



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Estudio de evaluación ambiental del proyecto Variante de Murillo de río Leza. Carreteras LR-259 y LR-261. Fase 1. Comunidad autónoma de La Rioja.

Presentado por

Fabregat Barberán, Francisco

Para la obtención del

Grado de Ingeniería Civil



Curso: 2018/2019

Fecha: Diciembre 2018

Tutora: Lozano Torró, Alicia

Cotutora: Montalbán Domingo, María Laura

AGRADECIMIENTOS:

A Alicia Lozano y Laura Montalbán, tutoras de este trabajo, por toda la paciencia que han tenido conmigo durante el largo periodo de tiempo que ha durado la elaboración del trabajo y por toda la ayuda prestada.

A los profesionales de la Educación Pública, que a lo largo de esta etapa educativa que se completa con este trabajo, y se inició en 1999, han ido formándome. Los profesores del Colegio Público Fabián y Fuero, y del IES La Serranía, por la gran labor que realizan, gracias a los cuales pude llegar hasta la universidad. Y los profesores que he tenido a lo largo de estos 4 años de Grado, por transmitirme los conocimientos sobre la profesión.

A todos los amigos y compañeros que a lo largo de todo el tiempo que ha durado la realización del trabajo, se han preocupado por cómo iba el TFG y me han mostrado su apoyo en los momentos en los que lo he necesitado.

Y por supuesto, a todos mis familiares. En especial a mis padres y mi hermano, por todo el esfuerzo realizado para poder completar estos estudios, por todos los malos ratos que han tenido que aguantar a lo largo de estos 4 años y por todo el amor y apoyo que me muestran.

ÍNDICE GENERAL

DOCUMENTO Nº1 MEMORIA Y ANEJOS

MEMORIA

ANEJO Nº 1: ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

ANEJO Nº 2: DIMENSIONAMIENTO DEL FIRME

ANEJO Nº 3: PROGRAMA DE TRABAJOS

ANEJO Nº 4: PROGRAMA DE GESTIÓN DE RESIDUOS

DOCUMENTO Nº 2 PLANOS

PLANO Nº1: SITUACIÓN Y LOCALIZACIÓN

PLANO Nº2: PLANTA GENERAL DE LAS OBRAS

PLANO Nº3: MODIFICACIÓN ESCOLLERA

PLANO Nº4: SOLUCIÓN PLANTEADA

PLANO Nº5: ALTERNATIVAS

PLANO Nº6: DESTINO PARA RESIDUOS

PLANO Nº7.1: UBICACIÓN PARCELA ALMACENAMIENTO RESIDUOS

PLANO Nº7.2: DIVISIÓN PARCELA ALMACENAMIENTO RESIDUOS

PLANO Nº7.3: ORGANIZACIÓN ALMACENAMIENTO RESIDUOS

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. OBJETO Y ALCANCE	4
4. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL	5
5. NORMATIVA A EMPLEAR	6
6. CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO	7
7. ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL	7
8. DIMENSIONAMIENTO DEL FIRME	18
9. PROGRAMA DE TRABAJOS	18
10. PROGRAMA DE GESTIÓN DE RESIDUOS	19
11. CONCLUSIONES	20
12. REFERENCIAS	21

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente el planeta Tierra se enfrenta a un problema muy serio como es el cambio climático. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático define el cambio climático como “El cambio en el clima que es atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición global de la atmósfera” [1]. La Unión Europea establece que la actividad de los seres humanos tiene una influencia cada vez mayor en el clima y las temperaturas, actividades como la quema de combustibles fósiles, la tala de selvas tropicales y la explotación del ganado. En estas actividades se liberan enormes cantidades de gases que añadidos a los que se liberan de forma natural en la atmósfera, provocan un aumento del efecto invernadero y del calentamiento global [2].

Todo esto provoca:

- Un calentamiento del agua, que provoca un incremento de su volumen y un deshielo de las zonas polares, que tiene como consecuencia el aumento del nivel de los océanos, causando inundaciones y erosión en las zonas costeras y de baja altitud.
- La ocurrencia cada vez más frecuente de fuertes lluvias y fenómenos climáticos extremos, que provocan inundaciones, un deterioro de la calidad del agua y una progresiva disminución de los recursos hídricos.
- En la zona mediterránea, que sea una región cada vez más seca, por lo que se vuelve más vulnerable a la sequía y a los incendios.
- Para la salud humana, la repercusión que tiene este fenómeno se ve en el incremento del número de muertes producidas por las altas temperaturas y los cambios en la distribución de algunas enfermedades transmitidas por el agua.
- Elevados costes para la sociedad y la economía como consecuencia de los daños que este cambio causa en las propiedades, las infraestructuras y la salud.
- Para el resto de seres vivos, este cambio se está produciendo tan deprisa que muchas especies de plantas y animales tienen problemas para adaptarse, han tenido que trasladarse a otros hábitats y aumenta su exposición al riesgo de extinción. [2]

Ante la gravedad que se le confiere a este problema, la Unión Europea en el Marco sobre clima y energía para 2030, establece tres objetivos fundamentales con el

fin de conseguir que la economía europea sea más respetuosa con el clima, que son: al menos 40% de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (en relación a los niveles de 1990), al menos 27% de cuota de energías renovables, al menos 27% de mejora de la eficiencia energética [3].

Estas medidas se ajustan a la perspectiva a largo plazo que contempla la “Hoja de ruta hacia una economía hipocarbónica competitiva en 2050”, que busca alcanzar mediante reducciones internas una reducción del 80% para ese año 2050 las emisiones de CO₂. En esta hoja de ruta, se tiene la visión de que todos los sectores han de contribuir a la transición hacia una economía baja en carbono en función de su potencial tecnológico y económico. Los sectores principalmente responsables son el de la producción de electricidad, la industria, el transporte, los edificios, la construcción y la agricultura; en cada uno de ellos se espera una reducción diferente. En la producción de energía, se espera que se llegue a un valor prácticamente nulo de emisiones de CO₂, mediante el aumento del uso de energías renovables en detrimento de la eliminación de los combustibles fósiles. En el sector del transporte, se espera una reducción del 60% respecto a los niveles de 1990, centrándose las medidas en el corto plazo, en obtener vehículos de diésel y gasolina todavía más eficientes, en el medio y largo plazo, la Hoja de Ruta apuesta por el uso de vehículos cuya fuente de energía sean los biocombustibles o la energía eléctrica. En los edificios residenciales, se espera una reducción de emisiones de CO₂ del 90% respecto a 1990, como consecuencia de una mejora de la eficiencia energética de los edificios de nueva construcción y la renovación de los antiguos. Para el sector de la industria, se estima que la reducción de consumo de energía puede ser del 80%, donde se espera que las tecnologías utilizadas vayan incrementando su limpieza y eficiencia energética. Esta hoja de ruta también contempla la aplicación de tecnologías de captura y almacenamiento de carbono en los sectores donde no sea posible reducir las emisiones por otros procedimientos, como es el caso de la construcción.

