



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS.
MÁSTER UNIVERSITARIO EN PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN EN INGENIERÍA CIVIL.

**SISTEMAS DE MONITORIZACIÓN DE
TALUDES EN CARRETERAS Y VÍAS
FERROVIARIAS EN ESPAÑA**

JULIO DE 2020

AUTOR: ELISEO GÓMEZ MIRALLES

TUTOR: JULIA IRENE REAL HERRAÍZ

CO-TUTOR: JAIME JIMENEZ AYALA



AGRADECIMIENTOS

A Julia y Ernesto, por el apoyo que me han dado desde que comencé el presente trabajo de investigación con ellos, tanto académica como humanamente. Han sido parte fundamental de todos estos meses aquí en Valencia, dos grandes profesionales.

A Jaime por su excelente predisposición, disponibilidad y apoyo. Además de los interesantes debates que nos brindó en sus clases, un gran docente.

A mi familia que, desde el primer momento, me apoyaron en la iniciativa de abandonar Argentina en busca de experiencias académicas y laborales, que me enriquezcan profesionalmente pero fundamentalmente como ser humano. Mis padres, Guillermo y Viviana, y mis hermanos, Joaquín, Tani y Carolina, que nunca dejaron de estar, a pesar de los kilómetros de distancia.

A mis compañeros de master, un hermoso grupo de gran cantidad de nacionalidades diferentes, que enriqueció mucho el debate, los puntos de vista y los aprendizajes.

A mis colegas del “depar”, que han sido una genial compañía este tiempo, y de quienes aprendo todos los días.

A Mati, con quien vine de Argentina a por esta experiencia, y no puede haber resultado mejor compañía. A Tuti, quien se transformó en parte de mi familia.

A Cris, una persona muy especial, que me ha acompañado a lo largo de este camino, siempre con energía positiva y un poder de convicción enorme.

En fin, a todos los que he tenido la suerte de cruzarme y conocer en este tiempo.



RESUMEN EJECUTIVO

| | |
|---|--|
| <p>1. Planteamiento del problema a resolver</p> | <p>España posee un relativo atraso en término de innovación respecto a su región y, por otro lado, posee la característica de un stock de activos de infraestructuras en proceso de envejecimiento, lo que incrementará sus costes de mantenimiento y renovación los próximos años. Es imperante la necesidad de apuntalar el proceso de innovación en el sector, con el fin de lograr herramientas, sistemas y procesos de construcción y explotación de las infraestructuras con una mayor calidad y un menor coste.</p> <p>En este contexto, los taludes representan elementos de complejidad y, al mismo tiempo, uno de los elementos claves en la gestión del mantenimiento de carreteras y vías ferroviarias, pudiendo tener un efecto exponencial en los costes si no son tratados adecuadamente.</p> |
| <p>2. Objetivos</p> | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Analizar los sistemas de monitorización de taludes planteados en términos técnicos, utilizando como conceptos bases la precisión, la resolución temporal, la resolución espacial y la sensibilidad a factores externos. ✓ Analizar los sistemas de monitorización de taludes planteados en términos económicos, mediante la utilización del criterio de rentabilidad conocido como “Valor Actual Neto”, aplicado al flujo de fondos potencial de cada sistema implementado en el mercado español en un horizonte de 20 años. ✓ Identificar cuáles de las variables supuestas en el análisis económico impactan más en el resultado ante un cambio en sus valores, es decir, realización de un “Análisis de Sensibilidad” ✓ Planteamiento de diferentes escenarios asignando variaciones a los parámetros más sensibles (identificados en el punto anterior) y análisis de sus resultados. |
| <p>3. Estructura organizativa</p> | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Capítulo 1: Introducción. ✓ Capítulo 2: Contexto ✓ Capítulo 3: Marco teórico y estado del arte ✓ Capítulo 4: Mantenimiento de taludes en carreteras y vías ferroviarias. ✓ Capítulo 5: Mantenimiento predictivos en taludes de carreteras y vías ferroviarias: sistemas de monitorización. ✓ Capítulo 6: Análisis comparativo de los sistemas de monitorización de taludes aplicados a carreteras y vías ferroviarias de España. |

| | |
|------------------------------|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Capítulo 7: Conclusiones, limitaciones y futuras líneas de investigación. ✓ Capítulo 8: Referencias ✓ Capítulo 9: Anejos. |
| 4. Método | <p>Se recurrió fundamentalmente a la revisión bibliográfica y recopilación de datos. Se hizo utilización de diversas bases de datos, entre la que se destaca en Instituto Nacional de Estadística. Además, se hizo utilización de herramientas de cálculo para el análisis comparativo económico. En este caso, el Microsoft Excel.</p> |
| 5. Cumplimiento de objetivos | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Objetivo 1: Se cumplió conforme, cuyos resultado se ven resumidos en la Tabla 6: comparativa de aspectos técnicos de los sistemas analizados para monitorización de taludes. fuente: elaboración propia ✓ Objetivo 2. Se cumplió conforme, cuyos resultados se ven resumidos en la Tabla 18: valor actual neto de cada sistema según el análisis realizado. fuente: elaboración propia ✓ Objetivo 3: Se cumplió conforme, cuyos resultados se ven resumidos en las tablas: Tabla 19: cálculo de índice de sensibilidad en relación a la probabilidad de desmoronamiento. Fuente: elaboración propia; Tabla 20: cálculo de índice de sensibilidad en relación al ahorro por intervención temprana. Fuente: elaboración propia; Tabla 21: cálculo de índice de sensibilidad en relación tasa de interés nominal. Fuente: elaboración propia; Tabla 22: cálculo de índice de sensibilidad en relación tasa de inflación estimada. Fuente: elaboración propia; Tabla 23: cálculo de índice de sensibilidad en relación a los costes de aplicación. Fuente: elaboración propia. ✓ Objetivo 4: Se cumplió conforme, cuyos resultados se ven resumidos en la Tabla 28: resumen de los resultados obtenidos del análisis de escenarios. Fuente: elaboración propia. |
| 6. Contribuciones | <p>El presente análisis comparativo sirve como una guía que puede tomarse como referencia para el análisis de sistema de monitorización de taludes en España.</p> |
| 7. Recomendaciones | <p>Diversas recomendaciones se hacen a lo largo del presente Trabajo de Fin de Máster. Entre ellas, la que más se destaca es la inversión en I+D+i vinculada a sistemas de conservación y mantenimiento de infraestructuras, las cuales pueden tener un impacto altamente positivo, como en el caso analizado del sistema TALUDES.</p> |
| 8. Limitaciones | <p>Las mayores limitaciones que tiene el presente trabajo de fin de master son las siguientes:</p> |

| | |
|--|---|
| | <ul style="list-style-type: none">✓ El análisis técnico se ha basado en la información más actual de cada una de las tecnologías abordadas. Sin embargo, la velocidad de cambios y del progreso tecnológico es superlativa, hecho por el cual, cualquiera de los sistemas analizados podría tener una mejora de sus prestaciones al corto plazo.✓ Si bien se simuló la aplicación del sistema de forma gradual en los taludes críticos existentes en las redes de carreteras y ferroviarias de España, la materialización de esta situación a la realidad lleva aparejado muchos otros aspectos no mencionados aquí. Entre estos, se puede mencionar los procesos de compras públicas y licitaciones para la instalación de este tipo de sistemas, procesos burocráticos, incertidumbres de gestión, entre otras cosas.✓ El análisis está fundamentado en variables que, si bien están respaldadas ya sea bibliográfica o estadísticamente, esta situación puede cambiar en un futuro cercano, afectando los resultados analizados. Se puede mencionar, por ejemplo, la tasa de descuento seleccionada. |
|--|---|

RESUMEN

El sector de la construcción es uno de los sectores de más **alto impacto en la economía y el empleo** de los países (Kraatz, 2014). Solo en la Unión Europea, esta fracción productiva proporciona 18 millones de puestos de trabajo directos y contribuye a aproximadamente el 9 % del PIB (European Commission, 2020). Además, es un ámbito estratégicamente importante de cara a desafíos como la sustentabilidad energética y el cuidado ambiental. Sin embargo, esta industria ha sido tradicionalmente considerada como uno de los **sectores más atrasados en términos de estandarización, innovación e incorporación de nuevas tecnologías** en sus procesos productivos, impactando negativamente tanto en el **rendimiento** como en la **calidad** de los servicios y productos ofertados.

En este contexto, el **I+D+i puede considerarse como una herramienta clave** en la transformación hacia un horizonte más productivo y estandarizado. Tanto la Investigación como el Desarrollo (I+D) constituyen dos actividades científicas y tecnológicas de gran valor ya que implican la creación de nuevo conocimiento, elementos que si se les añade la aplicación práctica (Innovación), genera nuevos procesos y productos de alto valor agregado (Pujol, 2008). Dentro de este marco, son las **políticas públicas** las que facilitan el desarrollo de la innovación mediante la existencia de normas y leyes que garanticen la propiedad intelectual y una continua cooperación entre los centros dedicados a la investigación, las instituciones y las empresas. (Gann, 1997).

En el presente Trabajo de Fin de Master, se realiza la **comparativa de un método de monitorización de taludes** concebido en el marco de proyectos I+D+i, denominado “TALUDES” en relación a otros métodos existentes en el mercado, aplicado a las carreteras y vías ferroviarias de España. Esta comparativa se aborda desde dos enfoques. En primer lugar, se detalla una **comparativa técnica** en donde se estudian aspectos tales como la precisión, la resolución temporal, la resolución espacial y la sensibilidad a factores externos, entre otras cuestiones. El segundo enfoque plantea una **comparativa económica** de la utilización de los sistemas en un horizonte de 20 años. De esta forma, se plantean los beneficios y costes del uso del sistema estudiado (incluida la inversión en I+D+i) en relación a los demás existentes en el mercado. Para dicho análisis, se utiliza el concepto de **Valor Presente Neto o Valor Actual Neto**. Debido a que los resultados obtenidos están sujetos a variables de entrada o “inputs”, se plantea un **análisis de sensibilidad multidimensional o de escenarios**, en donde se estudia la desviación de los resultados en relación a cambios en las variables de entrada.

Los resultados reflejan un claro beneficio en el largo plazo del sistema surgido de inversión en I+D+i, hecho que refleja el impacto y el retorno que puede tener el fomento y auspicio de la investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación en un país como el español.

Palabras claves: Industria de la construcción, investigación, desarrollo tecnológico, innovación, taludes, mantenimiento predictivo, sistemas de monitorización.

RESUM

El sector de la construcció és un dels sectors de més alt impacte en l'economia i l'ocupació dels països (Kraatz, 2014). Només a la Unió Europea, aquesta fracció productiva proporciona 18 milions de llocs de treball directes i contribueix a aproximadament el 9% del PIB (European Commission, 2020). A més, és un àmbit estratègicament important de cara a desafiaments com la sostenibilitat energètica i la cura ambiental. No obstant això, aquesta indústria ha sigut tradicionalment considerada com un dels sectors més endarrerits en termes d'estandardització, innovació i incorporació de noves tecnologies en els seus processos productius, impactant negativament tant en el rendiment com en la qualitat dels serveis i productes oferits.

En aquest context, l'R+D+i pot considerar-se com una eina clau en la transformació cap a un horitzó més productiu i estandarditzat. Recerca i desenvolupament (R+D) representen dues activitats científiques i tecnològiques de gran valor perquè impliquen la creació de nou coneixement, elements que si se'ls afig l'aplicació pràctica (Innovació), genera nous processos i productes d'alt valor agregat (Pujol, 2008). Dins d'aquest marc, són les polítiques públiques les que faciliten el desenvolupament de la innovació mitjançant l'existència de normes i lleis que garantiscen la propietat intel·lectual i una contínua col·laboració entre els centres d'investigació i les empreses i institucions (*Gann, 1997).

En el present Treball de Fi de Màster, es realitza la comparativa d'un mètode de monitoratge de talussos concebut en el marc de projectes R+D+i, denominat "TALUDES" amb relació a altres mètodes existents en el mercat, aplicat a les carreteres i vies ferroviàries d'Espanya. Aquesta comparativa s'aborda des de dos enfocaments. En primer lloc, es detalla una comparativa tècnica on s'estudien aspectes com ara la precisió, la resolució temporal, la resolució espacial i la sensibilitat a factors externs, entre altres qüestions. El segon enfocament planteja una comparativa econòmica de la utilització dels sistemes en un horitzó de 20 anys. D'aquesta forma, es plantegen els beneficis i costos de l'ús del sistema estudiat (inclosa la inversió en R+D+i) amb relació als altres existents en el mercat. Per a aquesta anàlisi, s'utilitza el concepte de Valor Present Net o Valor Actual Net. Pel fet que els resultats obtinguts estan subjectes a variables d'entrada o "inputs", es planteja una anàlisi de sensibilitat multidimensional o d'escenaris, on s'estudia la desviació dels resultats amb relació a canvis en les variables d'entrada.

Els resultats reflecteixen un clar benefici en el llarg termini del sistema sorgit d'inversió en R+D+i, fet que reflecteix l'impacte i el retorn que pot tindre el foment i auspici de la investigació, el desenvolupament tecnològic i la innovació en un país com l'espanyol.

Paraules claus: Indústria de la construcció, investigació, desenvolupament tecnològic, innovació, talussos, manteniment predictiu, sistemes de monitoratge.

ABSTRACT

Construction industry is generally one of the highest-impact sectors in the economy and employment of countries (Kraatz, 2014). Only in the European Union, this industry creates more than 18 million jobs and contributes to approximately 9% of GDP (European Commission, 2020). In addition, it is a strategically important area for challenges such as energy sustainability and environmental care. However, this industry has traditionally been regarded as one of the most backward sectors in terms of standardization, innovation and incorporation of new technologies in its production processes, negatively impacting both the performance and quality of the services and products offered.

In this context, R&D can be seen as a key tool in transforming towards a more productive and standardized horizon. Research and Development (R&D) represent two scientific and technological activities of great value since they involve the creation of knowledge, elements that if the practical application (Innovation) is added, it generates new processes and products of high added value (Pujol, 2008). Within this framework, it is public policies that facilitate the development of innovation through the existence of rules and laws that guarantee intellectual property and continuous collaboration between research centres, institutions and enterprises (Gann, 1997).

In this Final Master Work, a comparison between a slope monitoring system conceived from R&D project and current technological state-of-art was carried out, particularly applied in Spanish road and railways. This comparison is based on two approaches. First, a technical comparison is detailed where aspects such as accuracy, spatial resolution, temporal resolution and external sensitivity, among other are studied. The second approach proposes an economic comparison of the use of systems over a 20-year horizon. In this way, a Cost-Benefit Analysis was made, including the concept of Net Present Value. Because the results obtained are subject to input variables, a multidimensional sensitivity or scenario analysis is proposed, in which the deviation of the results in relation to changes in the input variables is studied.

The results reflect a clear benefit in the long term of the system that emerged from investment in R&D, a fact that point out the impact and return that the promotion of R&D can have in a country such as Spanish.

Keywords: Construction industry, research, innovation, slopes, predictive maintenance, slopes monitoring systems.

ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 19 |
| 1.1. INTRODUCCIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 19 |
| 1.1.1. INTRODUCCIÓN | 19 |
| 1.1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 19 |
| 1.2. JUSTIFICACIÓN | 20 |
| 1.3. JUSTIFICACIÓN DE USO DE LAS COMPETENCIAS Y CONOCIMIENTOS ADQUIRIDOS EN EL MASTER. | 20 |
| 1.4. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN | 21 |
| 1.4.1. OBJETO | 21 |
| 1.4.2. ALCANCE | 21 |
| 1.4.3. OBJETIVOS | 21 |
| 1.4.3.1. OBJETIVO GENERAL | 21 |
| 1.4.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 21 |
| 1.4.4. METODOLOGÍA | 22 |
| 1.5. SISTEMA DE CITAS Y REFERENCIAS | 23 |
| 2. CONTEXTO | 25 |
| 2.1. INTRODUCCIÓN | 25 |
| 2.2. EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN | 25 |
| 2.2.1. EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN Y SU IMPACTO EN LA ECONOMÍA DE LOS PAÍSES | 25 |
| 2.2.2. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN. | 27 |
| 2.2.3. INNOVACIÓN EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCION | 29 |
| 2.2.4. COMPARATIVA CON OTRAS INDUSTRIAS | 31 |
| 2.3. EL SECTOR DE LA CONSTRUCCION EN ESPAÑA | 35 |
| 2.3.1. GENERALIDADES DEL SECTOR | 35 |
| 2.3.2. EL PARTICULAR ENVEJECIMIENTO DE LAS INFRAESTRUCTURAS ESPAÑOLAS. | 37 |
| 2.3.3. INNOVACION EN ESPAÑA | 38 |
| 2.3.4. INNOVACION EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN ESPAÑOL | 41 |
| 2.4. BREVE RESEÑA DEL CAPÍTULO | 42 |
| 3. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE | 44 |
| 3.1. INTRODUCCIÓN | 44 |
| 3.2. CONCEPTOS Y TEORÍAS | 44 |
| 3.2.1. INVESTIGACION, DESARROLLO E INNOVACIÓN (I+D+I). | 44 |
| 3.2.2. GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN | 46 |
| 3.2.3. SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN | 47 |
| 3.3. ESTADO DEL ARTE | 51 |
| 3.3.1. EVOLUCIÓN DE LA INSTITUCIONALIZACIÓN DEL I+D+I EN ESPAÑA | 51 |
| 3.3.2. LA NORMALIZACIÓN DE PROYECTOS I+D+I: NORMA UNE 166.001:2002 EX GESTIÓN DE I+D+I. | 57 |
| 3.3.3. ACTUALIDAD DE LA INSTITUCIONALIZACIÓN DEL I+D+I EN ESPAÑA | 58 |
| 3.4. BREVE RESEÑA DEL CAPITULO | 60 |

| | |
|---|-----------|
| 4. MANTENIMIENTO DE TALUDES EN CARRETERAS Y VÍAS FERROVIARIAS | 62 |
| 4.1. ESTABILIDAD DE TALUDES | 62 |
| 4.2. TALUDES EN LAS INFRAESTRUCTURAS VIALES Y FERROVIARIAS | 63 |
| 4.3. FILOSOFÍAS DE MANTENIMIENTO DE TALUDES: CORRECTIVO, PREVENTIVO, PREDICTIVO. | 63 |
| 4.3.1. MANTENIMIENTO CORRECTIVO | 65 |
| 4.3.2. MANTENIMIENTO PREVENTIVO | 66 |
| 4.3.3. MANTENIMIENTO PREDICTIVO | 67 |
| 4.4. NECESIDAD DE CAMBIO DE ENFOQUE EN EL MANTENIMIENTO DE TALUDES | 68 |
| 4.5. BREVE RESEÑA DEL CAPÍTULO | 69 |
| 5. MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE TALUDES EN CARRETERAS Y VÍAS FERROVIARIAS: SISTEMAS DE MONITORIZACIÓN. | 72 |
| 5.1. SISTEMAS DE TELEDECCIÓN AEREA | 73 |
| 5.1.1. LASER IMAGING DETECTION AND RANGING (LIDAR) | 73 |
| 5.1.2. FOTOGRAMETRÍA AÉREA | 74 |
| 5.1.3. INSAR (INTERFEROMETRIC SYNTHETIC APERTURE RADAR) | 75 |
| 5.2. SISTEMAS DE TELEDECCIÓN TERRESTRE | 76 |
| 5.2.1. TERRESTRIAL LASER SCANNER (TLS) | 76 |
| 5.2.2. FOTOGRAMETRÍA TERRESTRE | 77 |
| 5.2.3. TERMOGRAFÍA APLICADA (IRT) | 78 |
| 5.3. SISTEMAS DE SENSÓRICA PUNTUAL | 78 |
| 5.3.1. FIBRA OPTICA APLICADA (BOTDR) | 78 |
| 5.3.2. SENSORES GEOTÉCNICOS | 79 |
| 5.4. SISTEMA INNOVADOR DE MONITORIZACION: LA SOLUCIÓN “TALUDES” | 79 |
| 5.4.1. INTRODUCCIÓN | 79 |
| 5.4.2. MARCO INSTITUCIONAL I+D+I DEL PROYECTO | 80 |
| 5.4.3. ASPECTOS TÉCNICOS DEL PROYECTO | 81 |
| 5.4.4. VALIDACION DEL SISTEMA | 83 |
| 5.5. BREVE RESEÑA DEL CAPITULO | 84 |
| 6. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS SISTEMAS DE MONITORIZACION DE TALUDES APLICADOS A CARRETERAS Y VÍAS FERROVIARIAS DE ESPAÑA. | 86 |
| 6.1. INTRODUCCIÓN | 86 |
| 6.2. CONTEXTO DE APLICACIÓN DEL ANALISIS COMPARATIVO | 86 |
| 6.3. ANALISIS TÉCNICO | 88 |
| 6.3.1. PRECISIÓN | 88 |
| 6.3.2. RESOLUCIÓN TEMPORAL | 88 |
| 6.3.3. RESOLUCIÓN ESPACIAL | 89 |
| 6.3.4. SENSIBILIDAD A FACTORES EXTERNOS | 90 |
| 6.4. ANALISIS ECONÓMICO-FINANCIERO | 91 |
| 6.4.1. INTRODUCCIÓN. | 91 |
| 6.4.2. CRITERIO DE ANÁLISIS UTILIZADO | 91 |
| 6.4.3. APLICACIÓN DEL MÉTODO | 92 |
| 6.4.3.1. HORIZONTE DE ANÁLISIS | 92 |



