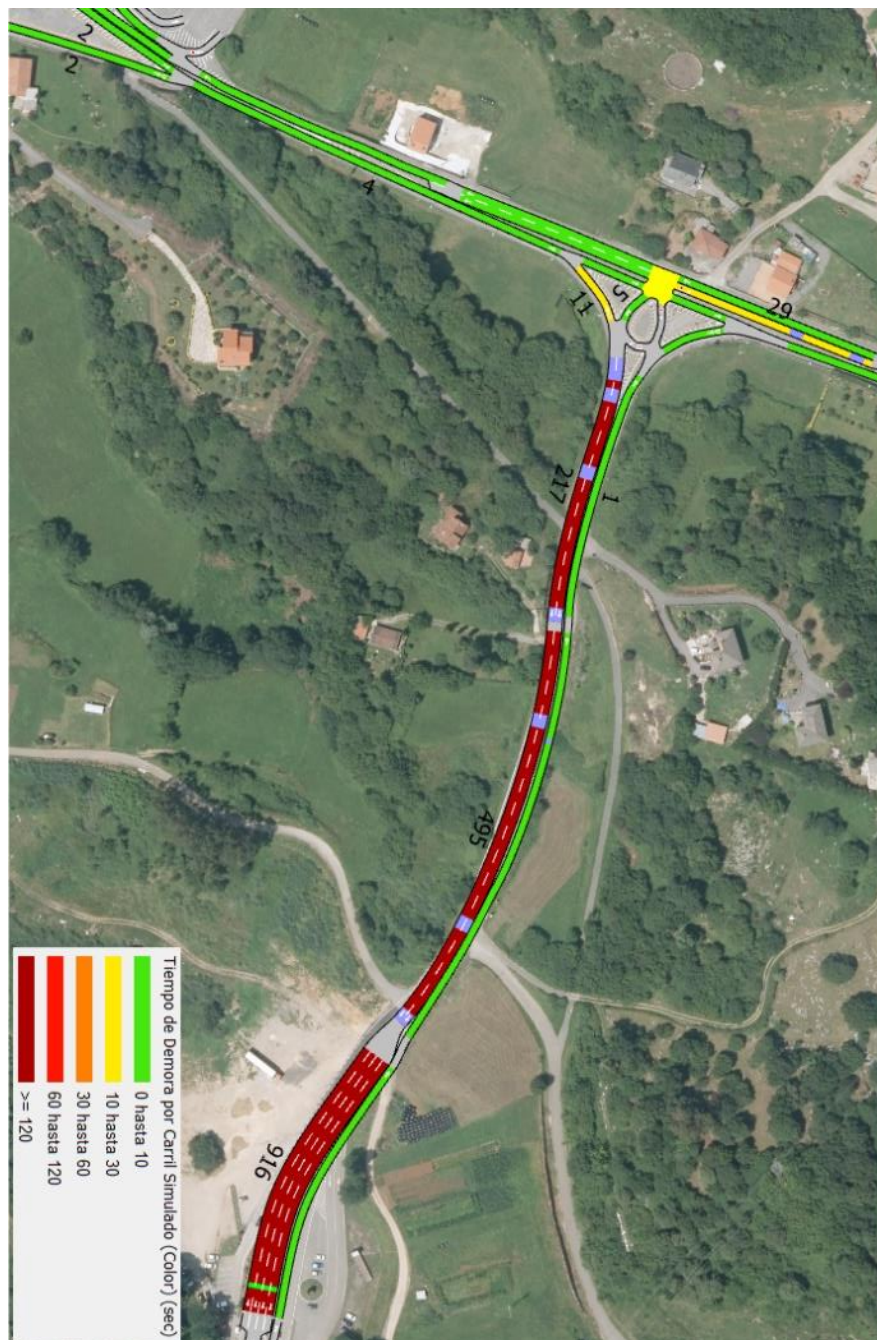


Figura 53: Tiempo de Demora, acceso de Obregón.

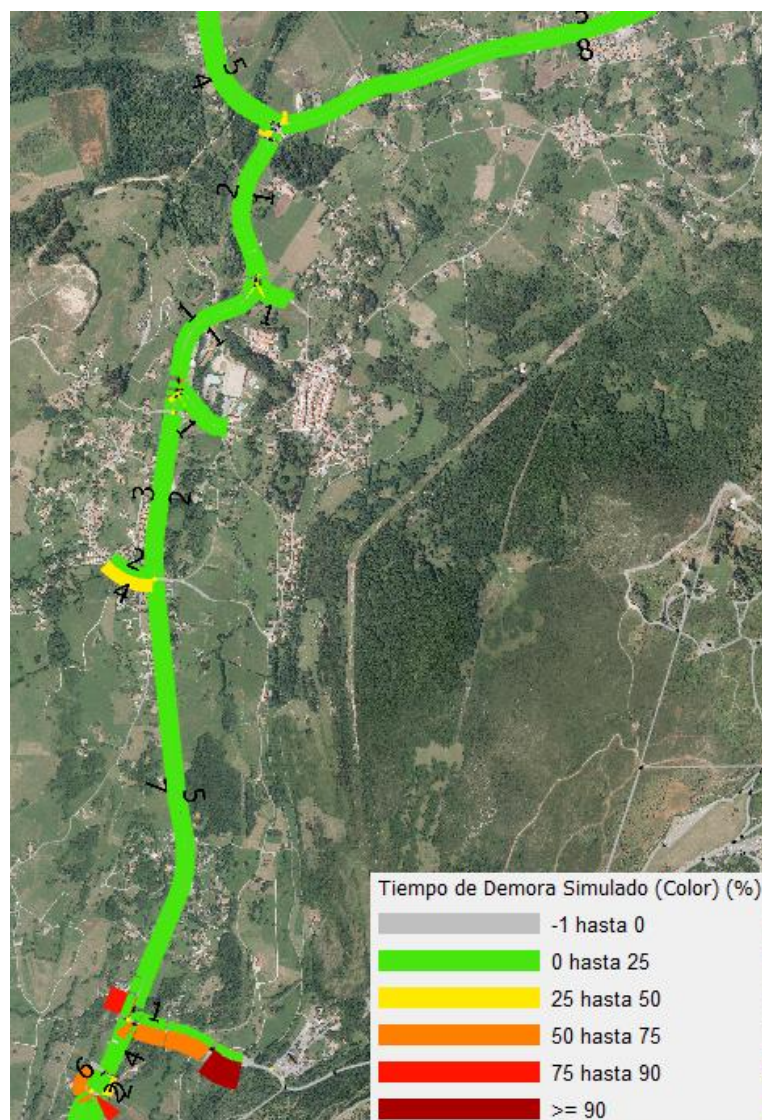


Figura 54: Tiempo de Demora, CA-142.

- **Cabárceno**

Observamos como aumenta el Tiempo de Demora pero sin afectar al tráfico de la carretera nacional N-635 por la que circulan también vehículos que no tienen como destino final el Parque de la Naturaleza de Cabárceno.

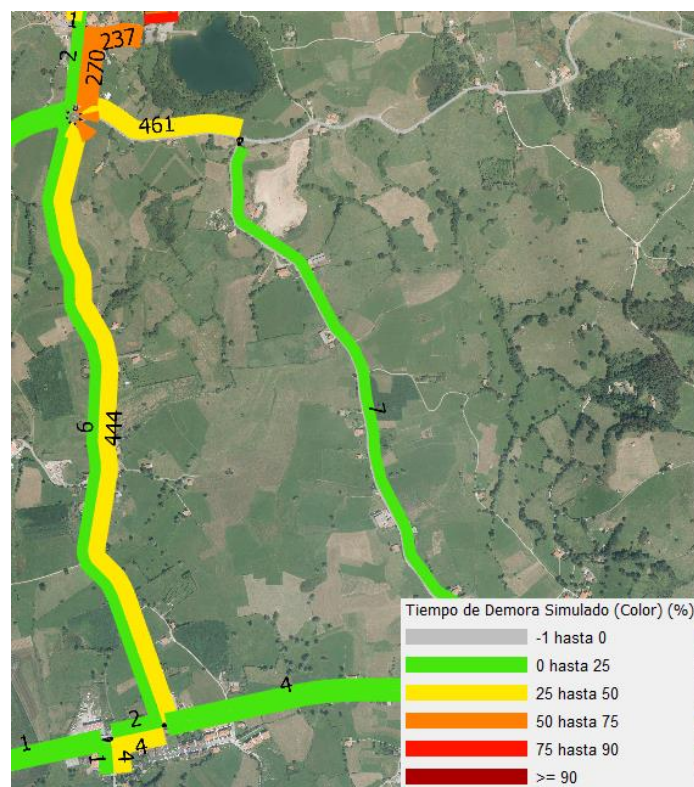


Figura 55: Tiempo de Demora, acceso Cabárceno.