Ante esta situación hacia la cual se está enfocando desde la UE que todas las actividades deben de ser lo más sostenibles posible y respetuosas con el medio ambiente, la construcción, también es uno de los sectores que mayor cantidad de gases de efecto invernadero emite, por lo que también es un sector en el cual se debe incorporar la idea de llevar a cabo las actividades de una manera lo más sostenible y respetuosa con el medio ambiente posible.

2. ANTECEDENTES

La situación en el municipio de Murillo de río Leza, la Rioja, con el paso por el interior del municipio de las carreteras LR-259 y LR-261, era de inseguridad para los vecinos al tener que verse obligados a convivir con el paso de los vehículos, y de incomodidad para los vehículos que atravesaban el municipio, debido a la baja velocidad que se permite por las calles y el trazado quebrado. Todo ello, añadido a la nueva implantación de un polígono industrial de Lagunilla de Jubera, y que se esperaba que produjera un incremento en el tráfico de estas carreteras, y además aumentara significativamente el número de vehículos pesados, hizo que la construcción de una variante para estas dos carreteras se convirtiera en una necesidad. Y en el año 2008, la Dirección General de Carreteras de la Rioja decidió promover la construcción de la variante.

Esta variante está prevista que se realice en tres fases, con una longitud total de 7 km, la planta de la variante completa se muestra en la Figura 1. La primera de las tres fases, que es el Proyecto objeto de este trabajo, trata el tramo de la variante comprendido entre las dos rotondas centrales, y tiene una longitud de 1,2 km. Se muestra en planta en la Figura 2.

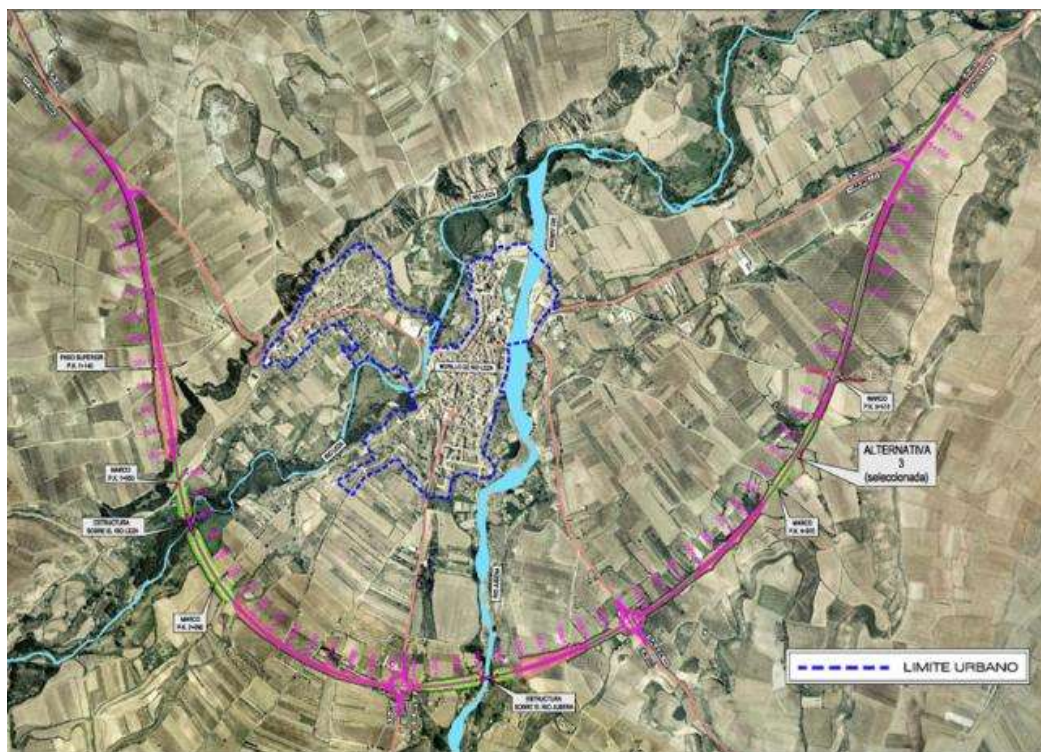


Figura 1. Trazado alternativa escogido Variante de Murillo de río Leza (Fuente: larioja.org)



Figura 2. Trazado Fase 1 Variante de Murillo de río Leza (Fuente: Proyecto Variante de Murillo de río Leza. Carreteras LR-259 y LR-261. Fase 1)

3. OBJETO Y ALCANCE

Actualmente, las administraciones están comenzando a incluir criterios ambientales en la adjudicación de contratos, que pueden suponer el requerimiento a la empresa constructora, de caracterizar el impacto ambiental de los proyectos y medidas que minimicen este impacto. El objeto de este Trabajo de Fin de Grado, es el de adquirir conocimientos y utilizar nuevas técnicas no trabajadas a lo largo del Grado de Ingeniería Civil, que sirvan de ayuda a la hora de redactar proyectos de construcción. En este caso se ha aplicado al proyecto de una carretera, con el fin de conseguir que la solución que se escoja para llevar a cabo, sea la más sostenible posible, desde el punto de vista de la energía consumida y de la cantidad de CO₂ emitida, no solo durante la fase de construcción, sino a lo largo de toda su vida útil, manteniendo otros criterios del proyecto, como por ejemplo los criterios económicos.

Este trabajo final de grado, tratará una evaluación ambiental del proyecto, utilizando la metodología del Análisis del Ciclo de Vida. Esta metodología trata de analizar, a través de diversos indicadores, en este caso el consumo de energía y las emisiones de CO₂, cuál es el impacto ambiental que se produce como consecuencia de la fabricación de un producto, una carretera en este caso. Una vez analizado el

impacto ambiental, se propondrán una serie de medidas alternativas con el fin de minimizar los valores de los indicadores obtenidos en el análisis. Finalmente, con las medidas propuestas, se elabora un nuevo programa de trabajos y un nuevo estudio de gestión de residuos.

4. DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL

En julio de 2009 se adjudicó a TYPESA el contrato de redacción del Proyecto de construcción de la Variante de Murillo de Río Leza. Esta variante es una de las actuaciones contempladas en el Plan de Carreteras 2010-2021 para mejorar las infraestructuras de comunicación y transporte en La Rioja.

La redacción del proyecto finalizó en mayo de 2010.

Por falta de presupuesto, la construcción de la Variante no se inició en los plazos previstos tras la redacción del contrato, y en abril de 2016 se realizó una revisión del proyecto.

En junio de 2017, se anunció la licitación de las obras en el Boletín Oficial de la Rioja. El 25 de octubre de ese mismo año se adjudicó de manera definitiva la construcción de la Variante a la empresa Ismael Andrés, S.A.

Actualmente, la primera de las tres fases en las cuales se llevará a cabo la Variante de Murillo de río Leza se encuentra en fase de construcción, y su finalización está prevista para principios de 2019.

5. NORMATIVA EMPLEADA

La normativa que se ha cumplido a lo largo de la redacción del trabajo es la siguiente:

Normas ISO 14040

Orden FOM/3460/2003. Norma 6.1-IC "Secciones de firme", de la Instrucción de Carreteras

Orden FOM/3459/2003. Norma 6.3-IC "Rehabilitación de firmes", de la Instrucción de Carreteras

Nota de Servicio 5/2006, de 22 de septiembre de 2006, sobre explicaciones y capas de firme tratadas con cemento

Nota de Servicio 7/2014, de 18 de noviembre de 2014, base de precios de referencia de la Dirección General de Carreteras.

Instrucción para el diseño de firmes de la Junta de Andalucía

Real Decreto 1247/2008, "Instrucción de hormigón estructural (EHE-08)"

Ley 10/1996 de Residuos

Real Decreto 105/2008, por el que se regula la producción y gestión de residuos de construcción y demolición.

Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero, por el que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos.

Directiva 1999/31/CE del Consejo de 26 de abril de 1999 relativa al vertido de residuos.

Directiva 91/689/CEE sobre residuos peligrosos.

6. CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

Las características descriptivas básicas del proyecto original de “Variante de Murillo de río Leza. Carreteras LR-259 y LR-261. Fase 1” son las siguientes:

- Carretera convencional con una velocidad de proyecto de 90 km/h.
- La longitud total del tronco del tramo es de 952m.
- El tramo de variante contiene dos glorietas.
- Se proyecta una estructura sobre el río Jubera de 132,20 m de longitud, con vanos de 25,00; 41,10; 41,10; y 25,00 m. Con tablero ligeramente curvo en planta ($R=2100m$) y la tipología es de vigas prefabricadas en artesa de 2 m de canto.
- La sección tipo del tronco de la variante consiste en una calzada de 7 m (dos carriles de 3,5 m), con arcenes de 1,5 m y bermas de 0,5 m.
- El firme se ha dimensionado para un tráfico pesado T2. Se considera inicialmente una explanada E2 obtenida mediante un paquete de 75 cm de suelo seleccionado de aportación y una sección de firme tipo 221 de la norma 6.1-IC (25 cm de mezcla bituminosa sobre 25 cm de zahorra artificial).

7. ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

Bajo la metodología del Análisis del Ciclo de Vida, se ha realizado un análisis ambiental de las actividades proyectadas inicialmente.

Este análisis se centra en valorar qué aportes (entradas o inputs) se realizan en el proyecto para llevar a cabo las actividades previstas, y cuáles son los productos (salidas u outputs), de estas actividades, y cómo afectan al medio ambiente. Los tipos de entradas y salidas que se tienen en el proyecto, y afectan al medio ambiente, son múltiples. Por ejemplo, las entradas que se tienen son materias primas, aire, agua o energía; y las salidas que se tienen son el producto principal terminado, emisiones al aire, vertidos al agua, residuos sólidos, o vertidos al suelo. Para la estimación del impacto del proyecto, se han tenido en cuenta los indicadores de consumo de energía y de emisiones de CO₂. Los datos de estos indicadores para las actividades propias involucradas en la construcción de carreteras, y las actividades del sector de la construcción en general, se toman de la Base de datos del Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña. Este flujo de entradas y salidas, se muestra en la Figura 3.