| | | |
|-------------|---|------------|
| 6.4.3.2. | TASA DE DESCUENTO | 92 |
| 6.4.3.3. | INGRESOS | 93 |
| 6.4.3.4. | COSTOS | 95 |
| 6.4.3.5. | FLUJO DE FONDOS Y VALOR ACTUAL NETO (VAN) | 99 |
| 6.4.3.6. | ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE VARIABLES | 100 |
| 6.4.3.7. | ANÁLISIS DE ESCENARIOS | 103 |
| 6.5. | BREVE RESEÑA DEL CAPÍTULO | 105 |
| 7. | CONCLUSIONES, LIMITACIONES Y FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACION | 108 |
| 7.1. | CONCLUSIONES | 108 |
| 7.2. | LIMITACIONES | 110 |
| 7.3. | FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN | 110 |
| 7.4. | CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS | 110 |
| 8. | REFERENCIAS | 113 |
| 9. | ANEJOS | 122 |
| 9.1. | SISTEMA TALUDES | 122 |
| 9.2. | SISTEMA INSAR | 125 |
| 9.3. | SISTEMA LIDAR | 128 |
| 9.4. | SISTEMA FOTOGRAMÉTRICO | 131 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| TABLA 1: EVOLUCIÓN DEL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN EN ESPAÑA. FUENTE CESCE. (2019). INFORME SECTORIAL DE LA ECONOMÍA ESPAÑOLA 2019. | 36 |
| TABLA 2: IMPULSIÓN DE LA OBRA CIVIL POR MEDIO DE LICITACIÓN Y CONTRATACIÓN PÚBLICA. FUENTE: FUENTE CESCE. (2019). INFORME SECTORIAL DE LA ECONOMÍA ESPAÑOLA 2019. | 36 |
| TABLA 3: PORCENTAJE DE STOCK DE CAPITAL DE INFRAESTRUCTURAS CON MÁS DE 20 AÑOS DE ANTIGÜEDAD. FUENTE: ARCIA PEREZ, F., MAS IVARS, M., SERRANO MARTINEZ, L., & JIMENEZ, E. U. (2019). EL STOCK DE CAPITAL EN ESPAÑA Y SUS COMUNIDADES AUTÓNOMAS. EVOLUCIÓN DE LA EDAD MEDIA DE LAS INVERSIONES Y ENVEJECIMIENTO DEL CAPITAL. | 38 |
| TABLA 4: DATOS DEL SISTEMA NACIONAL VIARIO, Y COMPUTO DE TALUDES EXPUESTOS Y DE ALTO RIESGO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A DATOS DE MINISTERIO DE TRANSPORTE, M. Y A. U. (2018). ANUARIO ESTADÍSTICO 2018. CAPÍTULO 7: CARRETERAS. | 87 |
| TABLA 5: DATOS DEL SISTEMA NACIONAL VIARIO, Y COMPUTO DE TALUDES EXPUESTOS Y DE ALTO RIESGO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A DATOS DE MINISTERIO DE TRANSPORTES, M. Y A. U. (2018). RED FERROVIARIA DE INTERÉS GENERAL (RFIG). | 87 |
| TABLA 6: COMPARATIVA DE ASPECTOS TÉCNICOS DE LOS SISTEMAS ANALIZADOS PARA MONITORIZACIÓN DE TALUDES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. | 91 |
| TABLA 7: IPC ESPAÑA 2010-2019. FUENTE: XXX | 92 |
| TABLA 8: TASA DE INTERÉS CONSIDERADA, FEBRERO 2020. FUENTE BANCO DE ESPAÑA (2020). TIPOS DE INTERÉS | 93 |
| TABLA 9: LICITACIONES PÚBLICAS PARA LA REPARACIÓN DE TALUDES. FUENTE: GOBIERNO DE ESPAÑA (2020) PLATAFORMA DE CONTRATACIONES DEL SP. | 94 |
| TABLA 10: COSTOS DE UN EQUIPAMIENTO PARA SISTEMA DE MONITORIZACIÓN LIDAR. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A DATOS DISPONIBLES DE MERCADO. | 96 |
| TABLA 11: COSTOS POR LA MONITORIZACIÓN ANUAL DE UN TALUD MEDIANTE EL USO DE LIDAR. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A DATOS DISPONIBLES DE MERCADO. | 96 |
| TABLA 12: COSTOS POR LA MONITORIZACIÓN ANUAL DE UN TALUD MEDIANTE EL USO DE LIDAR. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A DATOS DISPONIBLES DE MERCADO | 96 |
| TABLA 13: COSTOS DE UN EQUIPAMIENTO PARA SISTEMA DE MONITORIZACIÓN BASADO EN FOTOGRAMETRÍA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A DATOS DISPONIBLES DE MERCADO. | 97 |
| TABLA 14: COSTOS POR LA MONITORIZACIÓN ANUAL DE UN TALUD MEDIANTE EL USO DE FOTOGRAMETRÍA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A DATOS DISPONIBLES DE MERCADO. | 97 |
| TABLA 15: COSTOS DE INSTRUMENTACIÓN DE UN TALUD. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A LA MEMORIA DE LA POSTULACIÓN DE TALUDES (CDTI). | 98 |
| TABLA 16: COSTOS DE SERVICIO DE MONITOREO FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A LA MEMORIA DE LA POSTULACIÓN DE TALUDES (CDTI). | 98 |
| TABLA 17: INVERSIÓN REALIZADA EN EL PROYECTO I+D+I. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A LA MEMORIA DE LA POSTULACIÓN DE TALUDES (CDTI). | 99 |
| TABLA 18: VALOR ACTUAL NETO DE CADA SISTEMA SEGÚN EL ANÁLISIS REALIZADO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA | 100 |
| TABLA 19: CÁLCULO DE ÍNDICE DE SENSIBILIDAD EN RELACIÓN A LA PROBABILIDAD DE DESMORONAMIENTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. | 101 |
| TABLA 20: CÁLCULO DE ÍNDICE DE SENSIBILIDAD EN RELACIÓN AL AHORRO POR INTERVENCIÓN TEMPRANA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. | 101 |
| TABLA 21: CÁLCULO DE ÍNDICE DE SENSIBILIDAD EN RELACIÓN TASA DE INTERÉS NOMINAL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. | 102 |
| TABLA 22: CÁLCULO DE ÍNDICE DE SENSIBILIDAD EN RELACIÓN TASA DE INFLACIÓN ESTIMADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. | 102 |



| | |
|--|-----|
| TABLA 23: CÁLCULO DE ÍNDICE DE SENSIBILIDAD EN RELACIÓN A LOS COSTES DE APLICACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. | 102 |
| TABLA 24: ANÁLISIS DE ESCENARIO A TRAVÉS DE VARIACIÓN DE PARÁMETROS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. | 103 |
| TABLA 25: ANÁLISIS DE ESCENARIO A TRAVÉS DE VARIACIÓN DE PARÁMETROS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. | 104 |
| TABLA 26: ANÁLISIS DE ESCENARIO A TRAVÉS DE VARIACIÓN DE PARÁMETROS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. | 104 |
| TABLA 27: ANÁLISIS DE ESCENARIO A TRAVÉS DE VARIACIÓN DE PARÁMETROS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. | 104 |
| TABLA 28: RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS DE ESCENARIOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. | 104 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 1: CRECIMIENTO GLOBAL DE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN REAL 2014-2018 POR REGIÓN, Y PROYECTADO PARA 2019-2023. FUENTE: GLOBALDATA'S CONSTRUCTION INTELLIGENCE CENTER (2019) GLOBAL CONSTRUCTION OUTPUT GROWTH TO REACH 3.4% IN 2019, SAYS GLOBALDATA | 26 |
| FIGURA 2: INVERSIÓN EN I+D+I DE LAS 2.500 COMPAÑÍAS MÁS IMPORTANTES DEL MUNDO, ACUMULADA DESDE 2014. FUENTE: KNOEMA (2019) R&D EXPENDITURE BY INDUSTRIAL SECTOR. | 32 |
| FIGURA 3: RESULTADOS DE PESO RELATIVO DE LOS FACTORES ALCANZADO POR OZORHON & ORAL: FUENTE: OZORHON, B., & ORAL, K. (2017). DRIVERS OF INNOVATION IN CONSTRUCTION PROJECTS. JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT, 143(4) | 34 |
| FIGURA 4: RELACIONES ENTRE ACTORES A NIVEL PROYECTO. FUENTE: OZORHON, B., & ORAL, K. (2017). DRIVERS OF INNOVATION IN CONSTRUCTION PROJECTS. JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT, 143(4) | 34 |
| FIGURA 5: EVOLUCIÓN DE MONTOS ASIGNADOS A LICITACIONES PÚBLICAS. FUENTE: CESCE (2019). INFORME SECTORIAL DE LA ECONOMÍA ESPAÑOLA 2019. | 37 |
| FIGURA 6: EVOLUCIÓN DE MONTOS ASIGNADOS VÍA CONTRATACIONES PÚBLICAS. FUENTE: CESCE (2019). INFORME SECTORIAL DE LA ECONOMÍA ESPAÑOLA 2019. | 37 |
| FIGURA 7: EVOLUCIÓN DEL GASTO ASIGNADO A INNOVACIÓN EN ESPAÑA. PERIODO 1964-2018. FUENTE: EPDATA EN BASE AL INE (2020). | 39 |
| FIGURA 8: EVOLUCIÓN DEL GASTO ASIGNADO A INNOVACIÓN RESPECTO AL PIB EN ESPAÑA. FUENTE. EPDTA EN BASE AL INE (2020) | 39 |
| FIGURA 9: INDICADORES DE INNOVACIÓN DE EU27. FUENTE: FUNDACIÓN COTEC PARA LA INNOVACIÓN (2020). ESPAÑA MEJORÓ EN EL ÚLTIMO AÑO CINCO POSICIONES EN EL RANKING DE INNOVACIÓN EUROPEO | 40 |
| FIGURA 10: INDICADORES DE INNOVACIÓN DE ESPAÑA RESPECTO A LA MEDIA EU27. FUENTE: FUNDACIÓN COTEC PARA LA INNOVACIÓN (2020). ESPAÑA MEJORÓ EN EL ÚLTIMO AÑO CINCO POSICIONES EN EL RANKING DE INNOVACIÓN EUROPEO. | 40 |
| FIGURA 11: GASTO EN I+D POR TIPO DE INDUSTRIA. FUENTE: FUNDACIÓN LABORAL DE LA CONSTRUCCIÓN (2020). EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN. INFORME 2019. | 41 |
| FIGURA 12: DOS ENFOQUES DEL CONCEPTO DE GESTIÓN DE INNOVACIÓN. FUENTE. IGARTUA LOPEZ J.I. (2009) GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN EN LA EMPRESA VASCA | 47 |
| FIGURA 13: ELEMENTOS CLAVE INCLUIDOS EN ESTE SISTEMA DE GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN. FUENTE: AENOR - ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. (2014). NORMA UNE 166002. GESTIÓN DE LA I+D+I: REQUISITOS DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE LA I+D+I. | 48 |
| FIGURA 14: REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LOS PROCESOS OPERATIVOS DE LA I+D+I. FUENTE: AENOR - ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. (2014). NORMA UNE 166002. GESTIÓN DE LA I+D+I: REQUISITOS DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE LA I+D+I. | 51 |
| FIGURA 15: FAMILIA DE NORMAS UNE 166.000 FUENTE: SANCHO, M. D., LÓPEZ, F. J. F., & VÁZQUEZ, B. G. (2008). HERRAMIENTAS DE GESTIÓN DE LA I+ D+ I: CARACTERIZACIÓN BASADA EN LAS NORMAS UNE 166000. IN UNIVERSIDAD, SOCIEDAD Y MERCADOS GLOBALES (PP. 529-540). ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE DIRECCIÓN Y ECONOMÍA DE LA EMPRESA (AEDEM). | 55 |
| FIGURA 16: PROCESO DE GESTIÓN CONCEBIDO POR LA NORMA. FUENTE: SANCHO, M. D., LÓPEZ, F. J. F., & VÁZQUEZ, B. G. (2008). HERRAMIENTAS DE GESTIÓN DE LA I+ D+ I: CARACTERIZACIÓN BASADA EN LAS NORMAS UNE 166000. IN UNIVERSIDAD, SOCIEDAD Y MERCADOS GLOBALES (PP. 529-540). ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE DIRECCIÓN Y ECONOMÍA DE LA EMPRESA (AEDEM). | 55 |
| FIGURA 17: CUADRO ESQUEMÁTICO DE RELACIÓN DE LA FAMILIA DE NORMAS UNE 166000. FUENTE: MAURI, M. M., & FA, M. C. (2008). UNE 166002: 2006: ESTANDARIZAR Y SISTEMATIZAR LA I+ D+ I LA NORMA Y LA IMPORTANCIA DE LAS TIC EN SU IMPLEMENTACIÓN. DYNA-INGENIERÍA E INDUSTRIA, 83(6). | 57 |
| FIGURA 18: ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO DE ACTIVOS. FUENTE: AENOR. ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. (2011). IN COMITÉ TÉCNICO AEN/CTN 151 MANTENIMIENTO. | |

| | |
|---|-----|
| INGEMAN. (ED.), UNE-EN 13306:2011. MANTENIMIENTO. TERMINOLOGÍA DEL MANTENIMIENTO. | 65 |
| FIGURA 19: FALLA DE TALUD EN AUTOVÍA SANTIAGO-BRION, GALICIA. FUENTE: LA VOZ DE GALICIA (7 DE JUNIO DE 2016). EL TALUD DE LA AUTOVÍA, PENDIENTE AÚN. RECUPERADO DE LAVOZDEGALICIA.ES/NOTICIA/SANTIAGO/SANTIAGO/2016/03/07/TALUD-AUTOVIA-PENDIENTE/ | 66 |
| FIGURA 20; TALUD PROTEGIDO POR GAVIONES AL COSTADO DE CARRETERA. FUENTE: WIKIVIA (19 DE SEPTIEMBRE DE 2019). ESTABILIZACIÓN DE TALUDES (PROYECTO). RECUPERADO DE WWW.WIKIVIA.ORG/WIKIVIA/INDEX.PHP/ESTABILIZACI%C3%B3N_DE_TALUDES_(PROYECTO) | 67 |
| FIGURA 21: LAS PRINCIPALES ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO DENTRO DE LA GESTIÓN DE ACTIVOS. FUENTE: GARCÍA GOMEZ, J. (2014). LA GESTIÓN DE ACTIVOS EN LA EDIFICACIÓN Y EL MANTENIMIENTO DE EDIFICIOS. TRABAJO DE FIN DE MÁSTER UPV. | 68 |
| FIGURA 22: L3HARRIS (30 DE OCTUBRE DE 2019). REMOTE-SENSED LIDAR TERRAIN MAPPING. RECUPERADO DE HARRIS.COM/SOLUTION/REMOTE-SENSED-LIDAR-TERRAIN-MAPPING | 74 |
| FIGURA 23: EJEMPLO DE MODELO DIGITAL DE TERRENO (MDT) OBTENIDO A PARTIR DE TÉCNICAS FOTOGRAMÉTRICAS (20 DE NOVIEMBRE DE 2019) FUENTE: SERVICIO PERIFÉRICO DE I+D BASADO EN DRONES. UNIVERSIDAD DE ALMERÍA. RECUPERADO DE WWW2.UAL.ES/DRONES/SERVICIOS/TOPOGRAFIA-Y-FOTOGRAMETRIA/ | 75 |
| FIGURA 24: DATOS SATELITALES DE INSAR QUE MUESTRAN LA DEFORMACIÓN PRECURSORA QUE CONDUJO AL DESLIZAMIENTO DE TIERRA DE XINMO EL 24 DE JUNIO DE 2017. FUENTE: CARLÀ, T., INTRIERI, E., RASPINI, F., BARDI, F., FARINA, P., FERRETTI, A., ... & CASAGLI, N. (2019). PERSPECTIVES ON THE PREDICTION OF CATASTROPHIC SLOPE FAILURES FROM SATELLITE INSAR. SCIENTIFIC REPORTS, 9(1), 1-9. | 76 |
| FIGURA 25: EQUIPO TLS PREPARADO PARA LA TOMA DE DATOS DEL TERRENO. FUENTE: HADDAD, D. (29 DE OCTUBRE DE 2019) TLS APPLICATIONS FOR PRECARIOUS ROCK RESEARCH. RECUPERADO DE ACTIVETECTONICS.ASU.EDU/PRECARIOUS_ROCKS/TLS4PBRS.HTML | 77 |
| FIGURA 26: MDT ELABORADO A PARTIR DE LA TOMA DE DATOS CON UN EQUIPO TLS. FUENTE: (29 DE OCTUBRE DE 2019) TLS APPLICATIONS FOR PRECARIOUS ROCK RESEARCH. RECUPERADO DE ACTIVETECTONICS.ASU.EDU/PRECARIOUS_ROCKS/TLS4PBRS.HTML | 77 |
| FIGURA 27. MAPAS 2D DE TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DEL SECTOR UNA CANTERA ADQUIRIDOS A LAS 08:00 H (A) Y 13:00 (B) IMAGEN ÓPTICA ADQUIRIDA POR LA CÁMARA DIGITAL INCORPORADA (C) Y EL MAPA DE TEMPERATURA DE SUPERFICIE DIFERENCIAL 2D (D) ENTRE (A, B). FUENTE: FRODELLA, W., GIGLI, G., MORELLI, S., LOMBARDI, L., & CASAGLI, N. (2017). LANDSLIDE MAPPING AND CHARACTERIZATION THROUGH INFRARED THERMOGRAPHY (IRT): SUGGESTIONS FOR A METHODOLOGICAL APPROACH FROM SOME CASE STUDIES. REMOTE SENSING, 9(12), 1281. | 78 |
| FIGURA 28: 1) REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE PARTE DEL SUBSISTEMA HARDWARE 2) PARTE DE LA ALGORITMIA INTEGRANTE DEL SUBSISTEMA SOFTWARE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A LA MEMORIA DE POSTULACIÓN. | 82 |
| FIGURA 29: ESQUEMA GENERAL DE FUNCIONAMIENTO DE LA SOLUCIÓN TALUDES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE AL DOCUMENTO DE POSTULACIÓN. | 83 |
| FIGURA 30: IMÁGENES REGISTRADOS DURANTE EL PROCESO DE VALIDACIÓN DE LA TECNOLOGÍA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. | 84 |
| FIGURA 31: VAN ACUMULADO DE CADA SISTEMA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. | 100 |
| FIGURA 32: REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS VALORES DE VAN ANTE UNA VARIACIÓN DEL 10% EN CADA VARIABLE SELECCIONADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. | 103 |
| FIGURA 33: VAN DE CADA UNO DE LOS SISTEMAS ANTE CADA UNO DE LOS ESCENARIOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. | 105 |



Capítulo 1: INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1. INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se realizó un análisis comparativo entre las distintas técnicas existente en el estado de la técnica actual para la monitorización de taludes en carreteras y vías ferroviarias de España, en relación a un proyecto innovador denominado “TALUDES”, el cual surge en el ámbito del “I+D+I”.

Para dicha comparativa, se analizó cada solución desde dos puntos de vista: técnicamente y económicamente. En relación al primero, se incluyeron parámetros que hacen a la calidad de los resultados, tales como la precisión, la resolución temporal, la resolución espacial y la sensibilidad a factores extremos. Por otra parte, para compararlos económicamente se utilizó el criterio de rentabilidad de Valor Actual Neto simulando la aplicación de cada solución en el mercado español de taludes carreteros y ferroviarios en un horizonte de 20 años.