## 6. ANÁLISIS COMPARATIVO SITUACIÓN INICIAL - ESTRATEGIA APLICADA

En este punto se compararán los resultados registrados en varias secciones clave para el objetivo de este estudio, en la simulación de la situación inicial con la simulación de la estrategia aplicada, mediante gráficas en las que se representan diferentes variables a lo largo de las 4 horas que dura la simulación.

**\*Nota:** Atención a la variación de las escalas en cada uno de los diagramas.

### Sección 12291 (Acceso Obregón)

- Cola Media

#### Situación Inicial

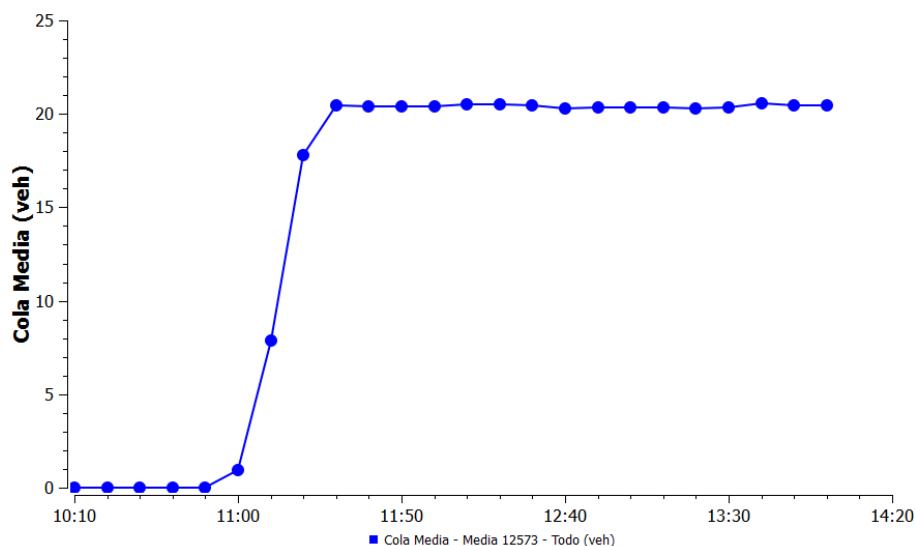


Figura 56: Diagrama de Cola Media durante la simulación en la sección 12291, situación inicial.

Podemos observar que el acceso de Obregón sobre las 10h50 comienza a formarse la cola llegando a su capacidad máxima a las 11h30.

#### Estrategia

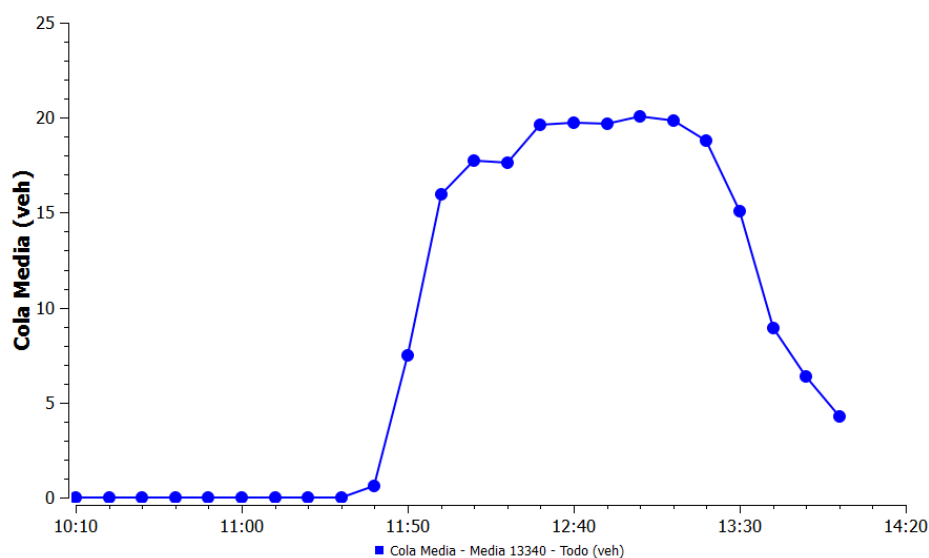
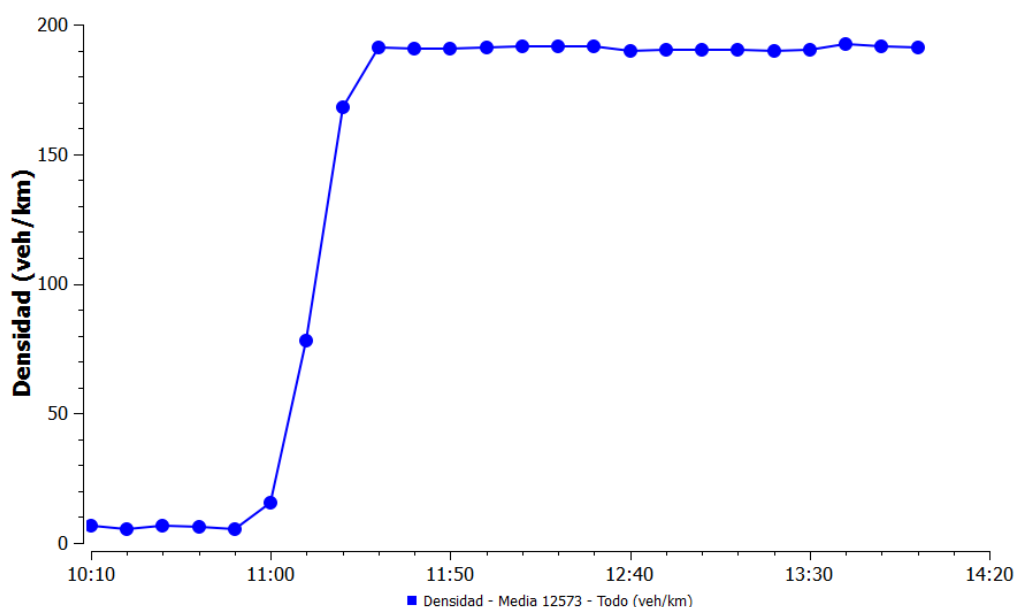


Figura 57: Diagrama de Cola Media durante la simulación en la sección 12291, estrategia.

En cambio con la estrategia implementada conseguimos que la cola no empiece a formarse hasta las 11h40 llegando a su máximo sobre las 12h30, esto no quiere decir que llegue a colapsar. Al tratarse de la sección previa a las taquillas del parque es normal que registre colas. Esta mejora se debe en gran parte a la orden generada por la política Torrelavega-Cabárceno, con lo cual el acceso de Obregón ya no tiene que soportar un gran número de vehículos.

- **Densidad**

#### Situación Inicial



*Figura 58: Diagrama de Densidad durante la simulación en la sección 12291, situación inicial.*

Como hemos mencionado en el apartado anterior, al encontrarse esta sección justo anterior al acceso al parque, es normal que en hora punta de acceso registre altos niveles de densidad.