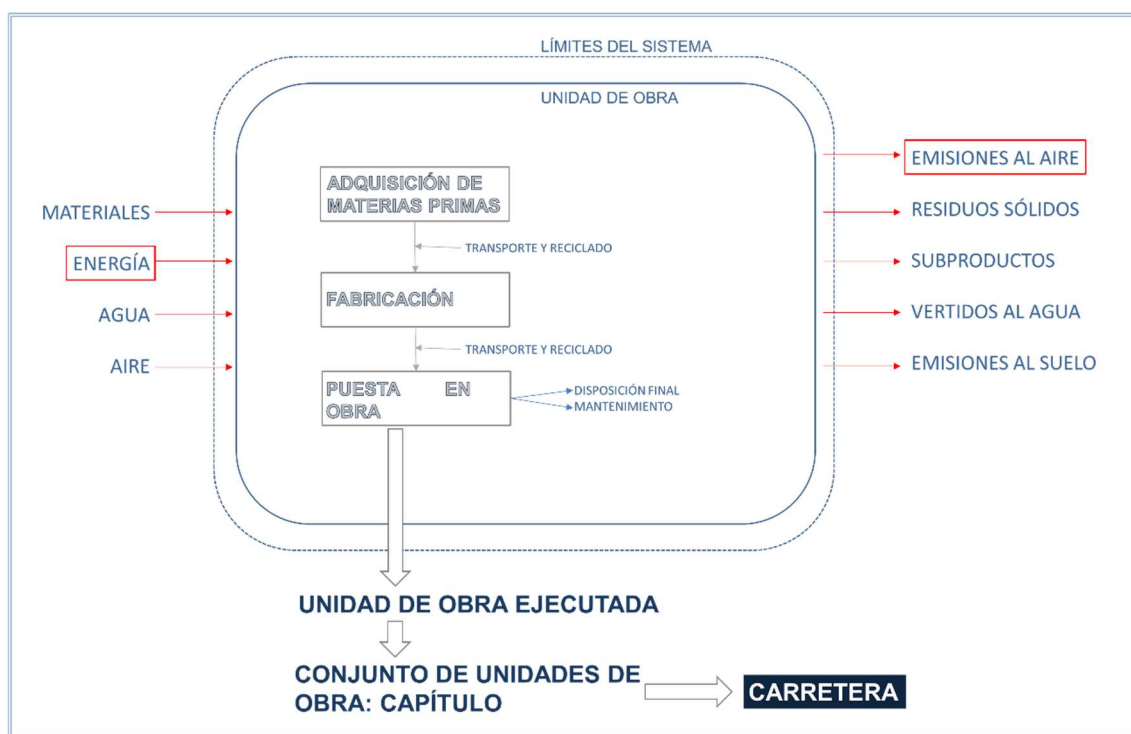


Figura 3. Esquema de flujo de entradas y salidas dentro de unidad de obra tipo. (Elaboración: Propia)

En este esquema se muestra gráficamente cómo intervienen los distintos inputs y outputs, en la construcción de la carretera. Se entiende cada unidad de obra como un sistema en el cual se tienen las entradas y salidas mencionadas, y está formada por los procesos de adquisición de materias primas, fabricación y puesta en obra. A su vez, entre estos procesos principales se tienen otros procesos como los de transporte y reciclado, disposición final de la obra y mantenimiento. Todos estos procesos, son los encargados de tomar materiales, energía, agua y/o aire, y dar como resultado la unidad de obra completamente ejecutada, además de emisiones al aire, residuos sólidos, subproductos, vertidos al agua y/o emisiones al suelo. Un grupo de unidades de obra completamente ejecutadas da lugar a los capítulos, (afirmado, estructuras, explanaciones...), y el total de los capítulos da lugar a la carretera.

Dentro del proyecto, las unidades de obra se dividen en conceptos de mano de obra, maquinaria y material, que son los elementos de cada una de las unidades de obra que se pueden cuantificar y asociarles un consumo de energía y unas emisiones. Se define que los procesos de adquisición de materias primas, fabricación y transportes hasta el pie de obra, están englobados dentro de los conceptos asociados a materiales. En el proceso de puesta en obra, intervienen los conceptos de maquinaria, que se encargan de transformar los materiales que se aportan, en el resultado final de la unidad de obra.

No en todas las unidades de obra se produce aporte de material, por lo que en esos casos, únicamente se tiene el proceso de puesta en obra, y éstas solo llevan incluidos conceptos de maquinaria, como es el caso de las unidades de obra correspondientes a movimientos de tierras o demoliciones.

La metodología del Análisis del Ciclo de Vida se divide en 4 fases:

- 1) Definición del objetivo y alcance del análisis: que se establece que es la estimación del impacto ambiental que supone la construcción de la Variante de Murillo de río Leza, desde el punto de vista del consumo de energía y las emisiones de CO₂.
- 2) Inventario del Ciclo de Vida (ICV): en esta fase se recopilan todos los aspectos del proyecto que son susceptibles de consumir energía y emitir CO₂. Esto se traduce en obtener las mediciones por una parte de las unidades de obra presentes en el proyecto, y de los conceptos unitarios presentes en estas unidades de obra. Se excluyen de este inventario los conceptos de mano de obra, pues no es susceptible de causar impacto ambiental.

En primer lugar, se toma del Documento 4-Presupuesto, del proyecto original, la división de la obra en Capítulos. Los 11 capítulos en los cuáles se divide el presupuesto son los siguientes:

- Capítulo 1: Explanación y demoliciones.
- Capítulo 2: Drenaje.
- Capítulo 3: Estructuras.
- Capítulo 4: Firmes y pavimentos.
- Capítulo 5: Obras complementarias.
- Capítulo 6: Señalización y balizamiento.
- Capítulo 7: Reposición de servicios afectados.
- Capítulo 8: Integración ambiental.
- Capítulo 9: Seguimiento arqueológico.
- Capítulo 10: Gestión de residuos.
- Capítulo 11: Seguridad y Salud.

Dentro de estos capítulos se encuentran las unidades de obra, en total, se tienen 86 unidades de obra en el proyecto. Se recopila la medición de cada una de las unidades de obra dentro del capítulo, y se agrupan para obtener la medición dentro del capítulo total.

El último apartado dentro de esta fase, consiste en obtener la cantidad total de cada concepto que se tiene en el proyecto. Del Anejo 15-Justificación de Precios, del proyecto original, se obtiene la definición y descomposición de cada una de las unidades de obra. Se multiplica la cantidad parcial de cada concepto dentro de la unidad de obra, por la cantidad total de la unidad de obra correspondiente, y si un mismo concepto se encuentra en varias unidades de obra, se suman las cantidades totales de estos conceptos en cada una de las unidades de obra en las cuales se encuentra, con lo que finalmente se obtiene la cantidad total del concepto dentro del proyecto. Se tienen un total de 109 conceptos asociados materiales, y un total de 55 conceptos asociados a maquinaria.

- 3) Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida (EICV): Consiste en determinar la cuantía de impacto asociada a cada uno de los datos recopilados en el inventario. Es decir, asignar a cada uno de los conceptos, un impacto unitario. Estos valores se toman de la Base de datos mencionada anteriormente. Se forma también el impacto de cada unidad de obra a partir de los impactos de los conceptos unitarios que las componen.
- 4) Interpretación de los resultados: Se extraen los resultados derivados de las etapas anteriores. Se cruzan los valores del Inventario (Cantidad total de cada unidad de obra o concepto), con los valores de la Evaluación (Impacto unitario de cada unidad de obra o concepto). A continuación, se muestran de manera breve, una parte de los resultados obtenidos en el análisis.

En la Tabla 1, se muestran los 30 conceptos que mayor consumo de energía representan dentro del proyecto. Entre todos, suponen el 94% de la energía consumida en el proyecto.