1.1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El sector de la construcción es un tipo de industria muy singular en muchos aspectos. Entre ellos, uno de los más influyentes pueden ser considerados la participación de múltiples actores en el proceso productivo, aspecto que impacta negativamente en el proceso de innovación. Es decir, si lo comparamos con otras industrias (la farmacéutica, la automovilística, la electrónica, entre otras, la industria de la construcción posee un claro atraso relativo reflejado en sus cifras de inversión en innovación.

Por otro lado, España posee un relativo atraso en término de innovación respecto a su región y, por otro lado, posee la característica de un stock de activos de infraestructuras en proceso de envejecimiento, lo que incrementará sus costes de mantenimiento y renovación los próximos años. Es imperante la necesidad de apuntalar el proceso de innovación en el sector, con el fin de lograr herramientas, sistemas y procesos de construcción y explotación de las infraestructuras con una mayor calidad y un menor coste. En el caso del mantenimiento de infraestructuras, esto se podría alcanzar cambiando el enfoque de mantenimiento, hoy en día con un carácter marcadamente correctivo y preventivo, hacia soluciones de mantenimiento que sean predictivas.

En este contexto, los taludes representan elementos de complejidad y, al mismo tiempo, uno de los elementos claves en la gestión del mantenimiento de carreteras y vías ferroviarias, pudiendo tener un efecto exponencial en los costes si no son tratados adecuadamente. Las fallas en estas formaciones representan peligros significativos tanto para usuarios de automóviles como para los de trenes, así como un lucro cesante de gran importancia en caso de interrupciones de tránsito extensas.

De esta forma, el presente trabajo realiza un análisis comparativo de los sistemas existentes en la actualidad dedicados al monitoreo de taludes, con un proyecto surgido de iniciativas I+D+I, denominados taludes, desde el punto de vista técnico y económico. Si bien su alcance es limitado para el caso de estudio, este ejemplo denota la importancia que tienen las actividades vinculadas al I+D+I en el surgimiento sistemas y

procesos productivos más eficaces y eficientes en el sector.

1.2. JUSTIFICACIÓN

La elección de la temática del presente Trabajo de Fin de Máster está motivada por un conjunto de aspectos.

En primer lugar, el **desarrollo de proyectos e iniciativas I+D+i** es un ámbito que está teniendo un importante desarrollo en todo el mundo, a pesar de sus pocos años de existencia. El globo, a lo largo de los años, ha comprendido que la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación pueden cambiar el camino de progresos a gran escala en todas las disciplinas de actividad del ser humano. Dentro de este contexto, los estados han dado un cambio de enfoque para promover el desarrollo de este campo. En el ámbito del sector de la construcción, ejemplos como la masificación de viviendas sostenibles, la utilización creciente de estructuras prefabricadas, el cambio de enfoque de las ciudades hacia “Smart Cities”, la autosuficiencia energética en hogares, infraestructuras resilientes, y otros ejemplos más, son casos surgidos de la aplicación de I+D+i en la industria de la construcción (Byzness, 2019). Esto abre puertas a una nueva concepción del sector, denominada la “Construcción 4.0”

Una mayor dedicación y apoyo al ámbito de la innovación podría generar aumentos de productividad considerables, así como también un ahorro a todos los actores de la sociedad, teniendo en cuenta que este campo se desarrolla en un entorno colectivo y que, muchas veces, es financiado por su población mediante el pago de impuestos. Dentro de esta esfera se enmarca el **mantenimiento de las infraestructuras** en general, tales como viales, hidráulicas, sanitarias o energéticas, las cuales representan una importante porción del presupuesto dentro de las administraciones nacionales, regionales, provinciales y municipales.

Como se mencionó anteriormente, un caso particularmente interesante es el monitoreo y **mantenimientos de taludes en carreteras y vías ferroviarias**. La **estabilidad** de estos es uno de los temas que más preocupan en el ámbito geotécnico de la actualidad (Suman et al., 2016). Las fallas naturales y artificiales de la pendiente del suelo son fenómenos complejos y causan serios peligros en muchos países del mundo, poniendo en riesgo vidas y teniendo un impacto económico muy alto.

Este paradigma motiva a la realización del siguiente Trabajo de Fin de Master, el cual se enfoca en el **análisis de la aplicación de herramientas surgidas en el entorno del I+D+i al sector de la construcción**, y en este caso particular, a **la monitorización de taludes**. De esta forma, se realiza un estudio comparativo técnico y económico de un sistema de monitorización de taludes surgido en el seno de las iniciativas I+D+i con el estado actual de la técnica, estableciendo las ventajas que el primero representa.

1.3. JUSTIFICACIÓN DE USO DE LAS COMPETENCIAS Y CONOCIMIENTOS ADQUIRIDOS EN EL MASTER.

En pos de la concreción del presente trabajo investigativo, se hizo uso de los conocimientos adquiridos en múltiples asignaturas del Master Universitario en Planificación y Gestión en Ingeniería Civil. Sin embargo, los contenidos estuvieron centrados fundamentalmente en tres materias:

- ✓ **Metodología de Investigación en Gestión de la Construcción:** los conocimientos adquiridos en esta asignatura fueron fundamentales en el desarrollo del proceso de investigación que se plasma en el presente documento. Se aplica el proceso de cómo abordar la problemática a investigar, el orden de desarrollo de la investigación, se hace uso de las herramientas de búsquedas bibliográficas aprendidas, entre otras cosas. Es decir, planteado el problema a abordar, la asignatura proporciona las herramientas necesarias para poder desarrollar el proceso investigativo de manera normalizada, ordenada y con una visión crítica.
- ✓ **Gestión de la Innovación en el Sector de la Construcción:** En el transcurso de esta asignatura, se analizó todos los conceptos vinculados al I+D+i, así como también la normativa regulatoria de los mismos, la norma UNE 166.000. El proyecto el cual se analiza, es concebido en este marco, siguiendo las pautas que establece la norma UNE 166.002 para la materialización de proyectos I+D+i.
- ✓ **Evaluación de proyectos:** entre los bloques fundamentales de contenido de la asignatura, se trabajó sobre el criterio de comparación de alternativas llamado “Valor Actual neto”. Se abordó este en profundidad, analizando todas las variables que pueden intervenir en su aplicación para realizar una evaluación de alternativas de infraestructuras. Como “plus”, también se realizó sobre las variables un análisis de variación en distintos escenarios, llamado como “Análisis de Sensibilidad”. En el presente TFM, se hace uso de esta metodología para comparar económicamente las diferentes alternativas existentes en el monitoreo de taludes en infraestructuras viales.

1.4. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. OBJETO

El I+D+i como herramienta de mejora de los procesos productivos de la Ingeniería civil. Análisis de sistemas de monitorización de taludes existentes en la actualidad, en contraste con un sistema surgido en el ámbito del I+D+i.

1.4.2. ALCANCE

El alcance del presente Trabajo de Fin de Master se limitó a los taludes de carreteras y vías ferroviarias de España.

1.4.3. OBJETIVOS

1.4.3.1. OBJETIVO GENERAL

El objetivo general del presente Trabajo de Fin de Master es realizar la comparativa tanto técnica como económica de los sistemas de monitorización de taludes existentes en el estado actual de la técnica, en contraposición de una solución de creación reciente nacida en el seno de iniciativas I+D+i.

1.4.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para llevar a cabo el análisis comparativo mencionado ut-supra, se planean una serie de objetivos específicos, descritos a continuación:

- ✓ Analizar los sistemas de monitorización de taludes planteados en términos técnicos, utilizando como conceptos bases la precisión, la resolución temporal, la resolución espacial y la sensibilidad a factores externos.
- ✓ Analizar los sistemas de monitorización de taludes planteados en términos económicos, mediante la utilización del criterio de rentabilidad conocido como “Valor Actual Neto”, aplicado al flujo de fondos potencial de cada sistema implementado en el mercado español en un horizonte de 20 años.
- ✓ Identificar cuáles de las variables supuestas en el análisis económico impactan más en el resultado ante un cambio en sus valores, es decir, realización de un “Análisis de Sensibilidad”
- ✓ Planteamiento de diferentes escenarios asignando variaciones a los parámetros más sensibles (identificados en el punto anterior) y análisis de sus resultados.

1.4.4. METODOLOGÍA

El presente trabajo de fin de master se ha dividido en cuatro grandes partes con el propósito de lograr un ordenamiento que permita la comprensión e integración total de los conceptos que se quiere bordar y analizar.

En primera instancia, se analiza el **sector la construcción** en las sociedades, su impacto en la productividad de los países, sus características la cual lo hace una industria singular y el proceso de innovación en este sector. Seguidamente, se analizan los mismos aspectos particularizados al país de España.

En segundo lugar, se expondrán los principales **conceptos de I+D+i**, así como también su surgimiento y sus propósitos. Se explicará entonces que proyectos se enmarcan en este nuevo modo de creación de tecnologías, cuales normativas intervienen en su ejecución y otros aspectos de interés. Hecho una primera aproximación hacia el tema a desmenuzar, se abordará el estado actual de los ámbitos de Investigación, desarrollos tecnológicos e innovación en el sector, sus impactos pasados y sus impactos potenciales y perspectivas de futuro. Se ahonda en la necesidad de ampliar el campo innovador al sector.

Por último, se afrontará el caso de los **taludes de carreteras y ferrovías**. Sus principios físicos que lo rigen, su impacto en las carreteras y ferrovías, así como los sistemas de monitorización que existen en la actualidad, que podría permitir la aplicación de un mantenimiento predictivo de estos. Se presenta un sistema innovador de monitorización de taludes, nacido en el ámbito del I+D+I, y se exponen sus principales características y cualidades.

Una vez descritos todas estas soluciones para el caso, se las **compara técnica y económicamente**, como se ha mencionado anteriormente. En el análisis técnico, se tienen aspectos directamente relacionados con la calidad de los resultados ofrecidos. En términos económicos, se simula la aplicación de cada sistema al mercado de taludes de carreteras y ferrovías españolas en un horizonte de 20 años, utilizando el criterio de rentabilidad del Valor Actual Neto para compararlas. A su vez, se realiza un análisis de sensibilidad para identificar los parámetros más influyentes en el resultado (ante una potencial desviación de su valor), combinando luego distintos valores de estos para realizar un análisis de escenarios.

Realizado el análisis, se establecen conclusiones y líneas de investigación futuras.

1.5. SISTEMA DE CITAS Y REFERENCIAS

En relación a las citas y referencias, se utilizó el sistema de la American Psychological Association (APA), el cual se basa en el apartado de formato de citas y referencias del Manual de estilo APA -Sexta Edición-, que puede ser consultado en la web: www.apastyle.org.



Capítulo 2: CONTEXTO

2. CONTEXTO

2.1. INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se realiza un análisis del sector de la construcción a nivel global, su impacto en la economía de los países y su importancia en otros roles de progreso social. También se enumeran los principales aspectos que lo hacen un sector singular, mediante la recopilación bibliográfica de distintos autores dedicados a la investigación de este sector. De hecho, estas características impactan de forma directa en los procesos de innovación, hecho que también se analiza. Se pone en perspectiva estos procesos al compararlos con otros sectores, como el industrial, el mecánico, etc.

Luego, se analiza el sector de la construcción en España, su evolución a lo largo de los últimos años y su impacto en la economía del país ibérico. También, se hace hincapié en el envejecimiento que está sufriendo el stock de activos de infraestructuras español, finalizando con un análisis de la innovación en el país y su comparativa con la región.

2.2. EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

2.2.1. EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN Y SU IMPACTO EN LA ECONOMÍA DE LOS PAÍSES

La **industria de la construcción** es, sin duda, una de las protagonistas en el desarrollo de las sociedades. Este sector es responsable directo de la creación de infraestructura, vivienda, sistemas de transporte, instalaciones sanitarias, y muchos otros proyectos, sobre los cuales se gesta el crecimiento económico y cultural de la humanidad (Acevedo Agudelo et al., 2012).

El **sector de la construcción** también ha sido reconocido en las últimas décadas como uno de los sectores que más impactan en la economía de los países, y un importante medio de estímulo a la demanda en periodos recesivos. Se estima que este sector de la economía tiene un peso en el rango de **4-10% del Producto Interno Bruto (PBI) de cualquier país**, tendiendo a ser más elevado en aquellas naciones en desarrollo (Wilkinson et al., 2016). También tiene un elevado impacto en términos de empleo. Se la considera como una industria intensa en el empleo de mano de obra, algo fundamental en la política de los países pensando en su nivel de desempleo (HM Ruggirello, n.d.). Por lo general, el sector genera entre el **5-15% de los empleos de forma directa** (BEROE Advantage Procurement, 2020) siendo esta cifra sumamente mayor si consideramos el empleo indirecto, es decir, aquel derivado de todo el dinamismo que se genera en la cadena productiva de la industria (desde la extracción de materiales hasta la prestación de servicios relacionado con el área).

Uno de los aspectos más significativos del sector de la construcción, es que sus tendencias se asemejan a la economía global. Es decir, en periodos de bonanza, la industria de la construcción inevitablemente crece, y sucede lo contrario cuando la economía se contrae. Esto se da fundamentalmente por el efecto multiplicador que genera en la producción y, por ende, en el empleo, así como también como ente formador de infraestructura básica y de capital físico. (Bosher et al., 2007).

El McKinsey Global Institute, entidad que realiza profundos análisis económicos a nivel global de los distintos mercados en vistas a apuntalar las decisiones políticas y de gestión, estimó que **en 2018 el 14,7% del PIB**

mundial estuvo relacionados con demandas provenientes del **sector de la construcción**, percibiendo un **ascenso respecto al año 2014**, cuando el mismo indicador **se estimó en 12,4%** (Autodesk, 2020). La **construcción residencial** en términos de valor aumentó a una tasa del **6,1% durante 2014-2018**. El mercado de **edificios comerciales** obtuvo una tasa del **8%** para el mismo periodo, mientras que el **área de las infraestructuras** una tasa del **3,9%**. Además se prevé que la industria global de la construcción registre un **crecimiento sostenido del 6,5%** hasta alcanzar los **10,1 Billones de euros en 2023** (Research and Markets, 2020). Se estima un crecimiento sostenido acumulado del **85% para el año 2030** para poder satisfacer las demandas que el crecimiento global le exigirá.

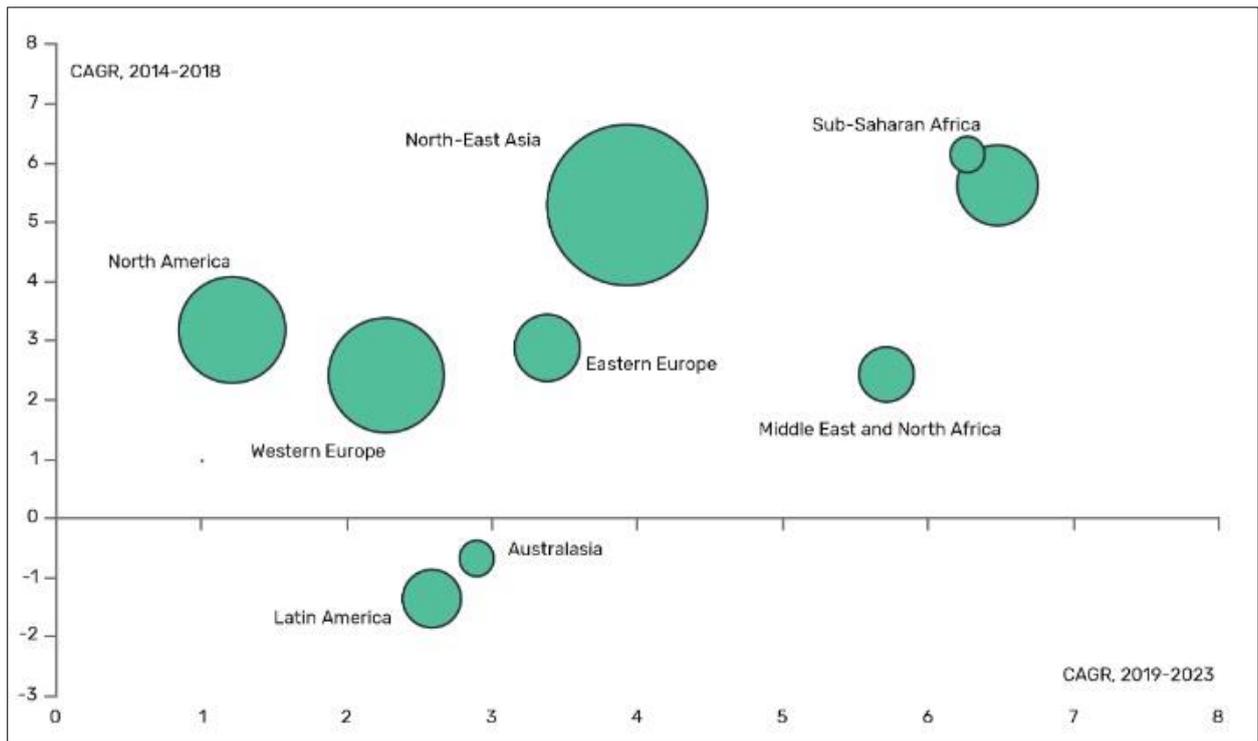


Figura 1: Crecimiento global de la industria de la construcción real 2014-2018 por región, y proyectado para 2019-2023. Fuente: GlobalData's Construction Intelligence Center (2019) Global construction output growth to reach 3.4% in 2019, says GlobalData

Esta tendencia alcista en la industria mundial de la construcción está directamente vinculada con importante **crecimiento que las regiones emergentes están experimentando en los últimos años**, liderada por países como India, China, Vietnam e Indonesia (BEROE Advantage Procurement, 2020). Un escenario económico sólido, mayores niveles de confianza y bajas tasas de interés mantendrán la estructura para la expansión de las actividades de construcción en estas regiones. Se espera que solo India y China contribuyan más a la contabilidad de la construcción para 2030. En comparación, **Europa tendrá un crecimiento moderado**, respaldado por mejores condiciones del sector de la construcción en varios países, lo que permite una mayor erogación residencial y de infraestructura. Sin embargo, los años corrientes de Europa se verán condicionados por la incertidumbre generada por el Brexit (Mokhtariani et al., 2017).

Hecha esta radiografía de la actualidad de esta actividad productiva y su significancia económica, así como su tendencia en el mediano y largo plazo, cabe destacar **otras cualidades** que puede atribuírsele. La construcción en sí es un factor primario en la transformación de las sociedades en pos de una mejor **calidad de vida** (Bosher et al., 2007) ofreciéndoles a los individuos que la componen un mayor bienestar físico,

material, social y de desarrollo. La **construcción**, entendida esta actividad la que engloba a todas las fases del ciclo de vida de las construcciones civiles y la infraestructura (diseño, ejecución, puesta en marcha y mantenimiento), aporta significativas **mejoras en términos de movilidad y conectividad territorial, sanidad, seguridad, productividad**, entre otras cosas. En síntesis, el sector no solo es un componente clave de la economía de la nación, sino que también es un factor primario en la calidad **de vida de las comunidades y la capacidad del gobierno para lograr sus políticas**.

Otra característica del sector de la producción es que, aunque muchas veces es considerado un sector secundario, en la realidad **es un sector transversal a toda la cadena productiva de la economía, incluyendo el sector primario, secundario y terciario**, ya que abarca desde la transformación de materia prima para la formación de materiales (como el hormigón) hasta la prestación de servicios muy específicos técnicamente como los que ofrecen ingenieros especialistas u otros consultores. Las ponderaciones de cada parte de la cadena variarán de un país a otro, sesgadas según su nivel de desarrollo, con una mayor concentración de empresas del sector primario y secundario en los países en desarrollo y empresas del sector mucho más terciario en países desarrollados.

Esta industria no solo genera un impacto positivo en sí por sus productos finales, sino que también es un **actor fundamental en pos de la consecución de los objetivos de desarrollo sostenible**, expresados abiertamente por las Naciones Unidas, y materializados en 2015 (ONU, 2000). El diseño, montaje y mantención de infraestructuras urbanas es uno de los aspectos directamente relacionados con el ahorro de recursos productivos, energéticos, no renovables del ser humano. La sostenibilidad se está convirtiendo cada vez más en alta prioridad para cada vez más países. Con el aumento de la población, el creciente proceso de urbanización y el hecho de que casi **el 75% de la infraestructura que existirá en 2050 aún no se ha construido**, se espera que la industria de la construcción crezca radicalmente, proporcionando así una oportunidad significativa para mejorar su eficiencia y transición hacia un **futuro bajo en emisiones de carbono** (Malik & Maheshwari, 2018).