## Estrategia

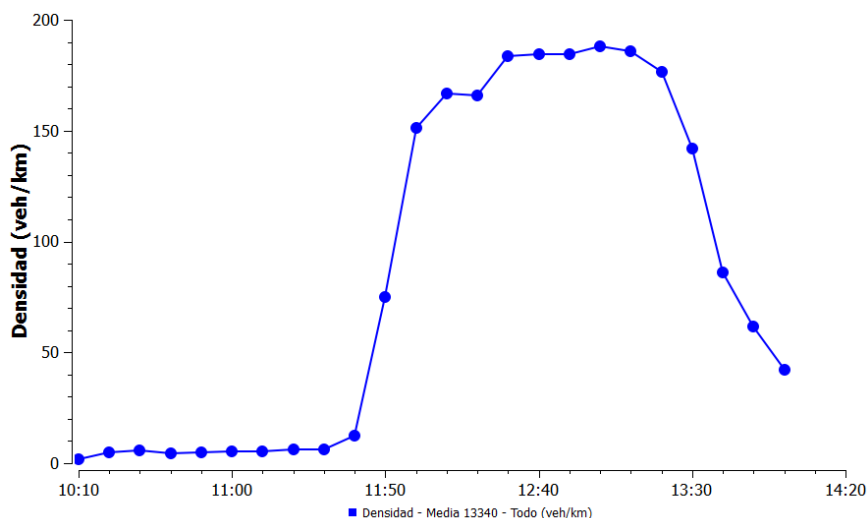


Figura 59: Diagrama de Densidad durante la simulación en la sección 12291, estrategia.

Aun siendo esta sección se observa cierta mejoría, sobre todo entre las 13h30 y las 14h20, lo que quiere decir que para esa hora ya se ha conseguido que un gran número de visitantes haya accedido al parque.

- Tiempo de demora

## Situación Inicial

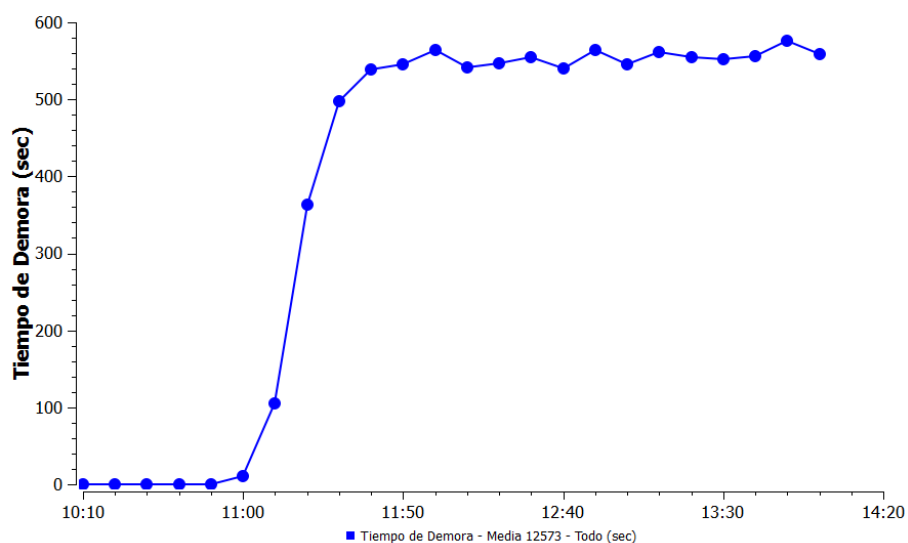


Figura 60: Diagrama de Tiempo de Demora durante la simulación en la sección 12291, situación inicial.

Respecto el Tiempo de demora, ocurre lo mismo, se presentan unos tiempos de demora moderados justo en hora punta.

### Estrategia

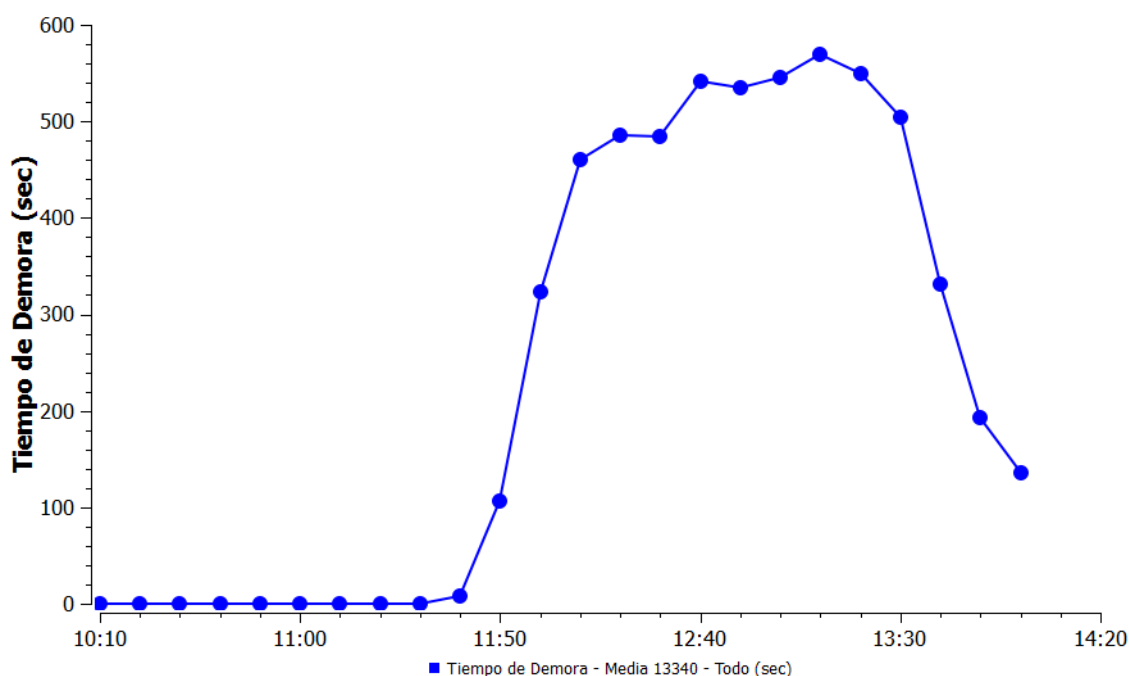


Figura 61: Diagrama de Tiempo de Demora durante la simulación en la sección 12291, estrategia.

Como con la densidad, el tiempo de demora en la simulación con el sistema de gestión presenta cierta mejoría, sobre todo en los momentos finales de la simulación cuando se ha conseguido que una gran mayoría de los visitantes haya accedido al parque.

### Sección 11808 (CA-142 altura Acceso Obregón)

En esta sección vamos a poder observar de mejor forma las diferencias entre la situación actual, y el sistema de gestión.