Código	Descripción	Energía total KWh	Porcentaje del total
IMAT014	Escollera de 1000 kg	8.527.750,81	36,52%
IMAT001	Acero en redondos B-500-S	2.451.206,90	10,50%
IMAT084	Material tolerable de aportación, incluyendo canon	2.388.584,46	10,23%
Q033	Camión basculante 4x4 14 t	1.287.708,69	5,51%
IMAT083	Material seleccionado de aportación, incluyendo canon	1.271.360,93	5,44%
Q030	Premarcaje de marca vial	550.885,47	2,36%
MAT005	Hormigón HA-30/P/20/IIa+Qb central	542.550,33	2,32%
IMAT004	Zahorra artif. ZA 0/20 75%	416.564,12	1,78%
MAT004	Hormigón HA-25/B/20/IIa central	367.077,53	1,57%
Q013	Cisterna agua s/camión 10.000 l	356.534,76	1,53%
MAT003	Hormigón HNE-20/P/20 central	344.395,20	1,47%
Q011	Pala cargadora neumáticos 200 CV/3,7m3	311.091,23	1,33%
IMAT013	Emulsión asfáltica tipo C60B3 ADH	293.485,50	1,26%
IMAT054	Placa prefabricada de hormigón de 7cm de espesor	259.558,18	1,11%
Q024	Motoniveladora de 135 CV	235.183,44	1,01%
MAT006	Hormigón HA-30/F/20/IIa+Qb central	234.399,37	1,00%
Q001	Grúa telescópica autoprop. 20 t	221.470,14	0,95%
Q022	Rodillo vibrante autopropuls.mixto 15 t	219.683,87	0,94%
Q043	Perforación pilote D 1000 mm. CPI-4	215.551,50	0,92%
IMAT057	Viga prefabricada hormigón pret. canto 2 m y luz hasta 42 m	198.550,81	0,85%
IMAT086	Malla 15x15x6 2,870 kg/m2	197.833,31	0,85%
IMAT012	Emulsión asfáltica tipo C60BF4 IMP	167.212,50	0,72%
IMAT045C	Betún B 60/70 a pie de planta BASE	137.297,73	0,59%
IMAT056	Viga prefabricada hormigón pret. canto 2 m y luz hasta 42 m	123.430,01	0,53%
IMAT027	Barrera de seguridad doble onda galv.	111.112,05	0,48%
IMAT045B	Betún B 60/70 a pie de planta BIN	100.469,79	0,43%
Q004	Dozer cadenas D-8 335 CV	96.402,79	0,41%
Q036	Extended.asfáltica cadenas 2,5/6m.110CV	94.634,35	0,41%
Q010	Retrocargadora neumáticos 75 CV	89.220,25	0,38%
IMAT070	Tablestaca recuperable de acero	88.381,27	0,38%

Tabla 1. 30 conceptos que mayor consumo de energía suponen. (Elaboración: Propia)

En la Tabla 2, se muestran las 20 unidades de obra que mayor consumo de energía representan dentro del proyecto. Entre todas estas 20 unidades, se consume el 93% de la energía total del proyecto.

Código	Descripción	En. Total kWh	Porcentaje del total
0029	Escollera concertada de 1.000 kg	8.746.186,81	38,28%
0077	Material tolerable de préstamo	2.775.557,29	12,15%
0013	Acero corrugado B 500 S	1.891.167,00	8,28%
0078	Material seleccionado de préstamo	1.442.025,27	6,31%
0071	Pilote fabricado in situ CPI-4	1.114.364,76	4,88%
0001	Desmante para formación de la explanación	715.118,28	3,13%
0023	Zahorra artificial, husos ZA 0/20	655.807,09	2,87%
0006	Hormigón HA-30/P/20/IIa+Qb	554.319,10	2,43%
0003	Formación de terraplén con relleno tolerable	512.884,48	2,25%
0082	Pavimento continuo de hormigón HA-25/P/20/I	383.186,75	1,68%
0026	Mezcla bituminosa en caliente tipo AC-32 BASE 50/70 G	336.634,79	1,47%
0072	Hinca y extracción individual de tablestacas recuperables	301.426,04	1,32%
0027	Emulsión asfáltica catiónica C60B3 ADH	296.809,45	1,30%
0033	Marca vial reflexiva continua blanca/amarilla, de 15 cm	269.705,60	1,18%
0061	Placa prefabricada de hormigón armado	267.882,40	1,17%
0024	Mezcla bituminosa en caliente tipo AC-22 BIN 50/70 S	240.494,44	1,05%
0031	Pintura reflexiva acrílica en cebreados	231.436,36	1,01%
0064	Viga prefabricada de hormigón pretensado	230.235,36	1,01%
0004	Formación de explanada con relleno seleccionado	193.533,11	0,85%
0028	Emulsión asfáltica catiónica de imprimación C60BF4 IMP	179.324,60	0,78%

Tabla 2. 20 unidades de obra que mayor consumo de energía suponen. (Elaboración: Propia)

En la Tabla 3, se muestran los 30 conceptos que mayores emisiones de CO2 representan dentro del proyecto. Entre todos, suponen el 92% de los kg emitidos totales en el proyecto.

Código	Descripción	Emisión total kg CO2	Porcentaje del total
IMAT014	Escollera de 1000 kg	1841.987,90	27,95%
IMAT001	Acero en redondos B-500-S	711.152,62	10,79%
IMAT084	Material tolerable de aportación, incluyendo canon	458.582,92	6,96%
MAT005	Hormigón HA-30/P/20/IIa+Qb central	372.910,64	5,66%
Q033	Camión basculante 4x4 14 t	369.580,97	5,61%
MAT004	Hormigón HA-25/B/20/IIa central	246.542,94	3,74%
IMAT083	Material seleccionado de aportación, incluyendo canon	244.090,14	3,70%
MAT003	Hormigón HNE-20/P/20 central	195.639,01	2,97%
MAT006	Hormigón HA-30/F/20/IIa+Qb central	161.109,51	2,44%
Q030	Premarcaje de marca vial	158.084,71	2,40%
IMAT013	Emulsión asfáltica tipo C60B3 ADH	155.194,60	2,35%
IMAT004	Zahorra artif. ZA 0/20 75%	104.984,66	1,59%
Q013	Cisterna agua s/camión 10.000 l	102.324,93	1,55%
Q011	Pala cargadora neumáticos 200 CV/3,7m3	89.285,80	1,35%
IMAT012	Emulsión asfáltica tipo C60BF4 IMP	88.497,50	1,34%
IMAT054	Placa prefabricada de hormigón de 7cm de espesor	81.914,43	1,24%
IMAT045C	Betún B 60/70 a pie de planta BASE	68.799,61	1,04%
Q024	Motoniveladora de 135 CV	67.490,15	1,02%
IMAT057	Viga prefabricada hormigón pret.	67.155,76	1,02%
Q001	Grúa telescópica autoprop. 20 t	63.566,17	0,96%
Q022	Rodillo vibrante autopropuls.mixto 15 t	63.045,26	0,96%
Q043	Perforación pilote D 1000 mm. CPI-4	61.863,00	0,94%
IMAT086	Malla 15x15x6 2,870 kg/m2	57.369,87	0,87%
IMAT045B	Betún B 60/70 a pie de planta BIN	50.578,01	0,77%
MAT013	Tubo rígido PVC D 110 mm	46.290,00	0,70%
IMAT056	Viga prefabricada hormigón pret.	41.747,68	0,63%
IMAT045A	Betún B 60/70 a pie de planta SURF	41.522,00	0,63%
IMAT027	Barrera de seguridad doble onda galv.	30.023,07	0,46%
Q004	Dozer cadenas D-8 335 CV	27.665,84	0,42%
IMAT055	Neopreno zunchado en placas o bandas	27.484,15	0,42%