En cuanto a su **organización interna**, se observa que el mercado es dominado por grandes empresas, quienes son las apoderadas de la mayoría de los contratos de obra, pero que se nutren del trabajo de una gran cantidad de pequeñas y medianas empresas (PYMES). Estudios recientes muestran el **gran abanico que abarcan las pequeñas y medianas empresas dentro del sector (Pymes)** (Hatton et al., 2012), vinculado con la gran cantidad de especializaciones distintas que se necesitan para desarrollar un producto final, las que habitualmente se llevan a cabo mediante la subcontratación. Estas Pymes se ven forzadas a participar solo en una cantidad limitada de proyectos, dada su capacidad estructuras y sus posibilidades de financiación.

2.2.2. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN.

El **sector de la construcción**, a pesar de ser un ámbito fundamental en el desarrollo de las economías por su impacto directo y por su estratégica composición, es poseedor de diversos aspectos que lo hacen un **sector peculiar de por sus características**. Mahmood Mokhtariani (Mokhtariani et al., 2017) realizó una recopilación bibliográfica de los principales aspectos característicos del sector de la construcción. Entre los aspectos mencionados, resaltamos los siguientes:

- ✓ **Industria dinámica y cíclica:** La industria de la construcción es una industria dinámica y turbulenta. Además, en los países en desarrollo, dado que los empleadores de muchos proyectos de

construcción son los sectores públicos, los cambios políticos y las decisiones afectan significativamente al mercado. Esta naturaleza cíclica es una de las principales razones ambientales por las que **las empresas de construcción no pueden implementar políticas estratégicas de desarrollo en el mediano y largo plazo.**

- ✓ **Licitaciones públicas basadas solamente en el precio:** Este aspecto hace que la competitividad de las empresas solamente se enfoque en la estructura de costes directamente relacionadas con las tareas a ejecutar, **ignorando otros aspectos que pueden significar un valor agregado al futuro** tales como la inversión en innovación, la capacitación de su personal, la búsqueda de nuevos mercados, etc.
- ✓ **Resultado final como híbrido de producto físico y servicio:** Aunque los productos finales en la industria de la construcción son generalmente en forma de una instalación física, el resultado recibido por el cliente está fuertemente marcado por el servicio prestado por parte del contratista. De hecho, el tiempo real de ejecución, su costo y su calidad constituyen los atributos principales adquiridos por parte de un contratador o cliente, valoraciones que no pueden determinarse o evaluarse con certeza absoluta antes de la iniciación de los trabajos. Este proceso puede invocar **desafíos en la selección del contratista más calificado** para un proyecto, porque el cliente no puede evaluar o comparar los paquetes de productos y el rendimiento real (tiempo, costo y calidad) de cada contratista antes de comprometerse con un contrato. Las empresas de construcción deben proporcionar alguna evidencia que pueda ser investigada por los clientes durante el proceso de licitación o negociación, como referencias de clientes anteriores, proyectos y experiencias, particularmente para obras similares, y licencias, capacidad y fortaleza financiera. Estas características, en general, representan una **barrera hacia la incursión de nuevas empresas** con visión innovadora en beneficio de compañías instaladas en el sector desde tiempo atrás, tendiéndose a **crear un modelo de mercado oligopólico.**
- ✓ **Solo los clientes pueden crear demanda de proyectos:** Los nuevos proyectos comienzan solo cuando un cliente crea una nueva demanda. De hecho, la construcción tiene un sistema de producción de fabricación a pedido, en el cual los contratistas no pueden inducir o crear demanda en la mayoría de los casos (excepto los hogares). Un desafío principal en esta situación es **la posesión de capacidades técnicas adecuadas, así como capacidades financieras y de recursos humanos** cuando se propone un proyecto que puede ser más retador que los proyectos en curso. Una **política de empresa innovadora, basada en la vigilancia tecnológica** (conceptos abordado más adelante) puede ayudar a las empresas de construcción a recopilar y analizar información de mercado local, regional e internacional, anticipar e identificar nuevas oportunidades y proyectos.
- ✓ **Inmovilidad y producción in situ:** El producto final de un proyecto de construcción es normalmente inmóvil, y gran parte del proceso de producción se lleva a cabo en el sitio final de la instalación. Ciertos desafíos se derivan de esta característica particular de la industria de la construcción. El más influyente es la carencia del establecimiento natural de una relación de largo plazo empresa constructora-contratista, que haga que los agentes contratados tengan una planificación que le permita incorporar nuevas tecnologías, mejorar los procesos productivos y estandarizar sus labores. Dicho de otra forma, la demanda de la industria de la construcción es muy **particularizada y localizada**, así como también con altos niveles de complejidad, lo que impacta de manera directa en

el mejoramiento de los procesos productivos.

- ✓ **Industria altamente fragmentada y multidisciplinar:** Debido a que cada proyecto es único, los equipos y arreglos también son únicos. Por lo tanto, la construcción es una industria fragmentada que incluye multi-organizaciones temporales para cada proyecto. Las diferentes culturas y valores de cada subcontratista y contratista general conducen a la **dificultad en la entrega de valor a los clientes** y la **implementación de programas integrados** de ejecución de proyectos.
- ✓ **Negocio basado en cada proyecto:** Centrándose en un solo proyecto, la gestión en empresas es un proceso de tres etapas que incluye anticipar el proyecto potencial, participar en la licitación e implementar el proyecto. Sin embargo, ciertas características hacen que la industria de la construcción sea diferente de otras industrias basadas en proyectos, debido a que una empresa puede estar involucrada en sólo unos pocos proyectos a la vez y el número total de transacciones y proyectos con un cliente específico es pequeño. Esto deriva a un **rezago de segundo a plano a aspectos que conciernen fundamentalmente a ventas y marketing.**
- ✓ **Número reducido de proyectos simultáneos por parte de las empresas:** los proyectos de construcción **son complejos e intensivos en capital y mano de obra.** En consecuencia, los contratistas, en particular las Pymes, pueden participar sólo en un número limitado de proyectos a la vez debido a sus limitados recursos. Además, la diversidad de obras de construcción y la dependencia de los proyectos en la ubicación de ejecución conducen al hecho de que sólo unas pocas transacciones con un cliente son posible, a pesar de una estrecha relación.
- ✓ **Producto único:** La **confluencia espacio-temporal de múltiples organizaciones**, en pos de lograr un **producto altamente personalizado** en comparación con otras industrias, hace que el sector de la construcción conciba “productos únicos”. Ergo, cada uno de los proyectos, en todo su ciclo de vida, tiene especificaciones y procedimientos únicos y, a menudo, nunca antes ejecutados. En consecuencia, los contratistas tienen que readaptar sus capacidades y estructuras bajo demanda, lo que va en contra de la especialización y ale estandarización.

2.2.3. INNOVACIÓN EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCION

La innovación es un aspecto que contribuye significativamente al crecimiento económico interno, fomenta la competitividad empresarial en el mercado global y mejora significativamente la calidad de las soluciones ofrecidas. Este aporte social se lo conoce normalmente como “economía del conocimiento”, unos de los principales “drivers” del mercado en las últimas décadas (Sexton & Barrett, 2003).

Sin embargo, las características particulares de la industria de la construcción, mencionadas en el apartado anterior, implican que sea el proceso de innovación en este sector tenga también ciertas peculiaridades. Muchos investigadores y autores han observado e investigado sobre los principales factores y barreras que crean en el sector de la construcción un conservadorismo en sus métodos de ejecución así como también una mentalidad de “importancia de segundo orden” respecto a la innovación.

Xue et al., (2014) llevo a cabo una revisión bibliográfica referida a los aspectos vinculados a la innovación en la construcción, a los fines de investigar las principales barreras, aspectos y tendencias.

- ✓ **Necesidad de colaboración interorganizacional:** La alta fragmentación y su concepción multidisciplinar hace que el proceso de innovación necesariamente incluya diferentes participantes y partes interesadas que, en diversas ocasiones, necesitan confluir intereses y recursos en la misma dirección, aspecto que es una barrera para el desarrollo de la innovación (Abbott et al., 2007). Cada organización influyente en la cadena de suministro posee diferentes recursos, realidades financieras, tecnologías y conocimientos, los cuales deben estar alineados con la estrategia general de la innovación o el objetivo innovador que se pretende lograr. Los académicos destacan que la cooperación interorganizacional, especialmente aquellas que involucran múltiples proyectos, desempeñan un papel vital en la industria de la construcción (Dewick & Miozzo, 2004).
- ✓ **Deficiente cooperación académico-industrial:** La cooperación entre entidades académicas y organizaciones industriales es una de las claves del éxito de la innovación en la construcción. En muchas ocasiones, se ha demostrado que estos dos tipos de organizaciones no están vinculadas como se desearía, aspectos sobre el cual se basan muchos de los programas I+D+I surgidos durante los últimos años. (Savetpanuvong et al., 2011). Varias investigaciones recientes hacen foco en esta relación: Dulaimi et al., (2002) presenta esta relación como la principal causa del retraso innovador del sector; Laborde & Sanvido, (1994), quienes modelizaron el proceso de innovación, resaltan la significancia de la relación universidad-industrias en la compleción exitosa del proceso. Debido a la alta fragmentación ya explicada, el rol de los manufactureros que en muchos otros sectores son el “jugador” principal en el proceso innovador, se ha visto debilitado. Ergo, organizaciones y ámbitos investigativos, como las universidades, han tomado un papel más relevante en esta tarea.
- ✓ **Sistemas de productos complejos (CoPS):** La construcción ha sido históricamente considerada como una industria compleja. Por ende, la integración de procesos y recorridos innovadores han de tener esta complejidad en su centro, modelo conocido como “CoPS”. El modelo CoPS incluye una acción íntimamente recíproca entre un jugador importante y un integrador de sistemas, rol que es intercambiable y controla las partes claves de un proyecto (Seaden & Manseau, 2001). El modelo CoPS se aplicó por primera vez al estudio de la innovación en la industria de la simulación de vuelo (Miller et al., 1995). El investigador Winch, (1998) delineó un modelo de innovación aplicado a la construcción que incluye una superestructura, una infraestructura y partes integradoras de sistemas, definiendo a cada grupo su rol y funciones. Este modelo se aplica cada vez más a la gestión de la integración y la coordinación de elementos dispares con la tendencia hacia la unión y la asociación. Gann (1997) ha integrado proyectos y modelos de negocios en base al complejo resultado obtenido en la industria, estableciendo un marco para explicar la dinámica de las empresas basadas en proyectos y cuál es el enfoque para hacerlas más competitivas. A pesar de que, como se puede apreciar, muchos autores han tratado de descifrar y entender el funcionamiento de estos procesos, sigue siendo objeto de estudio y uno de los mayores repesores del surgimiento de innovaciones.
- ✓ **Innovación proyectual:** La innovación en la construcción está relacionada con la ejecución de proyectos, es decir, es un subproducto de estas. En la mayoría de las ocasiones, condiciones particulares y únicas de ejecución de proyectos hacen que se desarrollen nuevos métodos y soluciones para poder conseguir los objetivos, soluciones que luego se expanden ampliamente por el sector (Slaughter, 1998). Este proceso, centrado en el proyecto, incluye una amplia red de actores involucrados, desde fabricante de materiales hasta prestadores de servicios, quienes ponen a

disposición su conocimiento y habilidades en pos del mejor rendimiento posible. Por ende, la adopción de políticas de innovación tradicionales como las aplicadas al sector manufacturero tendrá otro impacto totalmente distinto en un sector como la construcción. La innovación en la construcción no suele implicar inversiones en I+D y la introducción de nuevos productos y procesos en forma de publicaciones y patentes (Zuhairy et al., 2015)

- ✓ **Procesos intraorganizacionales:** En la construcción basada en proyectos, captar conocimientos en la ejecución de estos, documentarlos y transferirlos a las organizaciones intervinientes en pos de su uso futuro ha probado ser un desafío. Es decir, la innovación no solo tiene procedimientos complejos entre organizaciones, sino que también los tiene dentro de las mismas. Según Grabher, (2004) los participantes en proyectos son asignados rápidamente a otros, sin siquiera haber terminado su tarea en el proyecto anterior. Frente a un objetivo diferente y un nuevo plazo, el foco se centra en este, quedando relegado a un segundo plano el plasmar las experiencias y conocimientos adquiridos. Por otro lado, según Bresnen et al., (2005), transferir el conocimiento dentro de las organizaciones puede ser complicado por la estructura organizacional de la misma, muy jerarquizada, y las relaciones matriciales existentes. Blayse & Manley,(2004) señalaron que la innovación depende de la naturaleza y la calidad de los recursos organizativos, las actitudes internas y los procesos propicios. Estos incluyen una cultura de innovación, capacidad de absorción, liderazgo, sistemas de codificación de conocimiento y una estrategia definida.

2.2.4. COMPARATIVA CON OTRAS INDUSTRIAS

Vistas las características de la construcción y su impacto en el proceso de innovación, se puede entonces comparar relativamente este aspecto respecto a otras industrias de la producción, para tener un panorama del relativo “atraso” en el ámbito en cuestión, muchas veces criticado por su actitud negativa hacia la adaptación del nuevo paradigma global y la resistencia a los cambios (Xue et al., 2014).

Esta situación se puede ver reflejada en el bajo nivel de inversión de las compañías pertenecientes en el sector en concepto de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+I). La Figura 2 muestra las inversiones acumuladas que las 2.500 compañías más grandes del mundo han dedicado a estos conceptos, sumando más de 607.000 millones de euros, que representa el 90% del total de las inversiones globales en I+D+I en todo el globo (KNOEMA, 2019)

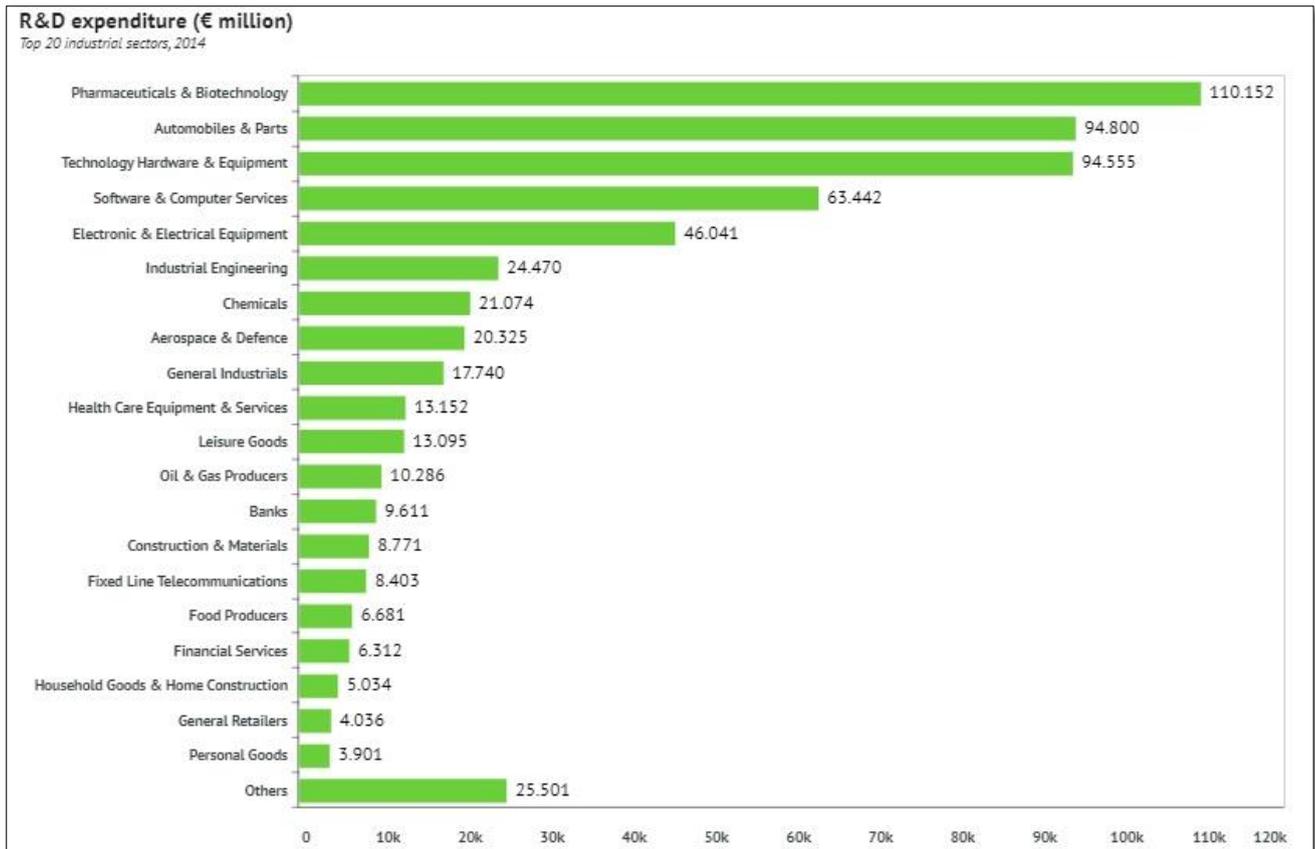


Figura 2: Inversión en I+D+I de las 2.500 compañías más importantes del mundo, acumulada desde 2014. Fuente: Knoema (2019) R&D expenditure by industrial sector.

Como se puede ver, las inversiones en desarrollos farmacéuticos y biotecnología son las más cuantiosas, representando casi el 18,1% del total de las inversiones. Otros sectores sumamente innovadores son los vinculados a los automóviles y autopartes, que representan 15,6%. Las tecnologías de hardware y equipamiento, con principal énfasis en el Internet de las Cosas, representan otro 15% de las inversiones globales. Las actividades vinculadas al software y desarrollos informáticos se llevan un 10,5% de las inversiones, mientras que la electrónica representa otro 7,6%. Como se puede apreciar, la construcción y los materiales es uno de los sectores industriales más rezagados en recursos asignados al I+D+I, hecho que impacta en sus procesos de innovación y se ve reflejado en los productos finales. La construcción y los materiales solo han dedicado 8.771 millones de euros a estas actividades, lo que representa un 1,4% del total de inversiones.

Según la “National Endowment for Science, Technology and the Arts” de Reino Unido (NESTA), la industria global de la construcción se encuentra entre los seis sectores de "baja innovación" junto con la producción de petróleo, la banca minorista, los servicios de asistencia legal, la educación y la rehabilitación de delincuentes (Miles & Green, 2008).

Por otra parte, un informe especial realizado por Autodesk, una de las compañías líderes en software aplicado a la industria de la construcción, revela que aproximadamente el 50% de las compañías constructoras reportan una inversión menos al 1% en sus cuentas anuales a tecnologías (Autodesk, 2020). Entre las principales razones reportadas por los actores de las empresas constructoras, un 40% reporta falta

de apoyo a programas de innovación, un 37% acusa restricciones presupuestarias y un 33% resistencia por parte de los trabajadores. En contrapartida, el 71% de los propietarios de las empresas constructoras indican que la gestión y la retroalimentación de datos podrían impactar positivamente en las etapas de diseño, construcción y operación de las construcciones.

Sin embargo, existe un consenso general en los distintos sectores de la industria, que la construcción necesita “ponerse al día” en estas actividades. Varios autores han investigado acerca de cuáles aspectos pueden ser importantes “drivers” o motores para que finalmente este sector industrial pueda ser impulsado en tareas innovadoras. Podemos realizar un breve resumen de las percepciones abordadas a lo largo de los últimos 25 años, como sigue a continuación:

- ✓ Kangari & Miyatake, (1997) estudiaron los factores principales que contribuyen al progreso de la tecnología de innovación en el mercado de la construcción japonés. Se remarcó la función fundamental de la integración de diferentes tecnologías existentes en el mercado y pertenecientes a distintas disciplinas como potenciador de creación de procesos y productos innovadores en la construcción.
- ✓ Slaughter (1998) por su parte, expresó que es necesaria la implementación de estrictas metodologías del proceso de innovación, en donde los equipos de trabajos puedan aportar sus conocimientos y valor agregado de manera coordinada y en pos de un fin específico.
- ✓ Una recopilación eficaz de información puede estimular significativamente la innovación. Barlow (2000) concluyó, a través de los estudios sobre innovación en la construcción “offshore” del Reino Unido, que son las estructuras de comunicaciones internas y externas no jerárquicas las que potencialmente benefician el proceso de innovación.
- ✓ Nam & Tatum, (2002) exploraron el proceso de innovación en diez proyectos de construcción en la industria americana, concluyendo que la demanda de mercado específica en innovación (por ejemplo, a través de pliegos donde se exijan ciertas tecnologías de aplicación) estimula fuertemente la innovación en las propias empresas constructoras.
- ✓ Las soluciones de innovación y el intercambio de conocimientos también se beneficiarían de la comunicación lateral en organizaciones y proyectos de construcción. Nam & Tatum, (2002) también sugieren que la integración de las etapas diseño-construcción son los principales motores para un conocimiento integrado, compacto y bien distribuido, siendo una de las bases sobre las cuales la innovación puede traccionar.
- ✓ Dewick & Miozzo, (2004) consideraron que la cooperación duradera entre las corporaciones del mercado de la construcción y la academia promueven la adopción de concepción de nuevas tecnologías de aplicación.
- ✓ Bossink, (2004) estudió los impulsores de la innovación de diferentes niveles de organizaciones en proyectos de construcción y los clasificó en cuatro categorías: presión ambiental, capacidad tecnológica, intercambio de conocimientos y expansión de límites e identificó los niveles en los que estos impulsores facilitan la innovación.
- ✓ Mention, (2011) afirma que la innovación es "un proceso interactivo entre la empresa y su entorno,

como resultado de la colaboración entre una amplia variedad de actores, ubicados tanto dentro como fuera de la firma".