- Cola Media

#### Situación Inicial

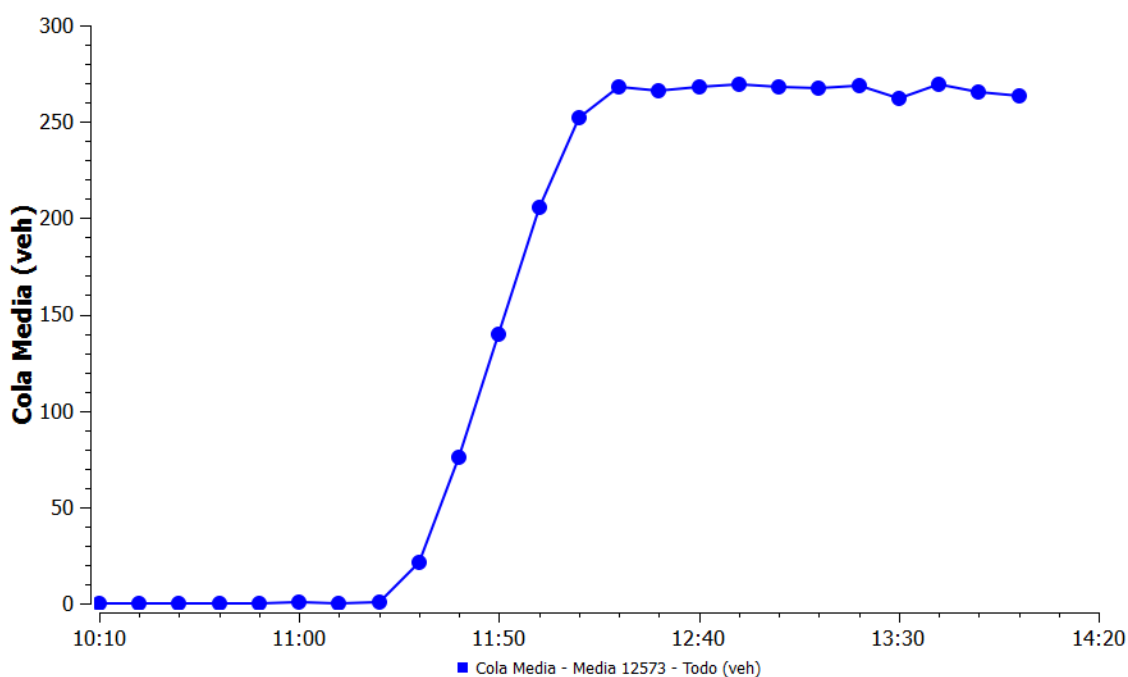


Figura 62: Diagrama de Cola Media durante la simulación en la sección 11808, situación inicial.

Según el diagrama, se empieza a registrar cola sobre las 11h30 llegando a su capacidad máxima a las 12h10.

## Estrategia

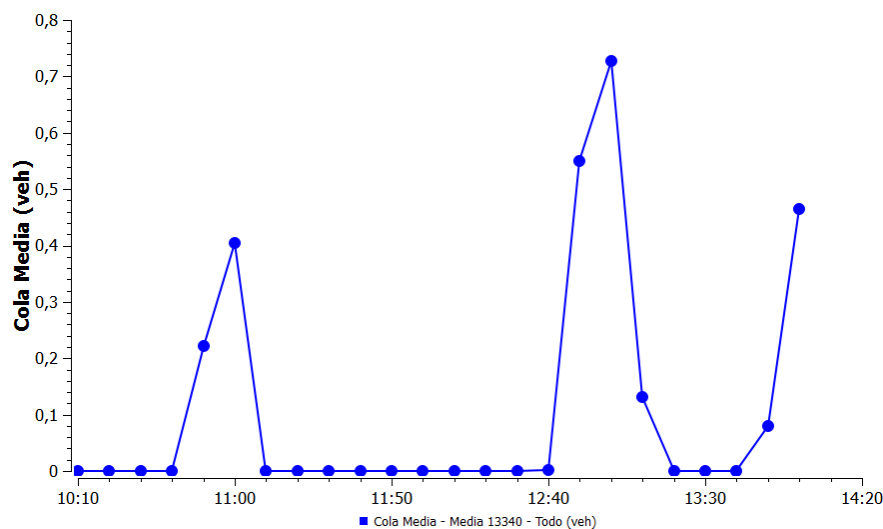


Figura 63: Diagrama de Cola Media durante la simulación en la sección 11808, estrategia.

Como observamos, con este sistema de gestión la cola en esta sección es prácticamente nula durante toda la simulación por lo que se presenta un tráfico fluido y con ello se confirma la mejoría de la calidad de viaje de los usuarios que atraviesan la carretera CA-142 sin tener como destino final el parque.

- **Densidad**

## Situación Inicial

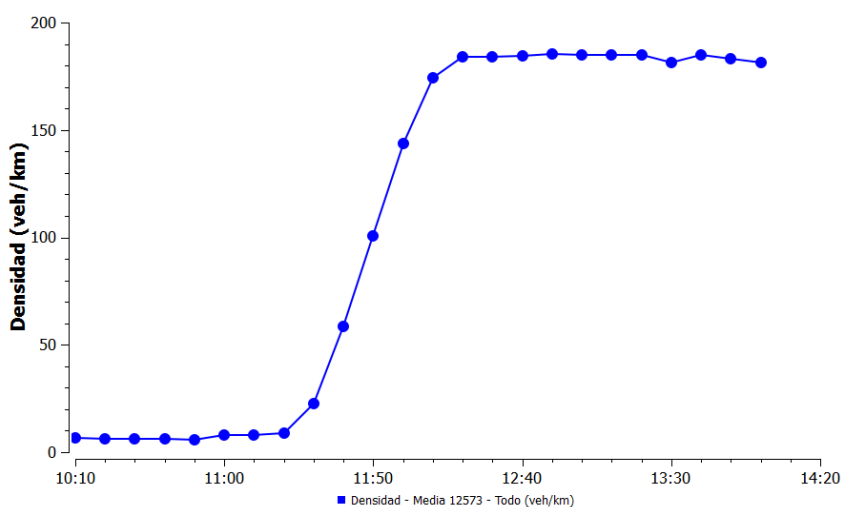


Figura 64: Diagrama de Densidad durante la simulación en la sección 11808, situación inicial.

La densidad sigue en este caso el mismo rastro que la cola media.

### Estrategia

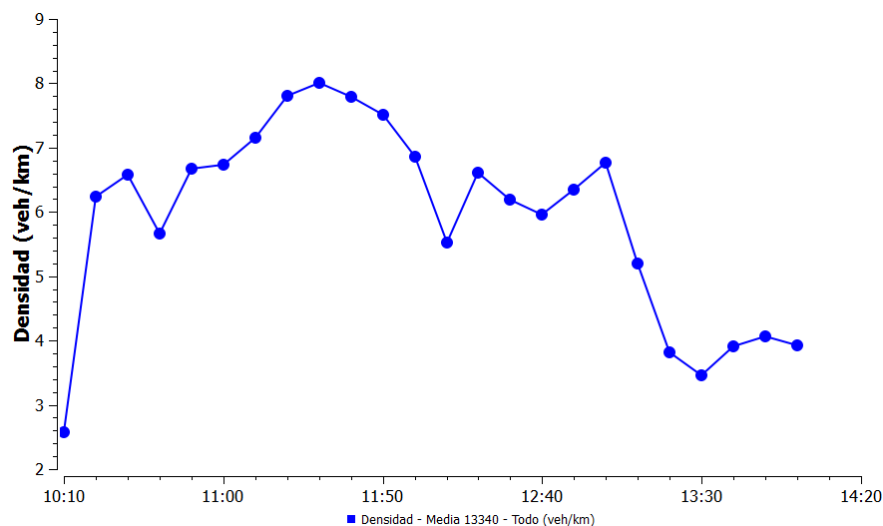


Figura 65: Diagrama de Densidad durante la simulación en la sección 11808, estrategia.

Al haber disminuido la cola, disminuye también la densidad en esta sección síntoma de un tráfico fluido.

- Tiempo de Demora

### Situación Inicial

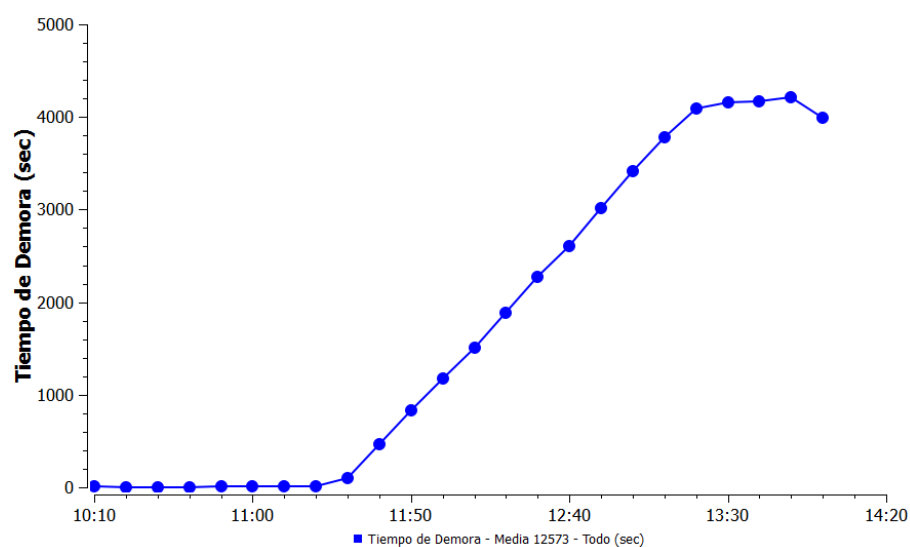


Figura 66: Diagrama de Tiempo de Demora durante la simulación en la sección 11808, situación final.