Tabla 3. 30 conceptos que mayores emisiones de CO2 producen. (Elaboración: Propia)

En la Tabla 4, se muestran las 20 unidades de obra que mayores emisiones de CO2 representan dentro del proyecto. Entre todas estas 20 unidades, se consume el 91% de la energía total del proyecto.

Código	Descripción	Em. Total Kg CO2	Porcentaje del total
0029	Escollera concertada de 1.000 kg	1.948.033,87	30,12%
0077	Material tolerable de préstamo	569.646,95	8,81%
0013	Acero corrugado B 500 S	548.496,79	8,48%
0071	Pilote fabricado in situ CPI-4	415.598,97	6,43%
0006	Hormigón HA-30/P/20/IIa+Qb	376.380,43	5,82%
0078	Material seleccionado de préstamo	293.072,06	4,53%
0082	Pavimento continuo de hormigón HA-25/P/20/I	253.738,87	3,92%
0001	Desmante para formación de la explanación	205.241,48	3,17%
0023	Zahorra artificial, husos ZA 0/20	173.648,37	2,68%
0027	Emulsión asfáltica catiónica C60B3 ADH	156.148,75	2,41%
0003	Formación de terraplén con relleno tolerable	147.189,73	2,28%
0026	Mezcla bituminosa en caliente tipo AC-32 BASE 50/70 G	126.963,81	1,96%
0072	Hinca y extracción individual de tablestacas recuperables	94.877,17	1,47%
0028	Emulsión asfáltica catiónica de imprimación C60BF4 IMP	91.973,97	1,42%
0024	Mezcla bituminosa en caliente tipo AC-22 BIN 50/70 S	91.621,16	1,42%
0061	Placa prefabricada de hormigón armado	85.257,55	1,32%
0033	Marca vial reflexiva continua blanca/amarilla, de 15 cm	81.527,72	1,26%
0064	Viga prefabricada de hormigón pretensado	76.249,18	1,18%
0081	Canalización alumbrado público en zanja	71.805,28	1,11%
0025	Mezcla bituminosa en caliente tipo AC-16 SURF 50/70 S	69.985,17	1,08%

Tabla 4. 20 unidades de obra que mayor cantidad de emisiones de CO2 generan. (Elaboración: Propia)

En los siguientes gráficos, se muestra el tanto por ciento del impacto ambiental que supone cada capítulo dentro del total del proyecto. Dentro de Otros, se incluyen los resultados asociados a los capítulos de Drenaje, Obras complementarias, Señalización y balizamiento, Reposición de servicios afectados Integración ambiental y Seguimiento arqueológico.

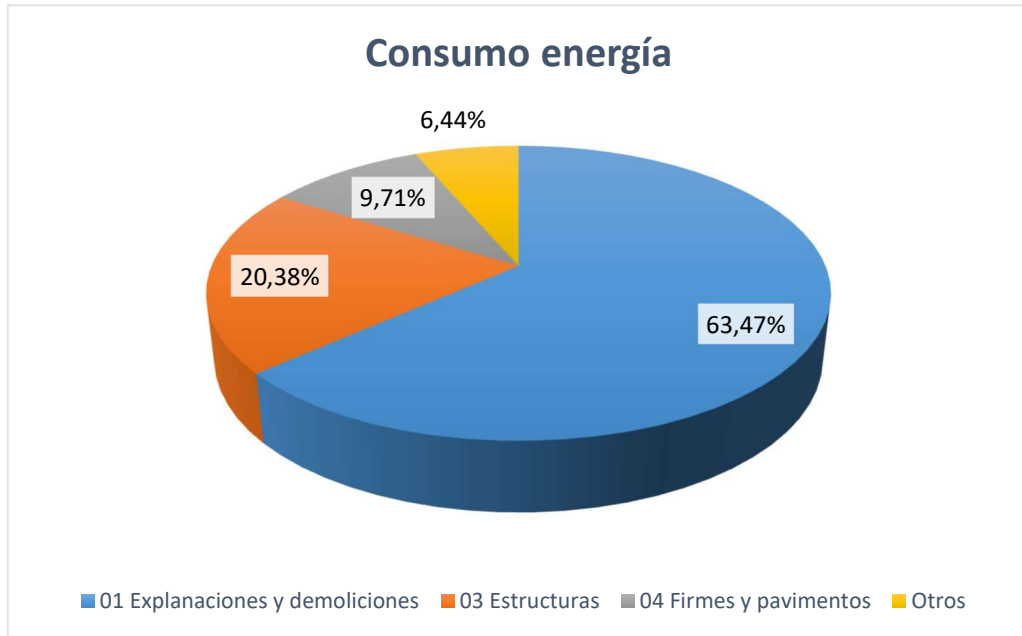


Gráfico 1. Porcentaje de consumo de energía por capítulos. (Elaboración: Propia)