- ✓ Ozorhon & Oral, (2017) sugieren que los principales factores relacionados con la innovación en la construcción surgen en el ámbito del proyecto, pero que se necesita la confluencia de tres esferas para poder confirmarla: industria, organización y proyecto. Un análisis más profundo la importancia de (1) la complejidad del proyecto, (2) la política de innovación y (3) la sostenibilidad medioambiental como motores puntuales de innovación en este sector.

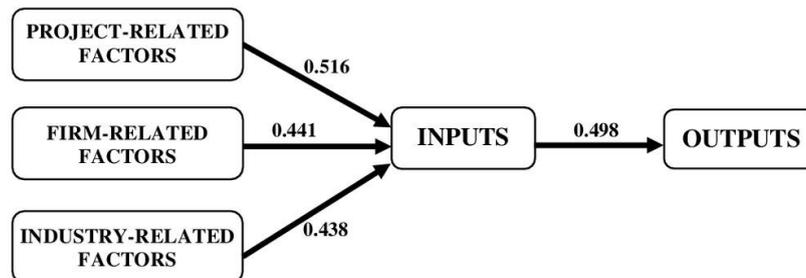


Figura 3: Resultados de peso relativo de los factores alcanzado por Ozorhon & Oral: Fuente: Ozorhon, B., & Oral, K. (2017). Drivers of Innovation in Construction Projects. Journal of Construction Engineering and Management, 143(4)

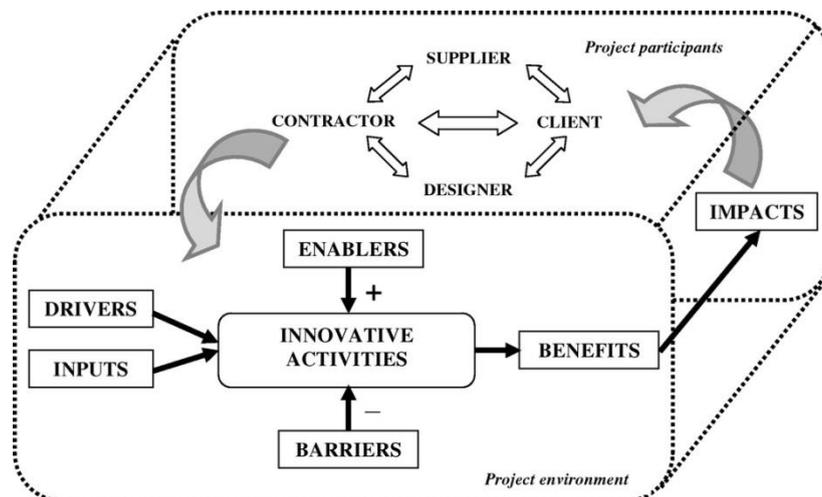


Figura 4: Relaciones entre actores a nivel proyecto. Fuente: Ozorhon, B., & Oral, K. (2017). Drivers of Innovation in Construction Projects. Journal of Construction Engineering and Management, 143(4)

- ✓ Por último (Meng & Brown, 2018) delinean cuatro conceptos sobre los cuales, según su análisis, se basan las innovaciones del sector: el aporte equilibrado de las fuerzas internas y externas de las firmas; la combinación del impulso tecnológico y el empuje del mercado, siendo este último el que más tracciona; el cambio de enfoque de la innovación en las empresas, pasando de una percepción de costes a una percepción de valor agregado; la adopción de políticas de innovación integrales, que incluyan áreas como la técnica, los recursos humanos, el marketing y la gestión.

Todos estos autores confluyen en la conclusión de la necesidad del sector de la construcción de incorporarse rápidamente al circuito de la innovación, como lo están haciendo otras industrias, en búsqueda de la incorporación de tecnologías y ahorro de recursos no renovables, generar menos contaminación, estandarizar procesos en pos de la seguridad laboral y otros aspectos. Un claro ejemplo son los procesos tradicionales procesos de vertido de hormigón in situ, los cuales producen cuantiosos especialmente si el

encofrado no se utiliza de nuevo. (Shakor et al., 2019). En sumatoria, el crecimiento demográfico y la tendencia a la urbanización es otro factor a tener en cuenta. Se espera que la proporción de la población urbana mundial aumente del 55% en 2018 (unos 4.200 millones de personas) al 68% para 2050, lo que significará que la población casi se duplicará, llegando a más de 8 mil millones de personas (European Commission, 2020).

De cualquier manera, la industria ha experimentado avances interesantes en cuanto a la aplicación de nuevas tecnologías en los últimos años. Las impresiones en tres dimensiones o “Fabricación Digital”, ha tenido una alta repercusión en el sector, ya que es apta para el uso de hormigón y otros materiales de densidad elevada. Se ha demostrado que este tipo de dispositivos pueden optimizar los métodos de construcción por complejo, reduciendo entre el 35 y el 60 % del costo total de la construcción de hormigón simplemente eliminando la necesidad de encofrado (Lloret et al., 2015). Por otra parte, ya es habitual el uso de drones con fines de cómputos topográficos y la coordinación en el uso de maquinarias, así como también el control general de la obra en términos de inspección, planificación y hasta incluso comercialización. El “Internet of Things” o internet de las cosas, por su parte, permite un monitoreo y seguimiento integral de las variables que influyen en un proceso de construcción de obra civil o edificación, lo que genera una valiosa herramienta de tomas de decisiones en tiempo real, si los datos son adecuadamente procesados y tratados. Por su parte, el BIM (Building Information Modeling) ha generado una revolución en el campo de las herramientas digitales. Su capacidad de integrar los diferentes actores de un proyecto en un solo modelo, de forma interactiva, así como obtener una mayor definición del diseño y del proceso constructivo, ha elevado definitivamente la calidad de los productos entregados por la industria. Los materiales utilizados en esta cadena de valor no son ajenos a la transformación. Los nuevos productos que permiten el reemplazo de los aditivos químicos por otros basados en componentes naturales, así como permiten el uso eficiente de energías renovables, la mejora del aislamiento térmico y sonoro, entre otras cosas, ha tendido a modificar los métodos tradicionales conocidos en la industria. (STO España, 2020)

2.3. EL SECTOR DE LA CONSTRUCCION EN ESPAÑA

2.3.1. GENERALIDADES DEL SECTOR

España no es ajena a la realidad del sector de la construcción a nivel global. La industria de la construcción tiene un fuerte impacto en la economía del país y, en muchas ocasiones, acompaña los ciclos económicos nacionales.

Según el último Informe Sectorial de la Compañía Española de Seguros de Crédito a la Exportación 2019 (CESCE, 2019) el cual realiza un análisis pormenorizado de todos los sectores de la economía, la producción directamente vinculada al sector de la construcción creció un 8,4% en el año 2018, lo que representa su quinto año consecutivo de ascenso, alcanzando los 124.000 millones de euros, equivalente al 10,3% del PIB total de España. Sin embargo, se sigue lejos de aquellos 200.000 millones de producción alcanzados en el año 2007, aunque se puede destacar el crecimiento acumulado de casi 30% desde el 2014.

Además, más de **83.000 empresas** tenían trabajos vinculados al rubro en enero de 2019, las cuales generaron alrededor de 1,3 millones de puestos de trabajo en el tercer trimestre del mismo año. Por otro lado, esta industria presenta un alto grado de segregación, en donde la mayoría de las compañías son de pequeño tamaño. Solo alrededor de 150 compañías registraron en sus facturas ingresos de más de 25

millones de euros durante 2018; mientras que alrededor de 90 empresas facturaron entre 25 y 50 millones durante el mismo periodo. El resto de las compañías registra un nivel de ingresos más bajos a esta cifra. Por otra parte, el 45% de estas ventas tuvieron destino en las compañías medianas dedicadas a la obra civil, el 48% a las vinculadas a la edificación y el 7% restante en otras actividades (EuropaPress, 2020).

En cuanto a subsectores, tras el fuerte declive de 2016 (-9,7%), la **obra civil** registró sobrios crecimientos durante los años 2017 y 2018 (+0,9% y +1,2% respectivamente), ascendiendo entonces a los 18.985 millones de euros. En cuanto a la **edificación residencial**, se registró un comportamiento más dinámico, con producciones de 42.045 millones de euros, un 11,8% más si comparamos con 2017, mientras que la **edificación no residencial y rehabilitación**, mostraron interesantes crecimientos del 8,2% y el 8,7%, respectivamente.

| Producción (miles de euros) | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
|-----------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Obra Civil | 20.591,00 € | 18.594,00 € | 18.758,00 € | 18.984,00 € |
| Edificación | 31.559,00 € | 33.870,00 € | 37.623,00 € | 42.045,00 € |
| Edificación no residencial | 18.194,00 € | 19.153,00 € | 20.576,00 € | 22.253,00 € |
| Rehabilitación | 31.652,00 € | 33.970,00 € | 37.556,00 € | 40.810,00 € |
| TOTAL | 11.996,00 € | 105.587,00 € | 114.513,00 € | 124.092,00 € |

Tabla 1: Evolución del sector de la construcción en España. Fuente CESCE. (2019). Informe Sectorial de la Economía Española 2019.

Focalizando en la **obra civil**, se puede ver que, tras el pronunciado descenso del año 2016, la tendencia ascendente se ha consolidado, aunque todavía de forma moderada. Si ahora analizamos las licitaciones y contrataciones públicas, estas se han incrementado significativamente, en el orden del 35% y el 40% respectivamente. La Asociación de Empresas Constructoras y Concesionarias de Infraestructuras (SEOPAN) asegura que el estado central, en conjunto con las administraciones locales, fueron los principales promotores de las licitaciones, quedando relegadas las comunidades autónomas, quienes se anotaron un -6%. Además, contrastando 2018 (11.203 millones de euros) contra el año 2012 (5.398 millones de euros) se puede observar un aumento del 108% en este sentido. Por otra parte, la contratación pública se anotó un crecimiento en todos los niveles administrativos, es decir, en la administración nacional, las comunidades autónomas y las autoridades locales, aumentando hasta un 94% en relación al mínimo histórico, registrado en el año 2016.

| Licitación (mil. de euros) | 2017 | 2018 | Contratación (mil. de euros) | 2017 | 2018 |
|----------------------------|----------------|-----------------|------------------------------|----------------|----------------|
| Estado | 2.903 € | 4.300 € | Estado | 1.510 € | 2.207 € |
| CCAA | 2.333 € | 2.190 € | CCAA | 2.014 € | 2.425 € |
| AALL | 3.125 € | 4.713 € | AALL | 1.572 € | 2.499 € |
| TOTAL | 8.361 € | 11.203 € | TOTAL | 5.096 € | 7.131 € |

Tabla 2: Impulsión de la obra civil por medio de licitación y contratación pública. Fuente: Fuente CESCE. (2019). Informe Sectorial de la Economía Española 2019.



Figura 5: Evolución de montos asignados a licitaciones públicas. Fuente: CESCE (2019). Informe Sectorial de la Economía Española 2019.

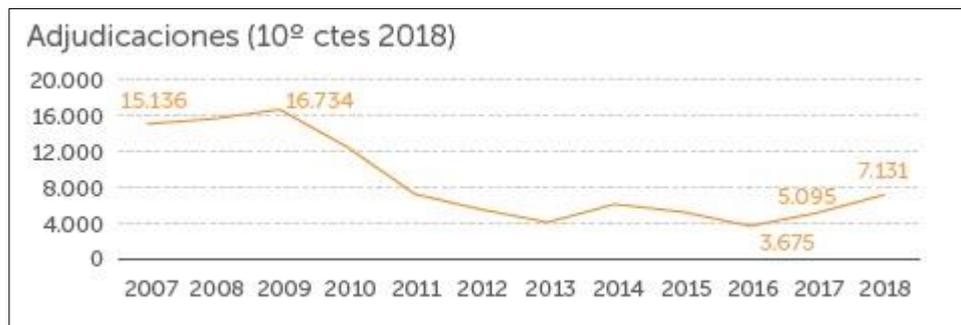


Figura 6: Evolución de montos asignados vía contrataciones públicas. Fuente: CESCE (2019). Informe Sectorial de la Economía Española 2019.

Sin embargo, a pesar de los fuertes aumentos señalados, sobre todo en los últimos años, los niveles tanto de licitación como de contratación públicas siguen por muy por debajo de los máximos registrados en los años 2008 y 2009, donde se puede ver la marcada influencia que ha tenido a la crisis en las políticas del estado español. En esta cuestión, influyen de manera directa los objetivos fiscales de la nacional, ya que el recorte presupuestario implica la reducción de la inversión pública. De hecho, el recorte de la inversión representa aproximadamente el 50% de la reducción del gasto público lograda en el periodo 2010-2018. Esto ha llevado a que la inversión oficial solamente represente un 2,2% del PIB, una cifra similar a la que se daba en los años 80'. Se manifiesta entonces, la preocupación de que España debe aumentar (hasta al menos 2,5% de su PIB) la inversión pública, simplemente para mantener las infraestructuras existentes (CESCE, 2019).

2.3.2. EL PARTICULAR ENVEJECIMIENTO DE LAS INFRAESTRUCTURAS ESPAÑOLAS.

En las últimas décadas, España ha tenido un avance fenomenal en sus infraestructuras de transporte, alcanzando el apogeo de los países más avanzados de la región. Sin embargo, se subestimaron erróneamente los costes de mantenimiento que este tipo de construcciones requiere a lo largo de su vida útil, algo ocurrido en una época donde la bonanza parecía de largo plazo. La fundación BBVA, en su informe "El stock de capital en España y sus comunidades autónomas. Evolución de la edad media de las inversiones y envejecimiento del capital", señala que "la caída de la inversión del sector público durante la última década ha reducido a niveles negativos la inversión neta, que se calcula descontando la depreciación de los capitales públicos (carreteras, ferrocarriles, infraestructuras urbanas o hidráulicas, puertos y aeropuertos). Por esa razón, la inversión de reposición es insuficiente, las infraestructuras van envejeciendo y el stock de capital en servicios públicos lleva retrocediendo desde 2012" (García Perez et al., 2019).

Al igual que sucede con la población y su pirámide demográfica por rangos etarios, los capitales existentes en un momento determinado del tiempo se componen de un conjunto de activos de distinta edad. La evolución entonces de la pirámide etaria del stock de capital muestra claramente si los capitales están envejeciendo o rejuveneciendo. De esta forma, en el año 2007 la pirámide poseía una base ancha, típico de estructuras de capitales que han registrado una fuerte inversión en los años anteriores. Para ese entonces, el reciente ingreso de España como miembro de la Unión Europea generó un flujo importante de capitales invertidos en infraestructura, financiados en buena medida con fondos de la propia Unión. Tras el cimbronazo que significó la crisis 2008-2009 en el país ibérico, las inversiones cayeron notablemente, ubicándose en la actualidad en niveles de décadas atrás, como se señaló anteriormente. Para el año 2016, como consecuencia, la base se había estrechado en relación a las generaciones de mayor edad, siendo las inversiones con más de 20 años un 22,5% del capital, mientras que las inversiones con más de 10 años representaron el 52% (García Pérez et al., 2019).

| Stock capital de infraestructuras >20 | 2007 | 2016 | 2030 |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|
| Inf. públicas | 14,2% | 24,2% | 46,8% |
| Inf. Viarias | 14,1% | 27,4% | 51,2% |
| Inf. Hidráulicas públicas | 18,7% | 28,2% | 71,1% |
| Inf. Ferroviarias | 13,6% | 16,0% | 52,5% |
| Inf. Aeroportuarias | 7,1% | 11,8% | 45,7% |
| Inf. Portuarias | 18,0% | 26,8% | 33,7% |
| Inf. Urbanas de CC.LL. | 9,6% | 22,2% | 23,2% |

Tabla 3: Porcentaje de stock de capital de infraestructuras con más de 20 años de antigüedad. Fuente: García Pérez, F., Mas Ivars, M., Serrano Martínez, L., & Jiménez, E. U. (2019). El stock de capital en España y sus comunidades autónomas. Evolución de la edad media de las inversiones y envejecimiento del capital.

Si esta tendencia se mantiene a lo largo de los próximos años, entonces la proporción de infraestructuras mayores a 20 años irá creciendo gradualmente, estimándose su duplicación en una sola década, representando más del 50% para el año 2030.

En el grupo de las infraestructuras viarias y ferroviarias se incluyen los taludes (temática abordada más adelante), por lo cual, se puede intuir que también sufrirán un progresivo envejecimiento a lo largo de los próximos años, algo que incrementará la probabilidad de falla o desmoronamiento de estos activos.

2.3.3. INNOVACION EN ESPAÑA

La inversión en innovación en España ha tenido un crecimiento modesto pero sostenido durante los últimos años. Sin embargo, la brecha contra los países europeos líderes en esta materia se agranda cada vez más.

La inversión en I+D+i en España ascendió a 14.945 millones en el año 2018 (último ejercicio del que se tienen datos cerrados) lo que significó un ascenso del 6% respecto al año anterior, recuperando el sendero creciente transitado en la etapa pre-crisis del 2008. Si tenemos en cuenta el Producto Interno Bruto, la tendencia es totalmente lateral, ubicándose en 1,24% con respecto a este, por lo que se puede inferir que las inversiones vinculadas con la innovación están “atadas” al crecimiento de la producción en general.

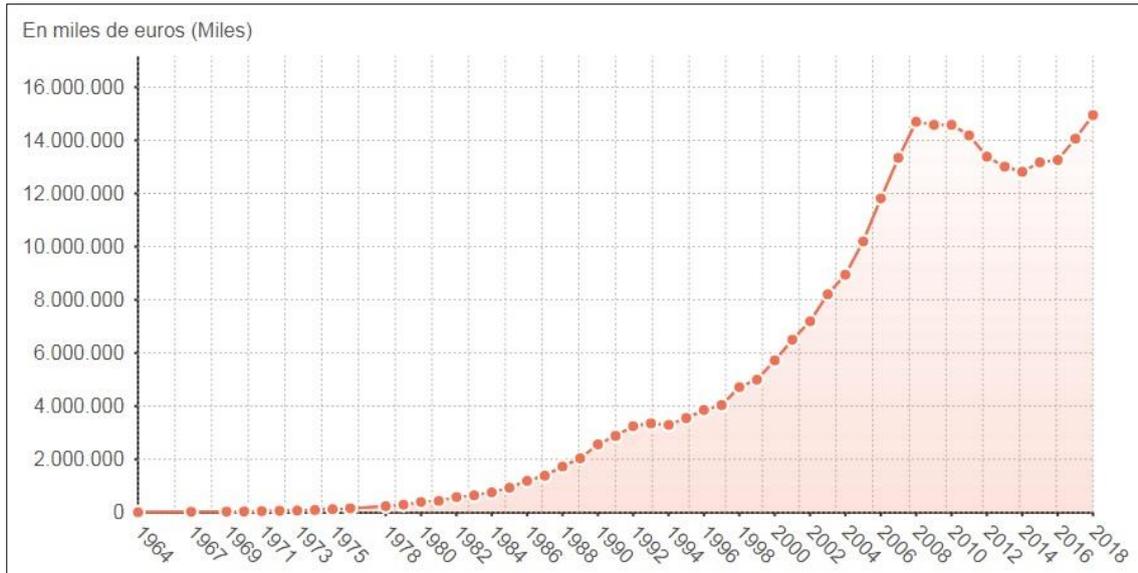


Figura 7: Evolución del gasto asignado a innovación en España. Periodo 1964-2018. Fuente: EPDATA en base al INE (2020).