En la actualidad se llega a tardar en atravesar esta sección de la red alrededor de 60 minutos en hora punta

### Estrategia

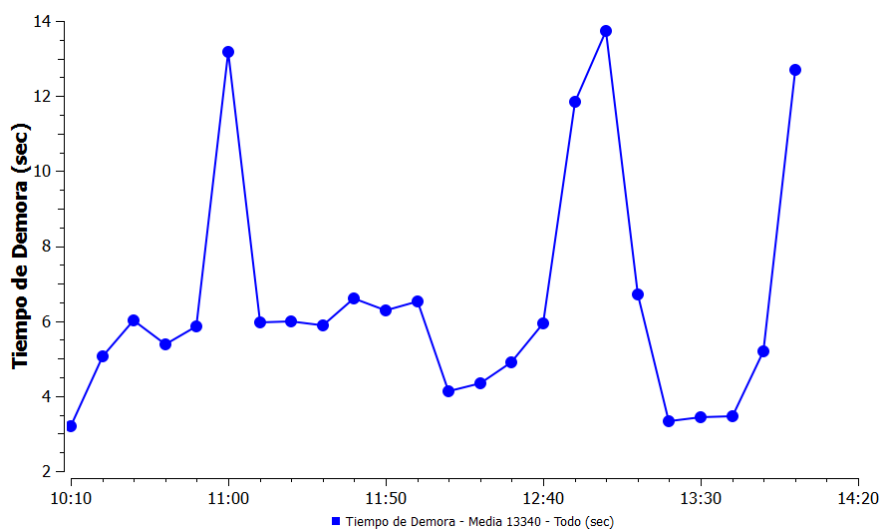


Figura 67: Diagrama de Tiempo de Demora durante la simulación en la sección 11808, estrategia.

Al desaparecer prácticamente la cola en esta sección y haberse conseguido un tráfico fluido, se reduce el tiempo en atravesar la sección a 14 escasos segundos.

### Sección 9716 (N-408)

En esta sección surge al contrario, con el sistema de gestión establecido se empeora su calidad de tráfico sin llegar a ser importante.

- Cola Media

#### Situación Inicial

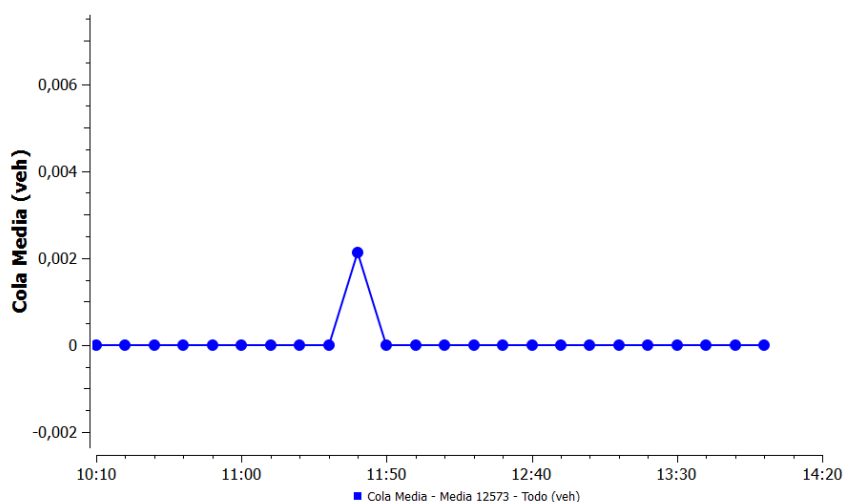


Figura 68: Diagrama de Cola Media durante la simulación en la sección 9716, situación inicial.

En la situación actual no se presenta cola.

#### Estrategia

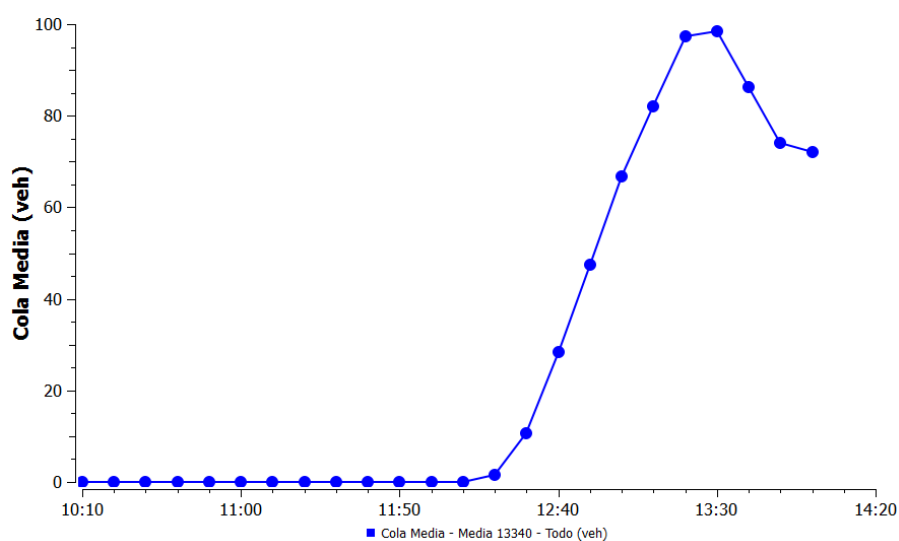


Figura 69: Diagrama de Cola Media durante la simulación en la sección 9716, estrategia.

Con el sistema de gestión llegamos a una cola de 100 vehículos en hora punta, pero sin alcanzar la capacidad máxima de la carretera, con lo cual es una cola admisible.

- **Densidad**

### Situación Inicial

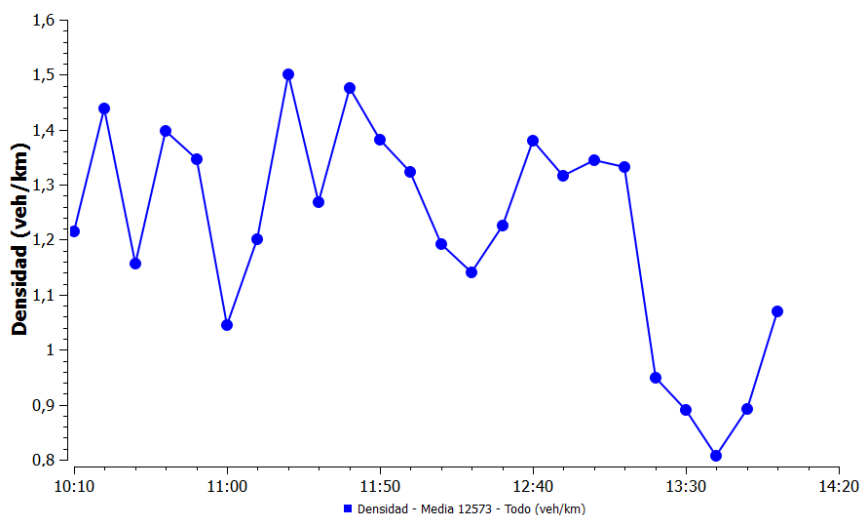


Figura 70: Diagrama de Densidad durante la simulación en la sección 9716, situación inicial.

Se presenta una densidad realmente baja en la situación actual.