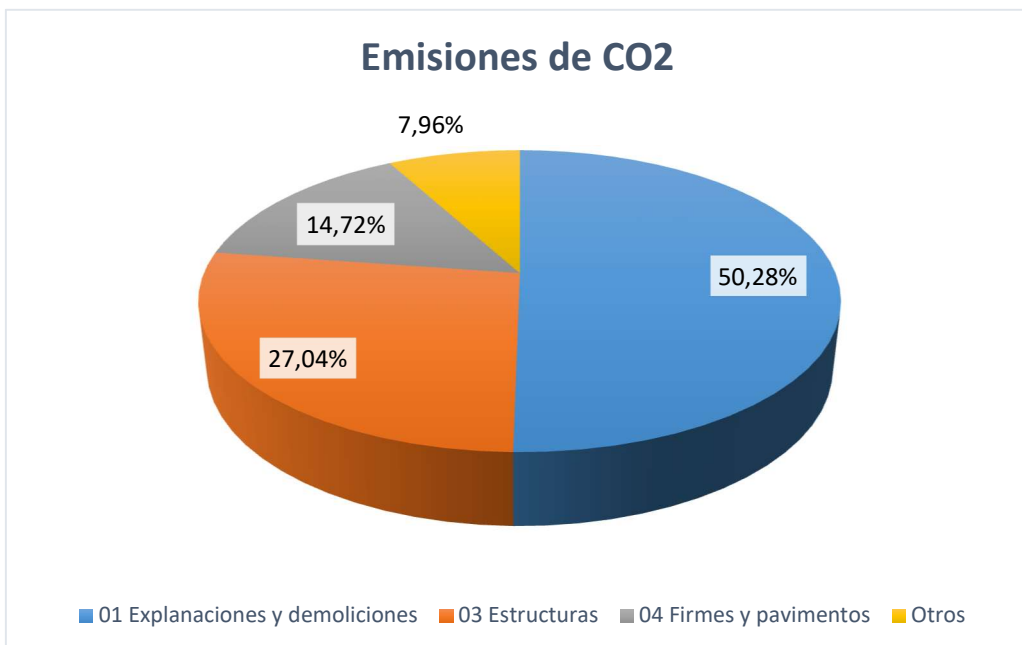


Gráfico 2. Porcentaje de emisiones de CO2 por capítulos. (Elaboración: Propia)

Se observa, que el 93% de la energía total consumida en la obra, se reparte entre tres capítulos. El Capítulo 01- Explanaciones y demoliciones, el Capítulo 03- Estructuras, y el Capítulo 04-Firmes y pavimentos. En estos 3 se centrará la búsqueda de modificaciones y recomendaciones, pues es donde más significativa llegaría a ser la reducción del impacto. En las emisiones de CO₂, se da un caso similar, el 92% de las mismas se reparte entre estos 3 capítulos mencionados.

El valor del impacto asociado al Capítulo 1-Explanaciones y demoliciones, es elevado debido a la presencia de las unidades de formación de terraplén y explanada y a la colocación de escollera.

El valor del impacto asociado al Capítulo 3-Estructuras, es elevado por la presencia de grandes cantidades de acero y hormigón, son dos de los materiales que mayor impacto producen.

El valor del impacto asociado al Capítulo 4-Firmes y pavimentos, es elevado debido a la presencia de productos bituminosos, que también son materiales que emiten una cantidad importante de CO₂, y a la presencia de hormigón.

Una vez obtenidos los resultados y evaluados, con el fin de reducir los valores de consumo de energía y emisiones de energía estimados para el proyecto, se han realizado una serie de modificaciones en diversas unidades de obra, como son:

- **Uso de acero reciclado:** Se introduce un 71% de acero reciclado en la unidad de acero corrugado B500S, con lo que se reduce en un 30,50% tanto el consumo de energía y las emisiones de CO₂ asociadas a este material. El impacto total del proyecto se reduce con esta medida en un 3,73% el consumo de energía y en un 3,83% las emisiones de CO₂.
- **Sustitución de escollera:** Se propone la sustitución del muro de bloques de escollera en la protección de los taludes, por la colocación de geoceldas e hidrosiembra. Con lo que se reduce en un 96,40% el consumo de energía en la ejecución del muro, y en un 18,22% el total del proyecto. Y se reduce en un 93,91% las emisiones de CO₂ de la ejecución, y en el total de las emisiones del proyecto la reducción es de un 12,96%.
- **Reducción dosificación de cemento en hormigón:** Tras comparar el impacto ambiental de cada posible tipo de hormigón a aplicar en función del ambiente, se llega a la conclusión de que el impacto unitario de este material no depende de su resistencia, ni de su consistencia, ni del tamaño máximo del árido, únicamente depende de la dotación de cemento y del uso de

aditivos. Con una dosificación donde se utilicen los menores valores de kg de cemento por m³ de hormigón que establece la EHE, para el caso del hormigón más presente en la obra (HA-25/B/20/IIa), se reduce el consumo de energía en un 6,00% y las emisiones de CO₂ en un 7,67% dentro de la unidad de obra, si se reduce la cantidad de cemento de 300 kg/m³ a 275 kg/m³. Por lo que se recomienda reducir la cantidad de cemento presente en el cemento, siempre que sea posible. La reducción de consumo de energía en el proyecto es de 0,10%, y la reducción de emisión de CO₂ es de un 0,30%.

- **Modificación interior rotondas:** Se propone sustituir el interior de las rotondas, donde el proyecto establecía que fuera realizado por un pavimento de hormigón, por un relleno de tierra vegetal. Con esta medida, se reduce el consumo de energía de la unidad en un 95%, y las emisiones de CO₂ se reducen en un 98%. El consumo total de energía se reduce en un 1,68%, y las emisiones en un 3,99%. Además de la reducción de los valores estimados en los indicadores observados en el análisis, esta medida también contribuye en este caso a la hora de reducir la cantidad de residuos que se generan en obra, pues se tiene un gran volumen de tierra vegetal sobrante que se planea llevar a vertedero, y de esta manera puede ser aprovechada.
- **Maquinaria:** en este aspecto, se observa la importancia que tiene el rendimiento de la maquinaria en el impacto ambiental, y que una realización eficaz, con un elevado rendimiento, de los trabajos, hace que se reduzca el tiempo que se utiliza la maquinaria, y con ello se minimice el consumo de energía y las emisiones de CO₂. Esto sería conveniente a tener en cuenta principalmente en los trabajos de movimientos de tierras, que son los que mayor impacto suponen debido a la maquinaria, y también en el resto de la obra. La disminución del impacto (D en %) está relacionada con el aumento del rendimiento (b como valor entre 0 y 1) según la fórmula: $D = \frac{100}{1+b} * b$. Por ejemplo, con un aumento del rendimiento del 5%, la reducción del impacto ambiental de la unidad de obra se reduce un 4,76%.