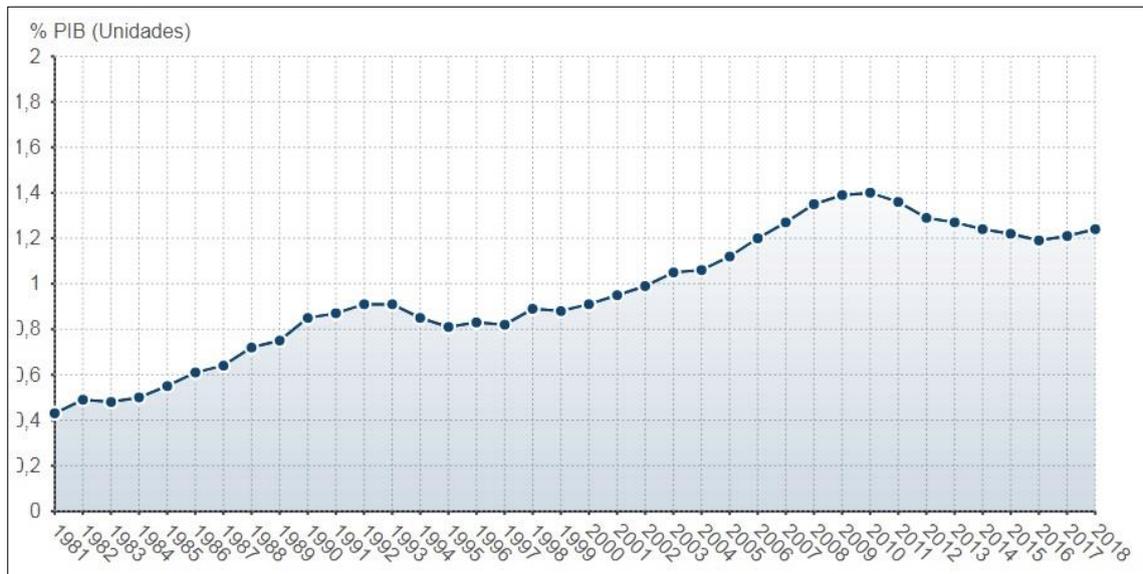


Figura 8: Evolución del gasto asignado a innovación respecto al PIB en España. Fuente: EPDATA en base al INE (2020)

Si lo comparamos con la región, España se ubica en el puesto 14 en el EU27, según el último European Innovation Scoreboard. De todas formas, el país ibérico ha ganado cinco posiciones respecto al año anterior, superando a República Checa, Italia, Malta y Eslovenia.

De esta forma, España se mantiene dentro de la categoría de países “moderados” en términos de innovación, estando cerca de ascender al nivel de “fuertes”, nivel que alcanzó su par ibérico, Portugal.

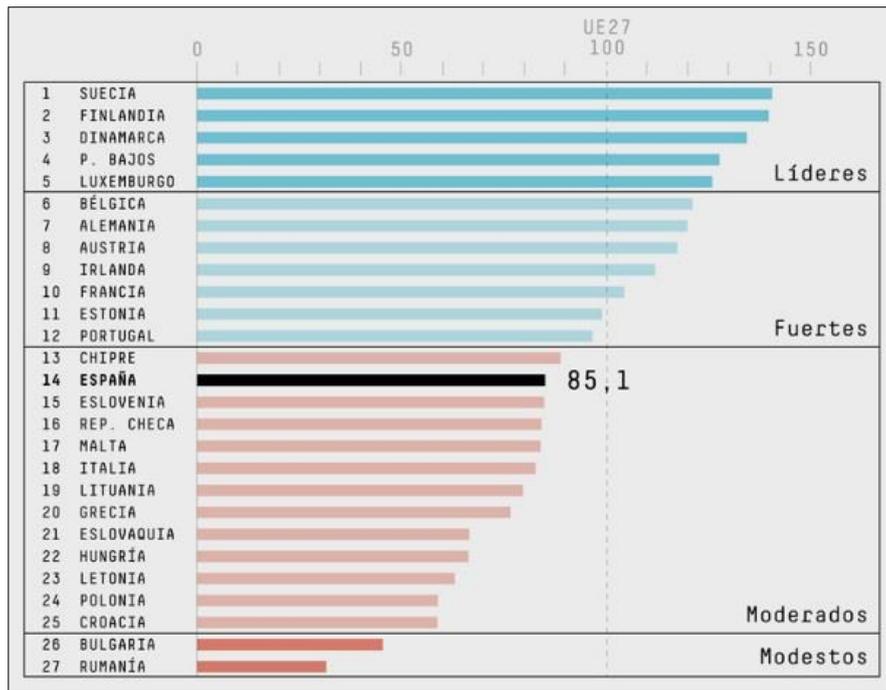


Figura 9: Indicadores de Innovación de EU27. Fuente: Fundación COTEC para la innovación (2020). España mejoró en el último año cinco posiciones en el ranking de innovación europeo

Este aumento de España se puede explicar por el mejoramiento en 9 de los 10 grupos de indicadores sobre los cuales se basa el ranking. A pesar de ello, España se sitúa por encima de la media solo en las categorías de “capital humano”, “entorno favorable” y “empleo en innovación” (COTEC, 2020).

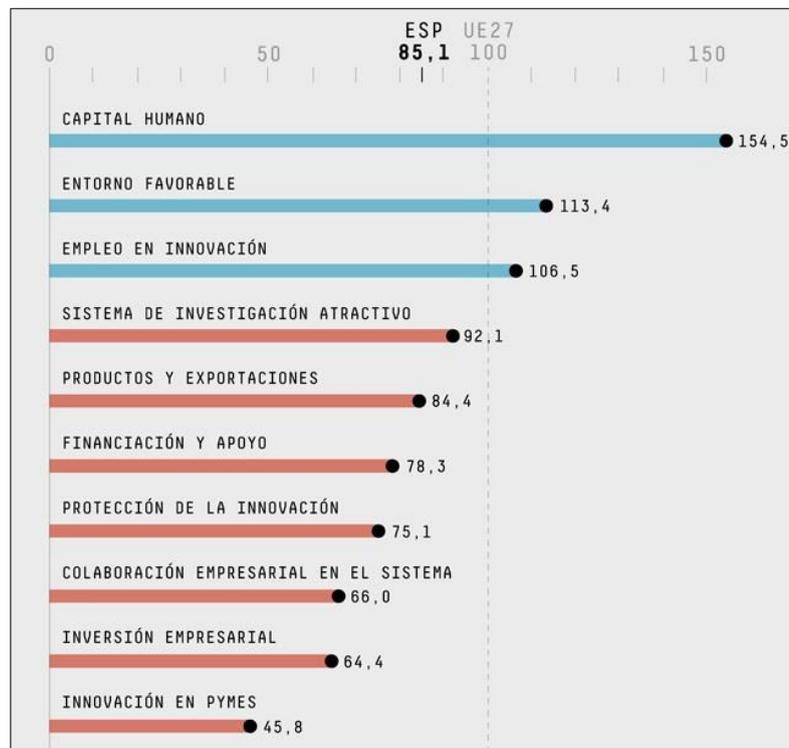


Figura 10: Indicadores de Innovación de España respecto a la media EU27. Fuente: Fundación COTEC para la innovación (2020). España mejoró en el último año cinco posiciones en el ranking de innovación europeo.



Las fortalezas de España se destacan en “nuevos doctores”, “población con estudios superiores”, “penetración de la banda ancha” y “ventas de nuevos productos para el mercado”. Al mismo tiempo, consigue prevalecer sobre la media de Europa en “empleo en empresas de alto crecimiento”, “solicitudes de marca” y “estudiantes extranjeros de doctorado”. Las debilidades de España tienen que ver con indicadores vinculados con el “emprendimiento por razón de oportunidad”, que se refiere a que hay más emprendimiento por “necesidad”; “inversión en I+D en el sector empresarial”; “inversión en innovación en las empresas”; así como “exportación de servicios intensivos en conocimiento” (COTEC, 2020).

2.3.4. INNOVACION EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN ESPAÑOL

Si bien las estadísticas referidas a la innovación en el sector de la construcción en España son escasas, en el “Informe sobre el sector de la construcción 2019” publicado por la Fundación Laboral de la Construcción, arroja algunas estadísticas del sector.

Las cifras revelan que apenas un 1,1% del total del gasto de innovación a nivel nacional es realizado por empresas vinculadas a la industria de la construcción. Si bien no se ubica entre los sectores de menor inversión en este campo, está muy lejos de las cifras alcanzadas por otras industrias tales como la farmacia, los vehículos de motor o la química, entre otros. En la Figura 11 se muestra detalle de la participación en innovación de España de las actividades industriales incluidas en la Clasificación Nacional de Actividades (Fundación Laboral de la Construcción, 2020).

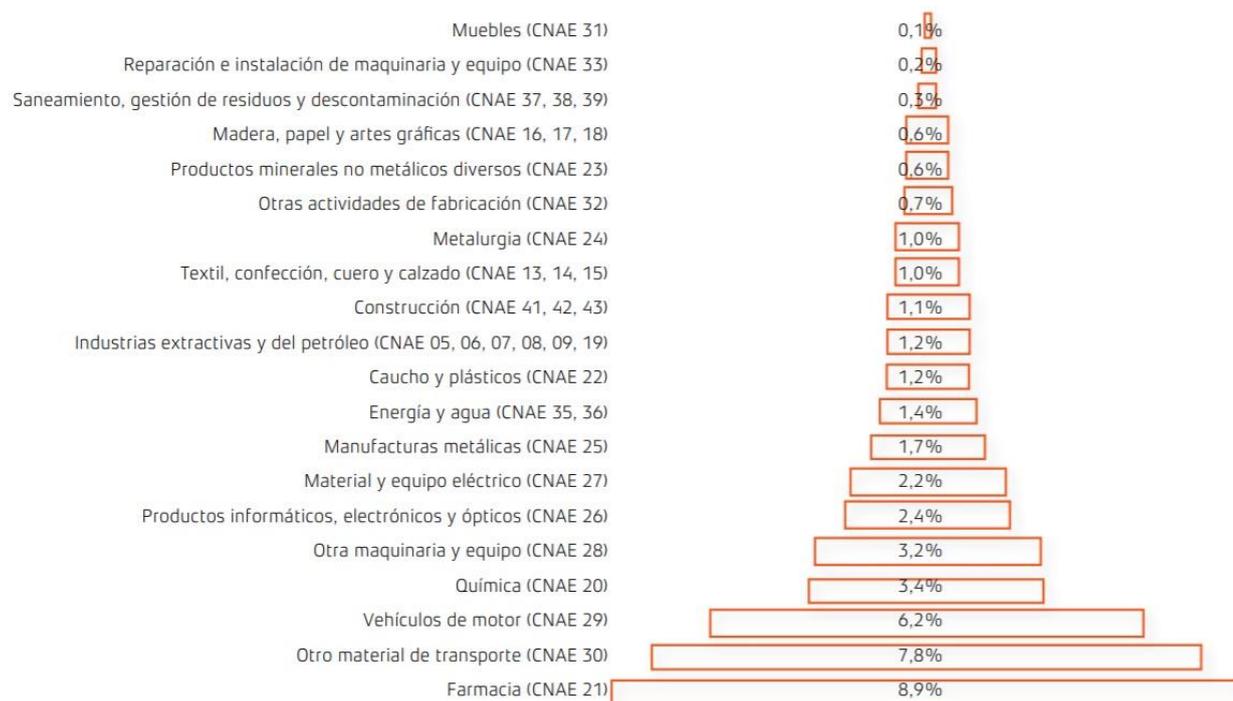


Figura 11: Gasto en I+D por tipo de industria. Fuente: Fundación Laboral de la Construcción (2020). El sector de la construcción. Informe 2019.

El número registrado de empresas que asignaron recursos a la actividad de innovación del sector de la construcción ascendió a 287 en 2018, creciendo un 10,3% respecto al año 2017. El gasto asignado al I+D ascendió a 94 millones de euros, decreciendo un 15,8% respecto al año 2017. Más aún, si se compara contra las cifras registradas en 2008, este gasto refleja una baja cercana al 39%.

Si analizamos entonces la innovación en relación al tamaño de las empresas de la construcción que la aplican, se observa que de las 287 mencionadas, 224 fueron empresas de menos de 250 trabajadores, y 63 de más de 250. Si tenemos en cuenta que en España solo 119 empresas poseen una plantilla más grande que 250 empleados, podemos decir que una de cada dos empresas grandes realiza actividades vinculadas a la innovación (Fundación Laboral de la Construcción, 2020).

2.4. BREVE RESEÑA DEL CAPÍTULO

Se concluye que el sector de la construcción es un sector particular por muchos factores, principalmente por la participación de muchos actores en el proceso productivo, que impacta negativamente en la fluidez del ciclo de innovación, si comparamos con otros sectores.

En este contexto, España posee un relativo atraso en término de innovación y, por otro lado, posee la característica de un stock de activos de infraestructuras en proceso de envejecimiento, lo que incrementará sus costes de mantenimiento y renovación los próximos años. En este contexto, la innovación en el sector de la construcción español es baja en relación a otros sectores, y con una tendencia decreciente en relación a los últimos 10 años.

En este sentido, se remarca la necesidad del sector de la construcción español de realizar un cambio de enfoque, invirtiendo mayor cantidad de recursos en innovación con el objetivo de mejorar los sistemas y procesos constructivos, logrando así productos y servicios de mejor calidad a un menor coste. Esto es fundamental de cara a enfrentar los desafíos que la propia industria debe enfrentar a lo largo de las próximas décadas, fundamentalmente vinculados al progresivo envejecimiento de las infraestructuras civiles.

Capítulo 3: MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

3. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

3.1. INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo, se abordan los conceptos teóricos vinculados al campo de la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación, a los fines de dar un marco conceptual al trabajo desarrollado posteriormente. Luego, se realiza una síntesis del recorrido de esta disciplina en España, así como también las normativas de aplicación para proyectos.

3.2. CONCEPTOS Y TEORÍAS

3.2.1. INVESTIGACION, DESARROLLO E INNOVACIÓN (I+D+I).

Las actividades de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación (I+D+i) “están siendo objeto de una especial atención y examen como consecuencia de su importancia en el progreso económico y social” (AENOR - Asociación Española de Normalización y Certificación, 2006). Las distintas sociedades, independiente de factores como su perfil económico de producción o sus relaciones comerciales, son cada vez más conscientes que el valor agregado en el mundo actual los da los nuevos conocimientos y las nuevas invenciones.

Según Fuentes Pujol & Arguimbau Vivó (2008) “**Investigación y Desarrollo (I+D)** son dos actividades científica y tecnológicas de gran valor porque implican la creación de nuevo conocimiento, elemento clave para el progreso general de la sociedad. Si a ellas se le añade la aplicación práctica de los progresos a través de la **Innovación** tendremos el ciclo completo de un sistema de investigación: los distintos agentes (administraciones públicas, universidades, empresas e instituciones privadas sin finalidad de lucro) disponen de recursos (inputs) financieros, humanos y materiales con la finalidad de obtener unos resultados (outputs), como son los artículos científicos, las tesis doctorales o las patentes. Además, la aplicación práctica de los progresos permite usar industrialmente las novedades, generando nuevos procesos y productos”.

Ahora, adentrándonos en el significado de cada concepto, la norma UNE 166000 se encarga de aclarar las terminologías para facilitar su uso. Si mencionamos los conceptos más importantes, tenemos:

- ✓ **Investigación:** “Indagación original y planificada que persigue descubrir nuevos conocimientos y una superior comprensión en el ámbito científico o tecnológico. Se puede dividir en dos tipos de investigación. La primera, la “Investigación Fundamental” está enfocada en la ampliación de los conocimientos generales científicos y técnicos no vinculados directamente con productos o procesos industriales o comerciales. La segunda, conocida como investigación industrial o aplicada, es aquella dirigida a adquirir nuevos conocimientos con vistas a explotarlos en el desarrollo de productos o procesos nuevos, o para suscitar mejoras importantes de productos o procesos existentes”(AENOR - Asociación Española de Normalización y Certificación., 2006a)
- ✓ **Desarrollo Tecnológico:** “Aplicación de los resultados de la investigación, o de cualquier otro tipo de conocimiento científico, para la fabricación de nuevos materiales, productos, para el diseño de nuevos procesos, sistemas de producción o de prestación de servicios, así como la mejora tecnológica sustancial de materiales, productos, procesos o sistemas preexistentes. Esta actividad

incluirá la materialización de los resultados de la investigación en un plano, esquema o diseño, así como la creación de prototipos no comercializables y los proyectos de demostración inicial o proyectos piloto, siempre que los mismos no se conviertan o utilicen en aplicaciones industriales o para su explotación comercial” (AENOR - Asociación Española de Normalización y Certificación., 2006a).

- ✓ **Innovación:** “Actividad cuyo resultado es la obtención de nuevos productos o procesos, o mejoras sustancialmente significativas de los ya existentes. Se distingue entre innovación en tecnología, innovación tecnológica e innovación en la gestión. La primera se refiere a la actividad de generación y puesta a punto de nuevas tecnologías en el mercado que, una vez consolidadas, empezarán a ser usadas por otros procesos innovadores asociados a productos y procesos. La segunda, a la actividad de incorporación, en el desarrollo de un nuevo producto o proceso, de tecnologías básicas existentes y disponibles en el mercado. Por último, la innovación en gestión está relacionada con las mejoras relacionadas con la manera de organizar los recursos para conseguir productos o procesos innovadores” (AENOR - Asociación Española de Normalización y Certificación., 2006a).

Si bien los tres términos han sido objeto de estudio por numerosas investigaciones, el último en especial, el término de **innovación**, ha sido muy abordado en relación a su alcance y cómo influye en las transformaciones sociales.

Para Gil-Albert & H Molina (1995) la **innovación** debe entenderse como: “Un proceso, que en ningún caso es involuntario, sino por el contrario, sistemático e intencionado, donde juega un papel importante el grado de conexión que la empresa tenga con el entorno, no requiriendo ser compleja para tener éxito, pero sí orientada hacia una aplicación concreta y ambicionando situar a la empresa en una posición privilegiada”.

Johannessen et al. (2001), en su publicación “Innovation as newness what is new, how new, and new to whom?” afirma lo siguiente: “La **innovación** implica novedad. Para definir y medir la innovación mejor, se investigó tres dimensiones de la novedad: lo que es nuevo, es nuevo y para quien es nuevo. Hemos desarrollado una escala que aborda seis áreas de actividad de innovación: nuevos productos, nuevos servicios, nuevos métodos de producción, la apertura de nuevos mercados, nuevas fuentes de suministro, y nuevas formas de organización. Mediante análisis de los datos de dos estudios de campo separadas - 684 empresas de ocho sectores y 200 empresas de tecnología de la información - se encontró que la innovación como novedad representa un constructo unidimensional, que se distinguen sólo por el grado de radicalidad”

Para Yepes et al. (2006) “la **innovación** deja de ser un acto puntual, de aplicación de ideas felices, para convertirse en un proceso susceptible de ser gestionado, medido y controlado sistemáticamente”.

Mielgo et al., (2007) sugiere que la **innovación** no es solo un sencillo proceso, sino “más bien complejo y arriesgado. Sin embargo, la creatividad y la creación de conocimiento útil necesitan unas rutinas y una gestión continua dentro de la empresa, debiéndose para ello establecerse sistemáticas y técnicas que permiten estar alerta y aprender de forma continua”.

Hernández (2009) considera que “la **innovación** es un fenómeno económico y organizacional de creación de valor que resulta de la nueva combinación de los factores de producción y del conocimiento, por lo cual se personaliza en la forma de un nuevo producto o servicio, de un nuevo método de producción, de un nuevo mercado o el uso de un nuevo insumo o de una nueva tecnología. De manera sencilla se diferencia de la

ciencia y de la tecnología en tanto la primera es el descubrimiento de las leyes que explican un fenómeno y el segundo la invención. En algunos casos el agente impulsor de la innovación será el emprendedor, particularmente para el cambio descriptivo y en otras la organización empresarial establecida para la introducción de cambios sostenibles”.

Con estas definiciones se evidencia claramente que la innovación es un proceso, y no un suceso aislado, y como tal, se necesita gestionarla de manera adecuada para que producto los beneficios esperados. Poniéndolo, en otros términos, la innovación como tal es un proceso que se puede gestionar, de manera normalizada, como cualquier otro proceso del sistema producto. Esto pone inevitablemente a la gestión de la innovación, o gestión del I+D+i (término más amplio) en el centro de la escena, y como una de las claves del éxito en el progreso de las sociedades.