### Estrategia

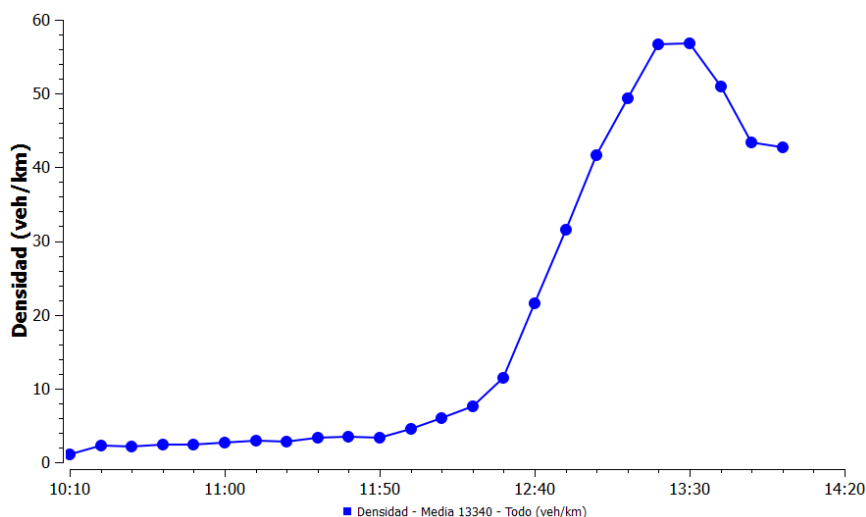


Figura 71: Diagrama de Densidad durante la simulación en la sección 9716, estrategia.

Con el sistema de gestión aplicado observamos como la densidad empieza a aumentar muy ligeramente desde el inicio de la simulación, esto se debe al tráfico procedente de Torrelavega soportado por esta sección, hasta llegar a su máximo en hora punta sin llegar a su capacidad máxima, con lo cual no es preocupante.

- **Tiempo de Demora**

### Situación Inicial

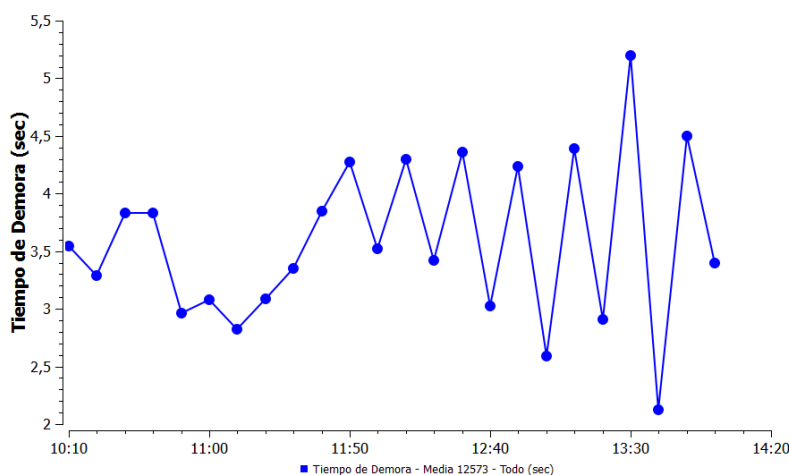


Figura 72: Diagrama de Tiempo de Demora durante la simulación en la sección 9716, situación inicial.

El tiempo de demora, también es casi nulo.

### Estrategia

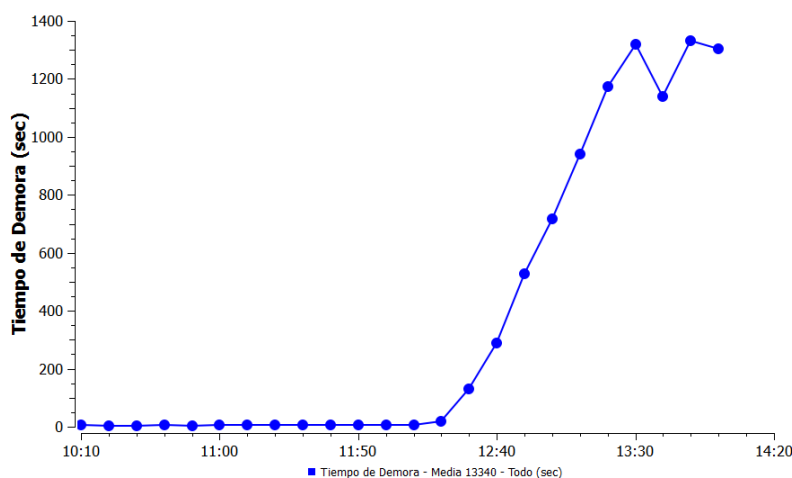


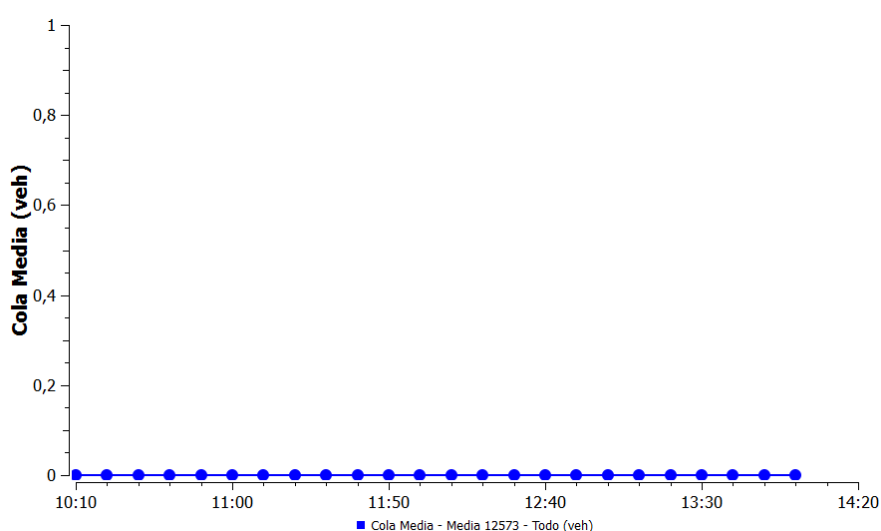
Figura 73: Diagrama de Tiempo de Demora durante la simulación en la sección 9716, estrategia.

En hora punta es cuando se desvían los tráficos de la S-10 y Bilbao para evitar el colapso del acceso de Obregón por ello, este momento corresponde al aumento del Tiempo de Demora en esta sección la cual se puede llegar hasta un máximo de 20 minutos en atravesarla.

### **Sección 12727 (Acceso Cabárceno)**

- Cola Media

#### **Situación Inicial**



*Figura 74: Diagrama de Cola Media durante la simulación en la sección 12727, situación inicial.*

Cuatro cabinas de acceso y poca afluencia en la actualidad conllevan una cola media nula.

## Estrategia

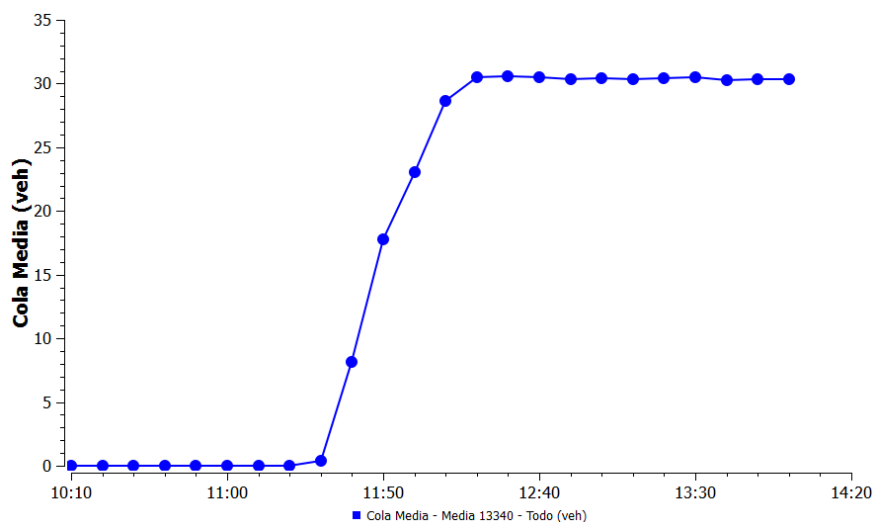


Figura 75: Diagrama de Cola Media durante la simulación en la sección 12727, estrategia.