El análisis realizado, los resultados obtenidos en el mismo y las modificaciones propuestas, se comentan detalladamente en el Anejo 1-Evaluación Ambiental.

8. DIMENSIONAMIENTO DEL FIRME

En los resultados del análisis anterior, se observa además que unas de las partes que más impacto ambiental generan, son las de Explanaciones (que engloba a la formación de la explanada) y la de Firmes y pavimentos (Ver Gráficos 1 y 2). Para tratar de reducirlo, se ha estudiado la posibilidad de disponer una sección de firme y una nueva explanada alternativas a las dispuestas inicialmente, que permitieran reducir el valor de estos impactos. La solución consiste en modificar la sección 221 de la Norma 6.1-IC, por la 223, y la explanada inicial de 75 cm de Suelo Seleccionado 2, por una explanada compuesta por 25 cm de Suelo Estabilizado 1 y 25 cm de Suelo Seleccionado 3, materiales definidos según el PG-3. Esta modificación supone una reducción del consumo de energía asociado a estas partes del proyecto del 15,42% y de las emisiones del 16,37% respecto a la solución inicial. Respecto al total del proyecto, la reducción del consumo de energía es del 3,56% y las emisiones de CO₂ del 2,33% de las emisiones de CO₂.

Se justifica detalladamente la elección de la sección de firme en el Anejo 2- Dimensionamiento del firme.

Conjuntamente, todas las medidas que se han tomado, suponen una reducción del 27,49% en el consumo de energía y del 23,28% en las emisiones de CO₂.

9. PROGRAMA DE TRABAJOS

Otro de los aspectos realizados en este estudio, ha tenido como objetivo establecer un nuevo programa de trabajos que incluyese las nuevas actividades introducidas en el proyecto. Se ha buscado para esta nueva organización, tratar de evitar que se programase la realización simultánea de un elevado número de actividades que supusiera un aumento en el nivel de ruido que generase la maquinaria.

Se ha propuesto un plazo de ejecución de CATORCE (14) MESES, contados a partir del día siguiente a la firma del Acta de Comprobación del Replanteo. Respecto al plazo inicial del proyecto, este solo se ve incrementado en un día.

El programa se explica de manera más detallada en el Anejo 3-Programa de trabajos, se muestra un diagrama de Gantt, donde se refleja el sistema de ejecución de las obras planteado.

10. PROGRAMA DE GESTIÓN DE RESIDUOS

De acuerdo con lo recogido en el Real Decreto 105/2008, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición. Se ha redactado el Estudio de gestión de residuos de construcción y demolición del Proyecto de construcción de la Variante de Murillo de río Leza. Carreteras LR-259 y LR-261. Fase 1.

Este estudio se incluye como Anejo 4-Programa de Gestión de residuos, y en el mismo se incluye:

- Una estimación de la cantidad de residuos de construcción y demolición generarán en la obra.
- Una serie de medidas para la prevención de residuos en la obra objeto del proyecto.
- Una lista de operaciones de reutilización, valorización o eliminación de los residuos que se generarán.
- Las instalaciones hasta las cuales serán llevados los distintos tipos de residuos.
- Medidas para la separación de residuos en obra.
- Los planos de las instalaciones previstas para el almacenamiento, manejo, separación y, en su caso, otras operaciones de gestión de los residuos de construcción y demolición dentro de la obra.
- Las prescripciones del pliego de prescripciones técnicas particulares del proyecto, en relación con el almacenamiento, manejo, separación y, en su caso, otras operaciones de gestión de los residuos de construcción y demolición dentro de la obra.
- Una valoración del coste previsto de la gestión de los residuos de construcción y demolición.

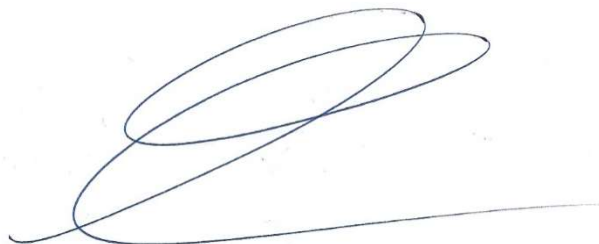
La variación respecto al proyecto original se encuentra en la forma para estimar los recursos que se generan en la obra, para lo cual se ha utilizado la herramienta de acceso libre que ha desarrollado para este fin el Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña. De descarga libre desde la página (<https://itec.cat/estimacioresidus/>). En el proyecto original, no se incluye una estimación completa de los residuos generados, solo se incluye una lista de los mismos, sin mediciones.

Por otro lado, respecto al proyecto original se incluye la organización a seguir dentro de la obra con el fin de separar los residuos generados y que no se mezclen residuos de distintos tipos, para facilitar su posterior destino y tratamiento.

11. CONCLUSIONES

Este trabajo de fin de grado, ha servido de una manera general, para introducir en el alumno la visión de que la sostenibilidad y la reducción del impacto sobre el medio ambiente, deben producirse no solo en actividades industriales y de transporte, sino también en el sector de la construcción, teniendo esto presente desde la fase de proyecto, hasta la de desmantelamiento. Este aspecto no había sido tratado a lo largo del Grado de una manera específica, y mediante el presente trabajo ha sido posible la asimilación de técnicas que permiten reducir el consumo de energía y las emisiones de CO₂ asociadas a los procesos de construcción de las infraestructuras y todo el ciclo de vida de las mismas. Particularmente, se han conseguido introducir mejoras en el Proyecto de la Variante de Murillo de río Leza que supondrían una reducción del uso de energía del 27,49% y una reducción de las emisiones de CO₂ del 23,28% respecto al proyecto original.

Valencia, a 4 de diciembre de 2018

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and a long horizontal stroke extending to the right.

Francisco Fabregat Barberán

12. REFERENCIAS

- [1] «United Nations Framework Convention on Climate Change,» [En línea]. Available: <https://unfccc.int>.
- [2] «Comisión Europea. Energía, Cambio climático, Medio Ambiente.,» [En línea]. Available: <https://ec.europa.eu>.
- [3] «Marco sobre clima y energía para 2030,» [En línea]. Available: <https://ec.europa.eu>.