3.2.2. GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN

Al igual que con el termino de **innovación**, la **gestión de la innovación** no es un concepto único y con una sola definición. Muchos autores, a lo largo de estas décadas, han tratado de precisar cuál es su verdadero propósito y hasta dónde llega su alcance.

Chiesa et al. (1996) argumenta que “la **gestión de la innovación** requiere de la gestión de cuatro procesos claves: generación de conceptos, desarrollo de productos, innovación de procesos y adquisición de tecnología, soportados por los procesos facilitadores: despliegue de los recursos humanos y financieros, el uso apropiado de sistemas y herramientas, y el liderazgo y gestión de los gestores”.

Morote et al (2014) define a la **gestión de la innovación tecnológica** como “el proceso orientado a organizar y dirigir los recursos disponibles, tanto humanos como técnicos y económicos, con el objeto de aumentar la creación de nuevos conocimientos, generar ideas que permita obtener nuevos productos, procesos y servicios o mejorar los existentes, y transferir esas mismas ideas a las fases de fabricación y comercialización”.

Según Tidd & Bessant (2018) “la **gestión de la innovación** es aprender para encontrar la mejor solución al problema de gestión del proceso de innovación (búsqueda, selección, recurso, implementación), y hacerlo de la mejor forma posible de acuerdo a las circunstancias particulares en las que se encuentra la organización, ya que las soluciones son particulares para cada empresa”.

Otra definición establecida por B+I Strategy (B+I Strategy, 2020) entiende que la **innovación puede gestionarse** estructurando adecuadamente procesos de avance que orienten la actividad de la organización, focalizándola en proyectos y actividades específicamente definidos para lograr los objetivos de innovación definidos.

Por último, consideramos lo expuesto por Pellicer et al (2017) en donde considera “la **gestión de la innovación** como la generación de las condiciones adecuadas en una organización con el fin de llevar a cabo cambios tecnológicos, organizativos o comerciales en un entorno de incertidumbre”.

El término de gestión de la innovación fue históricamente enfocado desde dos perspectivas distintas que, a primera vista, son enfoques contrapuestos y enfrentados pero analizados en profundidad se pueden considerar complementarios.

El primero de estos puntos de vista define la **gestión de la innovación** como “la creación de precondiciones que promuevan la creatividad humana, a través de estructuras formales y reglas, incidiendo en la exploración más que en la explotación” (Ben, 2003). Es decir, el propósito de la gestión de la innovación bajo este enfoque es el de la generación de las condiciones apropiadas o contexto en la organización para que el proceso de innovación pueda surgir naturalmente.

Por otro lado, el concepto de la gestión de la innovación ha estado notablemente influenciada por los postulados científicos de Frederick Winslow Taylor (1856-1915), quien entiende que este concepto se basa en “la aplicación de conocimiento al trabajo de los trabajadores del conocimiento” (Ben, 2003).

Esta visión dual del mismo concepto ha llevado a definir distintos modelos representativos para cada uno de los casos, los cuales se pueden visualizar en la Figura 12:

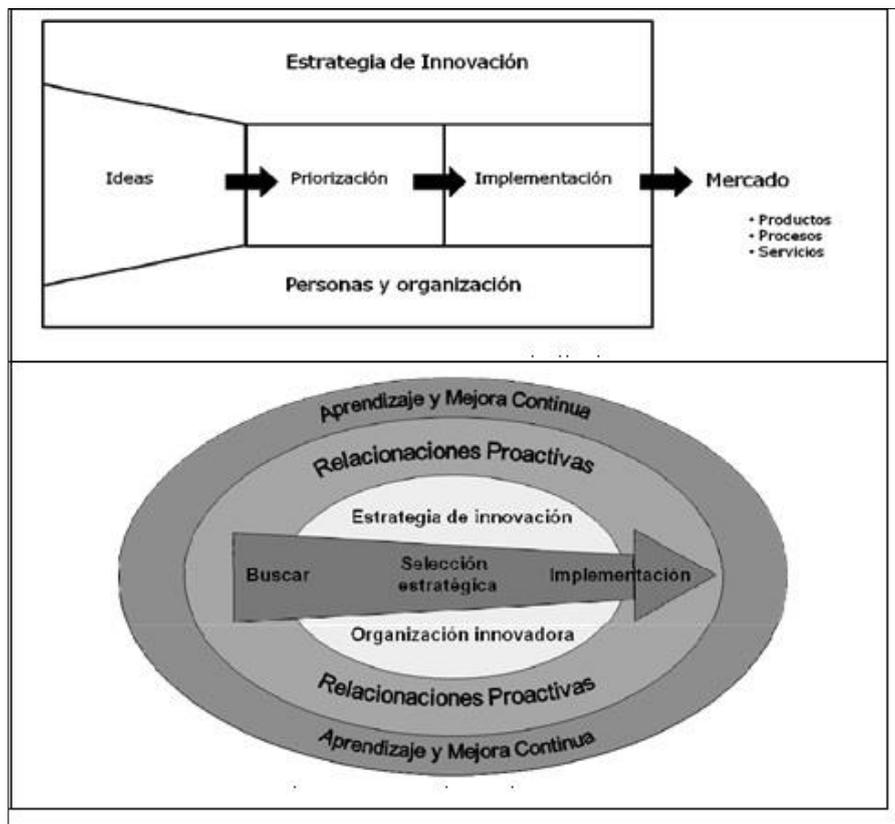


Figura 12: Dos enfoques del concepto de gestión de innovación. Fuente. Igartua Lopez J.I. (2009) Gestión de la Innovación en la empresa vasca

3.2.3. SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN

Para la norma UNE 166002 (AENOR - Asociación Española de Normalización y Certificación, 2014) un **sistema de gestión de la innovación** “incluye todas aquellas actividades necesarias para generar innovaciones de forma continua, independientemente del tamaño de la organización”, y favorece una serie de aspectos, entre ellos (Suman et al., 2016):

- ✓ el contexto organizacional

- ✓ la estrategia y liderazgo orientadas a la innovación
- ✓ la planificación específica de la innovación;
- ✓ los elementos que facilitan la innovación;
- ✓ la gestión de la innovación;
- ✓ las técnicas de gestión de la innovación,

De esta forma, se establece que el sistema de gestión de la I+D+i puede ser una parte independiente en términos de gestión, o estar totalmente integrado a la gestión global de la empresa, con el último fin de alcanzar los objetivos planteados en la materia y que impacten en la mejora del rendimiento. A modo representativo, en la Figura 13 se propicia una síntesis conceptual del sistema de gestión de la innovación que se describe en esa especificación técnica:

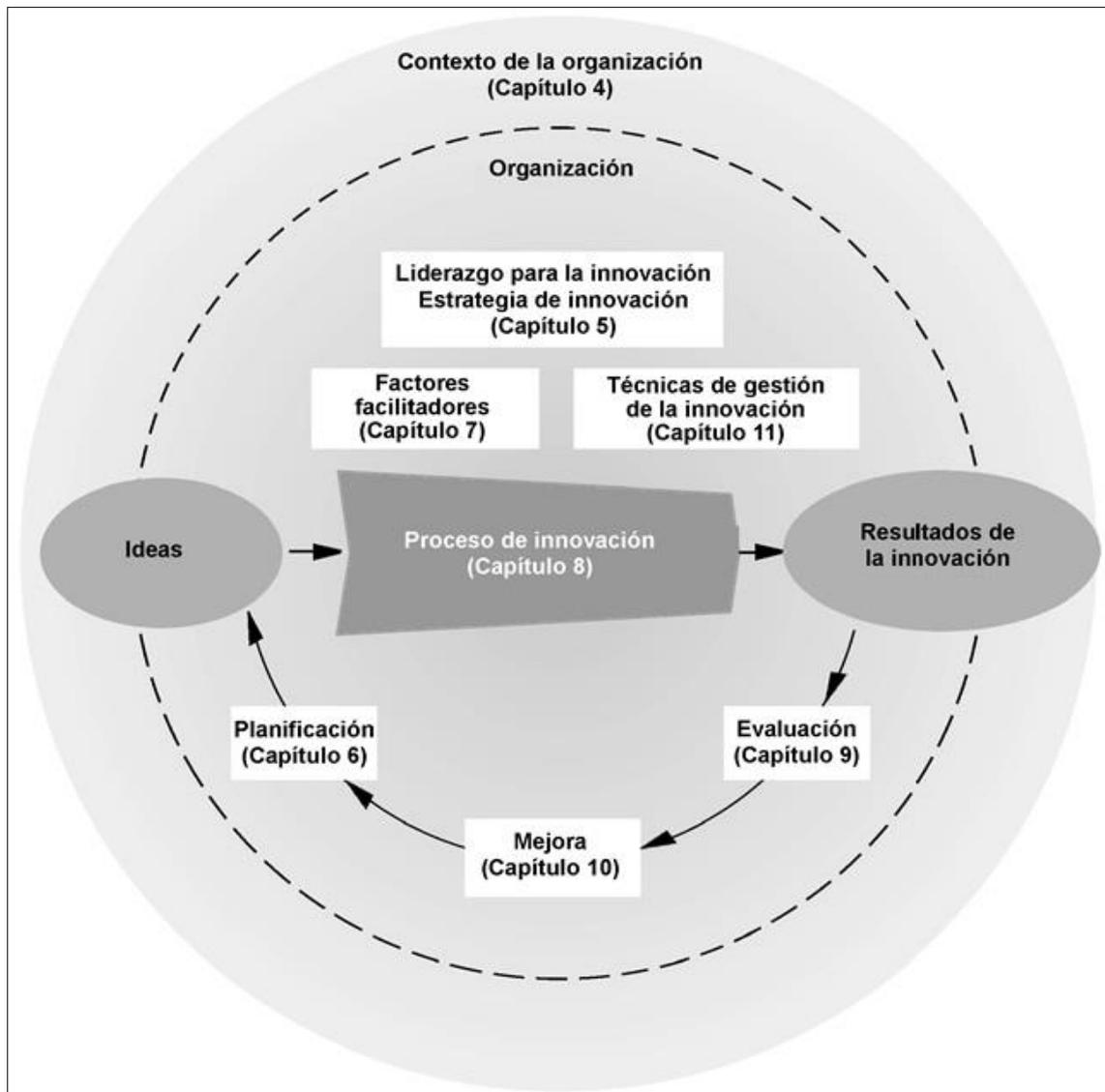


Figura 13: Elementos clave incluidos en este sistema de gestión de la innovación. Fuente: AENOR - Asociación Española de Normalización y Certificación. (2014). NORMA UNE 166002. Gestión de la I+D+i: Requisitos del Sistema de Gestión de la I+D+i.

La implementación de estos modelos se basa en la metodología planificar-realizar-comprobar-actuar (plan-do-check-act, PDCA). La Figura 13, permitirá la identificación de cuatro elementos fundamentales en el ciclo:

- ✓ Planificar: Planificación.
- ✓ Realizar: Proceso de I+D+i.
- ✓ Comprobar: Evaluación.
- ✓ Actuar: Mejora.

Es decir, se puede considerar que en **sistema de gestión de la I+D+i** “es parte del sistema general de gestión que incluye la estructura organizativa, la planificación de las actividades, las responsabilidades, las practicas, los procedimientos, los procesos y los recursos para desarrollar, implantar, llevar a efecto, revisar y mantener al día la política de I+D+i de la Organización”. Para que un sistema de gestión de I+D+i sea implementado correctamente, la organización debe (AENOR - Asociación Española de Normalización y Certificación, 2014): “Identificar las actividades de I+D+i que deben ser objeto del sistema de gestión de la I+D+i y aplicarlas a través de la organización; Determinar la secuencia e interacción de estas actividades; Determinar los criterios y métodos necesarios para asegurarse de que tanto la operación como el control de estas actividades sean eficaces; Asegurar la disponibilidad de recursos e información necesarios para apoyar la operación y el seguimiento de estas actividades; Realizar el seguimiento, la medición y el análisis de estas actividades y establecer los procedimientos para realizarlos; Implantar las acciones necesarias para alcanzar los resultados planificados y la mejora continua de estas actividades; Establecer y documentar los mecanismos de protección y explotación de resultados; Definir y documentar un mapa de procesos que permita visualizar los principales elementos del sistema, su secuencia y las interrelaciones entre dichos elementos.”

En aquellos casos en que la entidad u organización se incline por la contratación externa de cualquier actividad vinculada con el I+D+i, de forma que afecta a la integridad del sistema de gestión, la organización debe asegurar controlar y monitorizar esas actividades. Este protocolo de control debe estar correctamente definido e identificado dentro del sistema de gestión del I+D+i.

Además, los sistema de gestión de I+D+i constan de una serie de instrumentos de los que se valen para poder ejercer efectivamente el proceso deseado (Víctor Yepes, 2019), los cuales se mencionan a continuación:

- ✓ **Análisis interno y externo:** “al planificar el sistema, la organización debe tener en cuenta los análisis externos e internos. En el primer grupo se incluyen los aspectos del mercado (necesidades de los usuarios, competencia, socios, proveedores, etc.); aspectos técnicos (propiedad intelectual e industrial, normas, desarrollos científicos, etc.); aspectos políticos (legislación, reglamentaciones, interacción con la administración pública, etc.); aspectos económicos (situación macroeconómica, oportunidades de obtención de fondos y de deducciones fiscales, etc.) y aspectos sociales (demografía, diversidad, tendencias, impacto de la sostenibilidad, etc.). Dentro del segundo grupo, se tiene en cuenta las prácticas de gestión de la I+D+i existentes y la aplicación de otras normas sobre sistemas de gestión; aspectos culturales, como la actitud y el compromiso hacia la innovación en los distintos niveles de la organización, o el desarrollo de la colaboración interna; aspectos

referentes a la capacidad, como las competencias existentes y necesarias, las instalaciones, el equipamiento y la capacidad de inversión (referidas a la I+D+i); aspectos operativos, como modelos empresariales, procesos, productos y servicios, incluidas las consideraciones de sostenibilidad y aspectos de desempeño, como logros y fracasos en el pasado reciente” (AENOR - Asociación Española de Normalización y Certificación, 2014).

- ✓ **Vigilancia tecnológica:** La vigilancia tecnológica “permite realizar de manera sistemática la captura, el análisis, la difusión y la explotación de las informaciones científicas, técnicas, legislativas, normativas, económicas, de mercado, sociales, etc., útiles para la organización. La información proporcionada por la vigilancia tecnológica es fundamental para el conocimiento del entorno de la organización, así como para la inteligencia competitiva. La inteligencia competitiva comprende el análisis, interpretación y comunicación de la información de valor estratégico, que se transmite a los responsables de la toma de decisiones en la organización, incluidas las relativas al sistema de gestión de la I+D+i” (AENOR - Asociación Española de Normalización y Certificación, 2014).
- ✓ **Gestión de ideas:** La gestión de ideas “incluye su generación, recopilación, evaluación y selección. Debe definirse una sistemática de gestión de las ideas para garantizar un flujo estable de las mismas, que debe incluir como mínimo el propósito perseguido en la generación de ideas (por objetivos o general); la frecuencia de la recopilación, evaluación y selección de ideas; las fuentes a partir de las cuales se deben recopilar las ideas: internas (experiencia previa, creatividad, etc.) y externas (vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva, colaboración, etc.); los métodos y criterios para la evaluación y selección de ideas (teniendo en cuenta, por ejemplo, las necesidades de usuarios y otras partes interesadas; el alineamiento con la estrategia de I+D+i de la organización; la viabilidad técnica y económica; el resultado previsto; el nivel de novedad introducido; la legalidad, sostenibilidad, etc.); los medios para la protección de las ideas generadas y de los derechos de sus creadores; los mecanismos de registro, organización y recuperación de las ideas generadas” (AENOR - Asociación Española de Normalización y Certificación, 2014).
- ✓ **Planificación y ejecución de proyectos:** Los proyectos de I+D+i “deben desarrollarse siguiendo una metodología documentada. Por ejemplo, un proceso por etapas (phase-gate), el establecido en las Normas ISO 9001 o UNE 166001, o quizás una combinación de ellos. La principal ventaja de utilizar una metodología es la disciplina que impone, ya que establece una planificación del proyecto con objetivos y entregables claros que se supervisan a medida que se desarrolla el proyecto. El desarrollo de los proyectos debe considerar como mínimo los siguientes aspectos: objetivos y resultados previstos para cada proyecto; tareas que se van a realizar; recursos (materiales e inmateriales) necesarios; hitos que se deben cumplir, incluidas las fechas de inicio y de finalización; revisiones formales para evaluar la progresión del proyecto; identificación y gestión de riesgos; control y documentación de resultados y cambios; actividades de soporte necesarias para el desarrollo del proyecto (creatividad, vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva, gestión de la propiedad intelectual e industrial, etc.)” (AENOR - Asociación Española de Normalización y Certificación, 2014).
- ✓ **Protección de resultados:** La organización debe “definir directrices para la gestión de los activos intangibles (incluido el conocimiento y el know how) y su propiedad intelectual e industrial, que comprendan entre otras: definir responsabilidades para la implementación de dichas directrices y para la gestión de la cartera de derechos de propiedad; realizar un inventario de activos intangibles

de la organización; registrar la autoría, titularidad de la idea y fecha de creación origen de las invenciones; facilitar la gestión del conocimiento interno y externo, y los correspondientes niveles y medios de confidencialidad; Identificar el conocimiento de dominio público existente relativo a las actividades de I+D+i en curso, la posibilidad de infracción de derechos de propiedad intelectual e industrial y/o los posibles costes de licencias o judiciales. Seleccionar los mecanismos de registro y protección de la propiedad intelectual e industriales apropiados en cada caso”. (AENOR - Asociación Española de Normalización y Certificación, 2014).

Si bien los procesos operativos del I+D+i dependen en gran medida de aspectos como los resultados esperados, el tipo de organización o la estructura interna, los últimos tres puntos señalados anteriormente integral un ciclo “tipo” en el desarrollo de I+D+i: la gestión de ideas, la ejecución de los proyectos de I+D+i, así como la protección y la explotación de los resultados, como se muestra en la Figura 14.

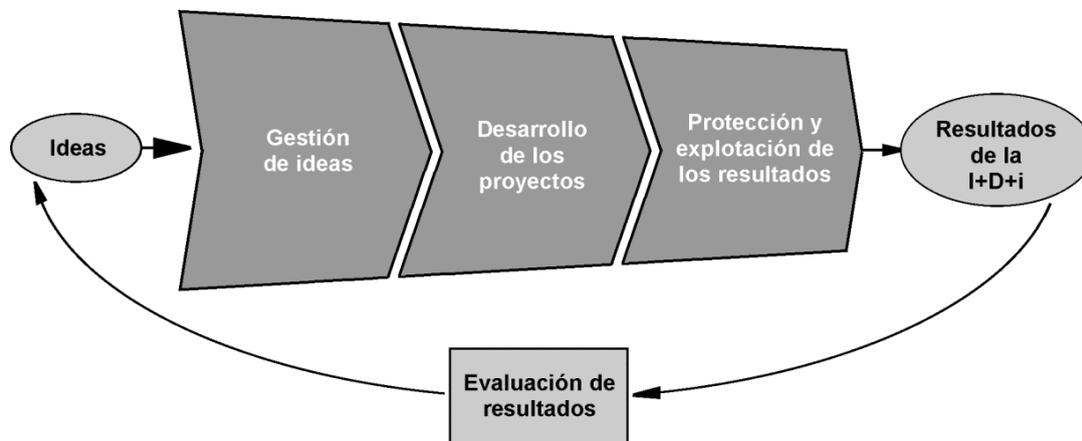


Figura 14: Representación esquemática de los procesos operativos de la I+D+i. Fuente: AENOR - Asociación Española de Normalización y Certificación. (2014). NORMA UNE 166002. Gestión de la I+D+i: Requisitos del Sistema de Gestión de la I+D+i.

3.3. ESTADO DEL ARTE

3.3.1. EVOLUCIÓN DE LA INSTITUCIONALIZACIÓN DEL I+D+i EN ESPAÑA

En la medida que la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación fueron tomando protagonismo a nivel internacional, los distintos agentes intervinientes normalizaron los aspectos principales de esto, a los fines, entre otras cosas, de garantizar la propiedad intelectual y de crear procedimientos estandarizados.

La capacidad innovadora de un país depende de diversos factores clave, entre los que destacan las políticas públicas que faciliten el desarrollo de la innovación, la existencia de normas y leyes que garanticen la propiedad intelectual y una continua colaboración entre los centros de investigación y las empresas e instituciones (Gann, 1997).