Al igual que en el acceso por Obregón, cuando el acceso de Cabárceno sufre un aumento de afluencia de vehículos se produce un aumento lógico en la cola, llegando en hora punta a su máxima pero sin llegar a ser preocupante.

- Densidad

## Situación inicial

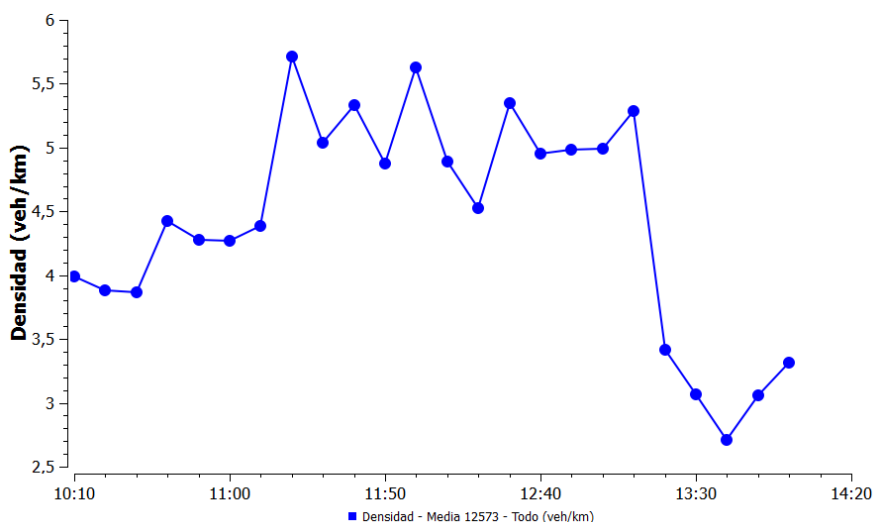


Figura 76: Diagrama de Densidad durante la simulación en la sección 12727, situación inicial.

Densidad muy bajara durante toda la simulación, dada la capacidad de este acceso para soportar la poca demanda actual.

### Estrategia

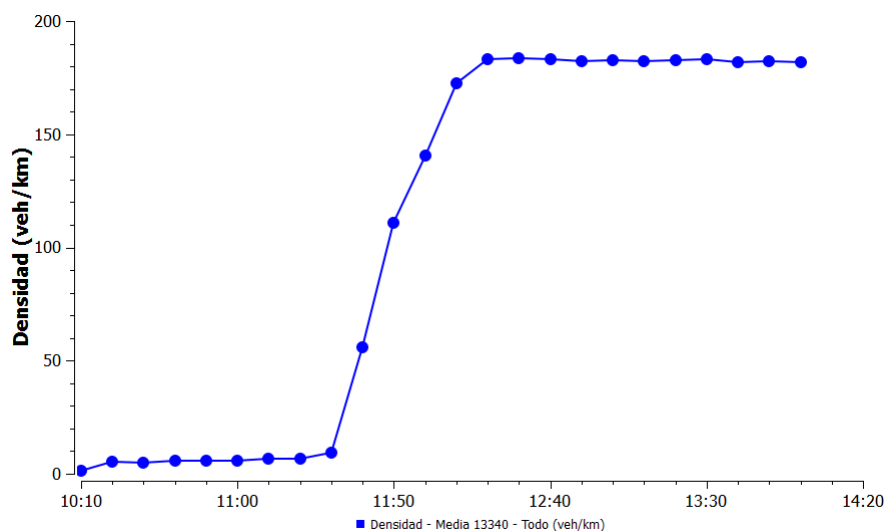


Figura 77: Diagrama de Densidad durante la simulación en la sección 12727, estrategia.

Comienza a notarse la afluencia de vehículos sobre las 11h30 alcanzando su valor máximo sobre las 12h30, valor que no tiene nada de alarmante, ya que se debe al goteo de vehículos en hora punta.

- Tiempo de Demora

### Situación Inicial

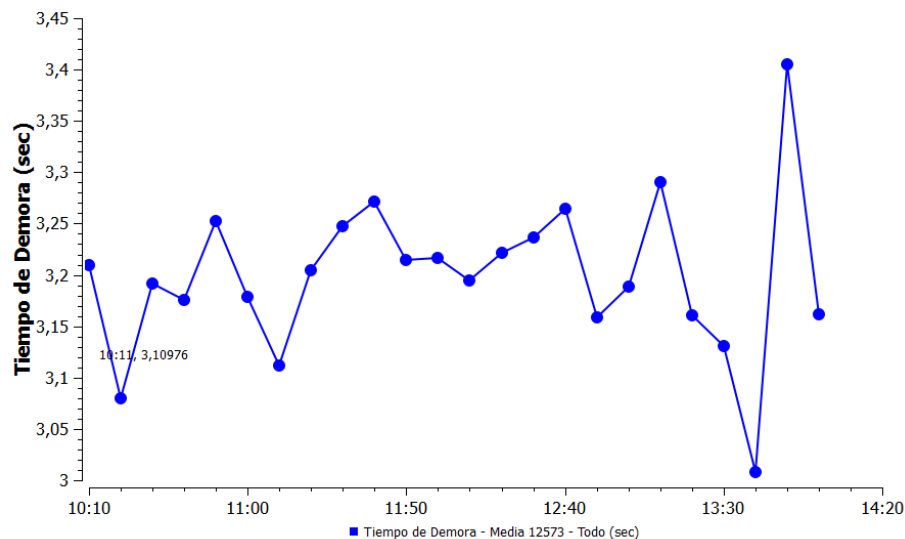


Figura 78: Diagrama de Tiempo de Demora durante la simulación en la sección 12727, situación inicial.

Una cola media nula, una densidad prácticamente nula, esto conlleva por tanto un tiempo de demora realmente bajo.

### Estrategia

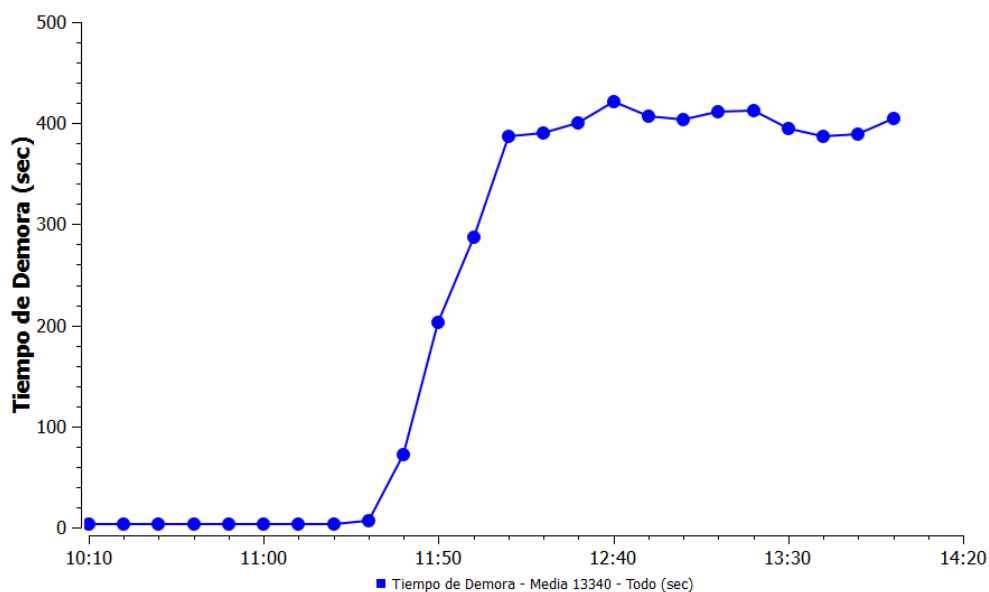


Figura 79: Diagrama de Tiempo de Demora durante la simulación en la sección 12727, estrategia.



El tiempo de demora como las anteriores variables presenta un fuerte aumento según el diagrama, pero que si lo interpretamos correctamente observaremos que se llega a un valor máximo de 6 minutos, algo normal en un acceso como este en hora punta.

## 7. CONCLUSIONES

El Parque de la Naturaleza de Cabárceno es en la actualidad la infraestructura turística de la región de Cantabria que más visitantes atrae cada año, esto significa que es un gran motor económico para la zona, pero a su vez conlleva una serie de problemas citados a continuación:

- **Largas colas** de vehículos en los accesos al parque.
- **Congestión de las carreteras** que comunican con los accesos al parque.
- **Aumento del tiempo de viaje** de los usuarios de la red en las zonas limítrofes con el parque.
- **Aumento del coste de viaje** que conlleva la ralentización del tráfico.
- **Pérdida de visitantes al parque** a causa de los largos tiempos de espera para el acceso.

Para solucionar estos problemas se crea un sistema de gestión, que en complemento con una serie de detectores ubicados en los accesos al parque, se recogen en tiempo real datos de ocupación y si estos datos son superiores o inferiores a los preestablecidos como condicionantes en los desencadenantes, se activarán las políticas pertinentes. Una vez activadas estas se siguen recogiendo datos de ocupación y en el momento que los datos ya no cumplan con la condición establecida en el desencadenante la política se desactiva.

Con el sistema de gestión establecido en este estudio se consigue disminuir de forma muy importante estos problemas, dado que comparando los resultados obtenidos de la simulación del estado actual con la simulación del plan de gestión implementado se obtiene una gran mejoría en los valores de calidad del tráfico (Cola media, Cola máxima, Densidad y Tiempo de demora).

En el acceso al parque a través de la localidad de Obregón se consigue que la cola de vehículos no supere la intersección con la carretera CA-142, con esto se consigue disminuir en esta carretera la congestión, el tiempo de viaje y el coste de viaje. Se

consigue que el acceso al parque no influya en los demás usuarios de la red que no tienen como destino final este.

Por otro lado, el acceso al parque a través de la localidad de Cabárceno sufre las consecuencias de las mejoras mencionadas en el acceso de Obregón, dado que presenta el aumento de los valores de Cola Media, Cola Máxima, Densidad y Tiempo de demora al tener que soportar el tráfico desviado del acceso de Obregón pero sin ser un aumento importante. Al igual que en el acceso de Obregón, se consigue que las colas de vehículos no lleguen a afectar a la carretera N-634.

Por todo esto se considera que el resultado de este estudio es satisfactorio ya que se ha corregido un problema existente actualmente mejorando el acceso al parque así como las condiciones de tráfico de los demás usuarios de la red, por otro lado se reducirá con ello el número de visitantes que rehúsan acceder al parque a causa de las largas colas.

A continuación y dar por concluido el estudio se presentan los resultados numéricos y su variación.

*Tabla 5: Tabla comparativa de los resultados en la situación inicial y el sistema de gestión establecido.*

| Serie Temporal           | Inicial | Estrategia | Variación | Unidades |
|--------------------------|---------|------------|-----------|----------|
| Cola Media - Todo        | 514,82  | 233,41     | -281,41   | veh      |
| Cola Media - Coche       | 514,37  | 233,35     | -281,02   | veh      |
| Cola Media - Bus         | 0,45    | 0,06       | -0,39     | veh      |
| Densidad - Todo          | 5,07    | 4,05       | -1,02     | veh/km   |
| Densidad - Coche         | 5,07    | 4,05       | -1,02     | veh/km   |
| Densidad - Bus           | 0       | 0          | 0         | veh/km   |
| Tiempo de Demora - Todo  | 20,5    | 15,83      | -4,67     | seg/km   |
| Tiempo de Demora - Coche | 20,5    | 15,83      | -4,67     | seg/km   |
| Tiempo de Demora - Bus   | 56,98   | 13,94      | -43,04    | seg/km   |
| Tiempo de Viaje - Todo   | 58,11   | 53,62      | -4,49     | seg/km   |
| Tiempo de Viaje - Coche  | 58,1    | 53,61      | -4,49     | seg/km   |
| Tiempo de Viaje - Bus    | 130,88  | 85,87      | -45,01    | seg/km   |
| Tiempo total de viaje    | 4641,01 | 4301,16    | -339,85   | h        |



Como puede verse, se consiguen unos ahorros de 339,85h, que, asumiendo un coste de valor de tiempo de 10€/h, supone una cuantificación de 3398,5€, lo que da una primera idea de la rentabilidad social del proyecto propuesto.

## BIBLIOGRAFIA

1. Manzano, P. Gestión del tráfico ante incidencias en los accesos a Santander. Universidad de Cantabria. 2016.
2. Mirshahi M., Obenger J., Fuhs C.A., Howard C.E., Krammes R.A., Kuhn B.T., Robin M. Mayhew R.M., Moore M.A., Sahebjam K, Stome C.J., Yung J.L. "Active Traffic Management: The Next Step in Congestion Management" Federal Highway Administration 2007 FHWA-PL-07\_012.
3. Kimley-Horn of Michigan. Inc, "Best practices for emergency rerouting". MDOT, 2011.
4. Payne, H.J. (1976), Development and testing of incident detection algorithms, Volume 1: summary of results.
5. Magmassani, HS., Haas, C., Zhou, S. and Peterman, J. Evaluation of incident detection methodologies. Research Report 1795-1, Center for Transportation Research, University of Texas at Austin, TX, October 1998, Revised October 1999.
6. Collins, J.F., Hopkins, C.M. and Martin, J.A. (1979). "Automatic incident detection-TRRL algorithms HIOCC and PATREG." TRRL Supplementary Report, No. 526, Crowthorne, Berkshire, U.K.
7. Masters, P.H., Lam, J.K. and Wong, K. (1991). "Incident detection algorithms of COMPASS-an advanced traffic management system." Proceedings of Vehicle Navigation and Information Systems Conference, October 1991.
8. Ahmed, M.S. and Cook, A.R. (1977). "Analysis of freeway traffic time-series data using Box-Jenkins techniques." Transportation Research Record.
9. Cook, A.R. and Cleveland, D.E. (1974). "Detection of freeway capacity-reducing incidents by traffic-stream measurements." Transportation Research Record.
10. Stephanades, Y.J. and Chassiakos, A.P. (1993a) "application of filtering techniques for incident detection." Journal of Transportation Engineering.



11. Samant, A. and Adeli, H. (2000). "Feature extraction for traffic incident detection using wavelet transform and linear discriminant analysis." Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering.
12. Fambro, D.B. and Ritch, G.P. (1979). "Automatic detection of freeway incidents during low volume conditions." Texas Transportation Institute, Texas A&M University Systems, College Station, TX, 1979.
13. Michalopoulos, P., Jacobson, T.D., Anderson, C.A. and DeBruyckert, T.B. (1993). "Automatic incident detection through video image processing".
14. F. Bolte. "Transport Policy Objectives: Traffic Management as Suitable Tool", Federal Highway Research Institute (BAST), Bergisch-Gladbach, Germany, Presentation to Planning for Congestion Management Scan Team, 2006.
15. Ministerio de Fomento. Intensidades Medias Diarias y distribución horarias del día medio. Informes de tráfico. Mapa de Tráfico. 2014.
16. Aimsun Online – TSS – Transport Simulation Systems [Internet]. TSS-Transport Simulation Systems. 2015. Disponible en: <https://www.aimsun.com/aimsun-online/>
17. <http://www.eldiariomontanes.es/region/trasmiera/penagos-villaescusa-exigen-20170831210916-ntvo.html>
18. [http://www.eldiario.es/norte/cantabria/ultima-hora/personas-entran-Cabarceno-obligan-taquilla\\_0\\_633087011.html](http://www.eldiario.es/norte/cantabria/ultima-hora/personas-entran-Cabarceno-obligan-taquilla_0_633087011.html)
19. [http://cadenaser.com/emisora/2017/04/14/radio\\_santander/1492170633\\_916007.html](http://cadenaser.com/emisora/2017/04/14/radio_santander/1492170633_916007.html)
20. <http://www.eldiariomontanes.es/cantabria/201504/03/accesos-cabarceno-registran-tres-20150403102311.html>