Es por ello que, aplicando los compromisos asumidos en el año 2000 por la Unión Europea en Lisboa, el **gobierno español ha llevado a cabo diferentes iniciativas** durante la primera década del nuevo milenio, que por orden cronológico han sido las siguientes (Pellicer et al., 2017):

- ✓ Ley 4/2004 de Modificación de Tasas y de Beneficios Fiscales (Gobierno de España, 2004) que invita a que las empresas que inviertan en actividades de innovación puedan obtener incentivos fiscales.

- ✓ Programa Ingenio-2010 (www.ingenio2010.es), lanzado en 2005, cuyo objetivo es reducir la brecha en innovación con las restantes economías occidentales mediante la inversión en innovación pública y privada.
- ✓ Serie de normas UNE 166000, publicadas en 2006 por AENOR, que tienen por objetivo sistematizar la gestión de la innovación (AENOR, 2006a, 2006b y 2006c).
- ✓ Inclusión de incentivos en la licitación de obras públicas (que pueden llegar al 25% en la puntuación final) para las empresas que demuestren llevar a cabo actividades innovadoras, preferentemente tomando como base la serie de normas UNE 166000.

Estas políticas significaron un punto de inflexión en la inserción de España en el plano internacional de la innovación, ya que le otorgaron un salto cualitativo poniéndose a la par de países de elevado desarrollo de innovación como Japón, Australia o Estados Unidos.

El **primero de los puntos** se trata de una de las primeras acciones que haya tomado el gobierno español para fomentar la innovación en la estructura de las empresas. Este ha sido un gran paso ya que muchas empresas han pasado de estar en desconocimientos de los aspectos más importantes que conlleva la innovación, a incurrir en ellos e incluso aplicarlos en sus mecanismos de funcionamiento.

Entrando en detalle, en la mencionada Ley se determina que las deducciones por actividades de I+D+i se aplican sobre la cuota íntegra ajustada, o sea, cuando se determina la cifra a pagar por el Impuesto sobre Sociedades.

La base de la deducción está constituida por el valor de los gastos de I+D y, en su caso, por las inversiones en objetos de inmovilizado material e inmaterial excluidos los inmuebles y terrenos. Se consideran gastos de I+D aquellos ejecutados por el sujeto pasivo, incluidas las amortizaciones de los bienes vinculados con las citadas actividades, en cuanto estén directamente relacionados con dichas actividades y se apliquen justamente a la realización de éstas, constanding específicamente individualizados por proyectos (Real Decreto Legislativo 2/2004, 2004).

En definitiva, se deduce importes sobre:

- ✓ Gastos afectados al personal
- ✓ Gastos de colaboraciones externas
- ✓ Activos tanto materiales como inmateriales, excluidos terrenos e inmuebles,
- ✓ Materiales del tipo fungibles
- ✓ Otros

Se trata de una base muy amplia. Sobre estos gastos, la ley aplica los siguientes porcentajes de deducción:

- ✓ El 30% con carácter general, excepto para los activos materiales e inmateriales, a los que corresponde el 10%.
- ✓ Para los gastos a los que es de aplicación el 30%, por la parte que superen la media de gastos de los

dos años anteriores, se aplica el 50%.

- ✓ Para los gastos de personal propio correspondientes a investigadores cualificados adscritos en exclusiva a actividades de investigación y desarrollo, un 20% adicional.
- ✓ Para las colaboraciones externas contratadas con universidades, organismos públicos de investigación o centros de innovación y tecnología, reconocidos y registrados como tales según el Real Decreto 2609/1996, un 20% adicional.

El **segundo punto** de los señalados anteriormente hace referencia al programa Ingenio 2010, una propuesta presentada por el Gobierno de España en el año 2005, como respuesta al relanzamiento de la Estrategia de Lisboa, aprobada por el Consejo Europeo ese mismo año y que tiene como principal propósito la convergencia estratégica de la Unión Europea en 2010.

Esta propuesta involucra a tres actores sociales fundamentales, tales como el mismo estado, los organismos públicos dedicados a la investigación y las universidades, en un esfuerzo conjunto por lograr un desarrollo científico y tecnológico acorde a lo que España representa en la Unión. (Ministerio de Ciencia e Innovación, 2010). Para alcanzar los objetivos, se planteó de manera simultánea (Ben, 2003):

- ✓ Un incremento significativo en los recursos destinados al I+D+i
- ✓ Focalización en nuevas acciones capaces de abordar los retos del Sistema de Ciencia, Tecnología y Empresa nacional.
- ✓ Reformas de carácter normativas que fomenten las actividades I+D+i.
- ✓ Creación de un ente de seguimiento y evaluación de las políticas de I+D+i.

Dentro del alcance de este programa, se incluyeron diferentes tipos de programas con diferentes propósitos. Podemos mencionar entonces al PROGRAMA CENIT, PROGRAMA CONSOLIDER, PLAN AVANZA Y PROGRAMA EUROINGENIO.

El PROGRAMA CENIT incluyó tres ramas de aplicación, como los PROYECTOS CENIT, los PROGRAMAS TORRES QUEVEDO y el NEOTEC CAPITAL RIESGO. Todos tuvieron como objetivo último el aumentar la colaboración público privada y concesión de ayudas para contratación (creación de consorcios estratégicos)

Los PROYECTOS CENIT contemplaron la financiación de ambiciosos proyectos de investigación industrial de carácter estratégico (hasta 25 millones de euros durante 4 años), amplio alcance e impacto científico y de inserción internacional. Su resultado fue ampliamente positivo, con la acumulación de 211 patentes, 1.557 1.867 prototipos y más de 450 colaboraciones público-privadas, 52 proyectos a nivel de Europa (PM I+D+i), y 565 publicaciones científicas.

Los programas TORRES QUEVEDO financiaron contratos de personal con carácter “altamente cualificado” para reforzar las capacidades tecnológicas del sector productivo y consolidar todas las empresas que tengan bases tecnológicas, así como también las “spin off”. Los resultados también fueron altamente positivos, materializados en la contratación de más de 6.500 investigadores, 3.620 contratos en PYMES y un 52% de los contratos se convirtieron en indefinidos.

Por último, el programa NEOTEC CAPITAL RIESGO fue una iniciativa instituida en 2005 entre el CDTI y el Fondo Europeo de Inversiones (FEI) con tres fines bien marcados: dar sustento y consolidar a las empresas de bases tecnológica de reciente creación, vincular las inversiones del capital riesgo con el sector de la innovación, y expandir las fronteras de las empresas innovadoras españolas. El presupuesto total ascendió a 183 millones de euros.

Los PROGRAMA CONSOLIDER, tuvieron como fin el aumentar la excelencia investigadora y el volumen de los grupos de investigación. En este programa se incluyen los PROYECTOS CONSOLIDER, los PROYECTOS CIBER y RETICS, el PROGRAMA i3, e Instalaciones científico tecnológicas singulares.

Los PROYECTOS CONSOLIDER son considerados una de las mejoras iniciativas en el ámbito del I+D+i. La iniciativa tuvo asombrosos resultados, entre los que se destacar la participación de más de 9.000 investigadores, 8.200 publicaciones en revistas de primer nivel y mas de 150 patentes desarrolladas. La inversión total se estimó en 350 millones de euros.

El PROGRAMA i3 permitió en colaboración con las distintas Comunidades Autónomas, “fomentar la estabilización de los puestos de trabajo de los profesores y los investigadores”. Fue proceso colaborativo con las comunidades autónomas en donde se coordinó mediante convenciones líneas de estabilización para el personal investigador, eliminando el carácter de temporalidad en la contratación de investigadores considerados completamente formados. Se obtuvieron buenos resultados, con 1.400 plazas estabilizadas.

El PLAN AVANZA fue una política integral y completa, que tenía como objetivos el desarrollo de la sociedad vinculada al conocimiento, y que posibilito la concreción de importantes logros vinculadas a las TICs. Se centró fundamentalmente en las líneas de hogar y ciudadano empresa, e-administrationm e-education y contexto digital.

De esta forma, el presupuesto oficial otorgado durante el periodo 2005-2010 supero los 8.000 millones de euros, mientras que otros 4.000 millones de euros fueron movilizados por el sector privado. Según un informe de las Naciones Unidas (eGovernment, 2010), “España ocupó la 1ª posición europea y 3ª mundial en desarrollo de la e-participación. Respecto al grado de desarrollo de servicios on-line, España ocupó la 2ª posición europea y 5ª mundial, junto con Australia”. Por otro lado, España fue el 2º país europeo en inversión pública en I+D vinculadas a las TIC (Tecnologías de Innovación y Comunicación), ubicándose en niveles similares a los Estados Unidos. La inversión del sector privado en este campo se duplico entre 2004 y 2009m llegando a los 9.500 millones de euros.

Por último, el PROGRAMA EUROINGENIO se trató de una serie de iniciativas destinadas a promover la participación en el VII Programa Marco (PM) de I+D+i 2007-2013 de la Unión Europea. Se registró la participación de 45 universidades, 30 unidades de innovación internación y unos 41 investigadores del sistema nacional de salud, entre otros resultados.

A modo de resumen, el programa INGENIO 2010 supuso una inversión comprometida de más de 3 mil millones de euros desde 2005, lo que le otorgo a España un gran salto cualitativo en el campo de la Investigación, los Desarrollos Tecnológicos y la Innovación.

El **tercer punto** de los mencionados anteriormente, se centra en la elaboración de serie de normas UNE 166000, promovidas desde la administración pública, las cuales “pretenden facilitar la definición,

implantación y control tanto de unidades empresariales de I+D+i. Esta familia de normas ha sido elaborada a partir de la experiencia en gestión de la I+D+i, como de proyectos de I+D+i de profesionales relevantes en este ámbito, representantes de organizaciones privadas, grandes y pequeñas, organizaciones públicas, universidades, centros tecnológicos, asociaciones empresariales, organismos de apoyo a la investigación, el desarrollo, la innovación, etc.” (C. de la Maza, 2008).

En la tabla siguiente se muestra la serie de normas UNE 166000 sobre Gestión de la I+D+i (Sancho et al., 2008).

| |
|--|
| UNE 166000:2006: Terminología y definiciones de las actividades de I+D+i (3-5-2006) |
| UNE 166001:2006: Gestión de la I+D+i: Requisitos de un Proyecto de I+D+i (3-5-2006) |
| UNE 166002:2006: Gestión de la I+D+i: Requisitos del Sistema de Gestión de la I+D+i (3-5-2006) |
| UNE 166004:2003 EX: Gestión de la I+D+i: Competencia y evaluación de auditores de sistemas de gestión de I+D+i (28-3-2003) |
| UNE 166005:2004 IN: Gestión de la I+D+i: Guía de aplicación de la Norma UNE 166002:2002 EX al sector de bienes de equipo (10-8-2004) |
| UNE 166006:2006 EX: Gestión de la I+D+i: Sistema de Vigilancia Tecnológica (3-5-2006) |

Figura 15: Familia de Normas UNE 166.000 Fuente: Sancho, M. D., López, F. J. F., & Vázquez, B. G. (2008). Herramientas de gestión de la I+ D+ i: caracterización basada en las normas UNE 166000. In Universidad, Sociedad y Mercados Globales (pp. 529-540). Asociación Española de Dirección y Economía de la Empresa (AEDEM).

Estas normas tienen como elemento de referencia el proceso de gestión de la I+D+i que se muestra en la figura siguiente(AENOR - Asociación Española de Normalización y Certificación, 2006):



Figura 16: Proceso de gestión concebido por la Norma. Fuente: Sancho, M. D., López, F. J. F., & Vázquez, B. G. (2008). Herramientas de gestión de la I+ D+ i: caracterización basada en las normas UNE 166000. In Universidad, Sociedad y Mercados Globales (pp. 529-540). Asociación Española de Dirección y Economía de la Empresa (AEDEM).

Al igual que otras normas de gestión de alto impacto, como pueden ser las normas ISO 9000, la norma UNE 166000: Gestión de la I+D+i: Terminología y definiciones de las actividades de I+D+i fija y define claramente los términos y conceptos que serán utilizados a lo largo de la serie (Mir, 2008).

Luego, se encontraría un segundo grupo de estándares formato por las normas UNE 166001:2006 Gestión de la I+D+I: Requisitos de un proyecto de I+D+I (a partir de AENOR, 2006b) y UNE 166002:2006 Gestión de la I+D+I: Requisitos del Sistema de Gestión de la I+D+I, (a partir de AENOR, 2006c), y un tercer grupo formado por las normas UNE 166003:2003 EX Gestión de la I+D+I: Competencia y evaluación de auditores de proyectos de I+D+I y UNE 166004:2003 EX Gestión de la I+D+I: Competencia y evaluación de auditores de sistemas de gestión de I+D+I.

El segundo grupo de normas es el considerado más importante de esta serie, puesto que son las que las entidades y organizaciones tienen con guía para implementar los sistemas de gestión I+D+i así como también los proyectos I+D+i

La norma UNE 166001:2006 tiene como objetivo “definir, estructurar y documentar proyectos de I+D+i, mejorar su gestión, así como la comunicación de las partes interesadas. Es aplicable a proyectos de I+D+i independientemente de su complejidad, duración y área tecnológica” (a partir de AENOR, 2006b).

La norma UNE 166002:2006 tiene como objetivo “fomentar las actividades de I+D+i en las organizaciones, proporcionar directrices para organizar y gestionar eficazmente la I+D+i, asegurar que no se pierdan actividades susceptibles de generar tecnologías propias y patentes, potenciar la I+D+i como un factor diferencial de I+D+i que proporcione un ahorro de recursos y una mejora en la motivación e implicación de los empleados. Este estándar puede ser utilizado en cualquier tipo de organización, sea del sector que sea” (a partir de AENOR, 2006c).

En el tercer grupo anteriormente comentado, lo formarían las normas que fueron creadas para establecerlas competencias y evaluación de los auditores con el fin de estar capacitados para llevar a cabo auditorías de la implementación de los estándares principales. Se trataban inicialmente de dos normas más, de las cuales sólo la UNE 166004:2003 EX se ha mantenido finalmente y continúa en fase experimental.

De todos modos, este no fue el final de la creación de los estándares de normas. Por ejemplo, de la norma UNE 166002:2006 se derivaron dos más. Estas son las normas 166005:2004 IN Gestión de la I+D+i: Guía de aplicación de normas UNE 166002:2002 EX al sector de bienes de equipo, y la segunda es a norma UNE 166006:2006 EX Gestión de la I+D+i: Sistema de Vigilancia Tecnológica. La primera es una derivación de la norma UNE 166002:2006 escépticamente enfocada al sector de bienes y servicios. La segunda, por otro lado, es el desarrollo de unas de las herramientas fundamentales del I+D+i, como lo es la vigilancia tecnológica.

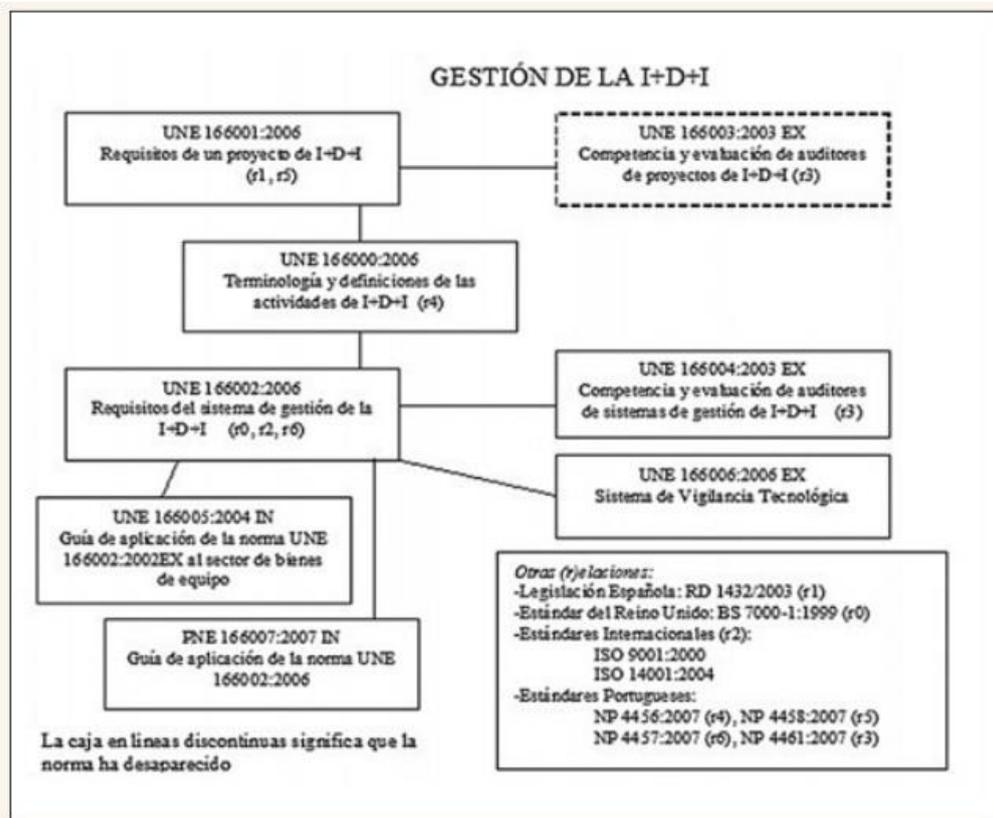


Figura 17: Cuadro esquemático de relación de la familia de NORMAS UNE 166000. Fuente: Mauri, M. M., & Fa, M. C. (2008). UNE 166002: 2006: ESTANDARIZAR Y SISTEMATIZAR LA I+ D+ I LA NORMA Y LA IMPORTANCIA DE LAS TIC EN SU IMPLEMENTACIÓN. DYNA-Ingeniería e Industria, 83(6).

Si bien todas las normas UNE, directa o indirectamente, tienen influencia en el desarrollo de proyectos I+D+i, en el apartado siguiente se va a hacer foco sobre la “Norma UNE 166001:2002 EX Gestión de la I+D+i. Requisitos de un proyecto I+D+i”. En esta se establecen los lineamientos principales sobre la estructura, el contenido y la forma de desarrollo general que tienen que tener los proyectos I+D+i, independientemente de su ámbito de aplicación. Esto permitirá tener una visión general sobre la conformación de este tipo de proyectos, y así comprender una manera más el desarrollo presentado en el apartado 4 del presente trabajo.

3.3.2. LA NORMALIZACIÓN DE PROYECTOS I+D+I: NORMA UNE 166.001:2002 EX GESTIÓN DE I+D+I.

Los proyectos de I+D+i son naturalmente diferentes a otros proyectos de los que se ven en el mercado. Una de las principales diferencias se basa en los resultados que obtiene. Muchas veces, desviaciones en los resultados respecto a la previsión planteada puede también aportar valor.

Otra característica remarcable es que, generalmente, están enmarcados bajo regulaciones institucionales estatales, lo que le quitan flexibilidad y los hace más estructurados en su forma.

En este contexto, el objetivo de la Norma UNE 166001 es el de “facilitar la sistematización de las actividades de investigación, desarrollo e innovación en forma de proyectos de I+D+i y ayudar a definir, documentar y elaborar proyectos de I+D+i, mejorar su gestión, así como la comunicación a las partes interesadas” (Gestión de La I+D+I: Requisitos de Un Proyecto I+D+I. UNE 166001:2006, 2006).

Como bien aclara la norma, el contenido incluida en esta tiene como objetivo establecer lineamientos de

compatibilidad, es decir, una descripción de mínimos, y no de formatos para la redacción.

La forma de los proyectos será en forma de **“Memoria”**. Dentro de esta, se contemplarán, como mínimo, aspectos tales como (Pellicer et al., 2017):

- Objetivos y planteamiento para alcanzarlos. “Este apartado debe contener un resumen del proyecto, explicando la estructura general de los trabajos y la metodología general que se va a aplicar para alcanzar los objetivos. El proyecto debe tener unos objetivos medibles cuantitativa y/o cualitativamente, y deben describirse los elementos principales de I+D+i del mismo distinguiendo los que corresponden a investigación, desarrollo y/o innovación tecnológica, así como el criterio seguido para hacer esta distinción. Se debe especificar el impacto y las oportunidades que ofrece en los aspectos técnicos, económicos, sociales, etc.”
- Innovación y novedad del proyecto: “En primer lugar, debe incluir un estudio del estado del arte, es decir, el estado actual de los conocimientos, productos, procesos y tecnologías, en el ámbito de interés para la organización. En segundo lugar, se deben describir los avances científicos o técnicos que propone el proyecto en relación al estado del arte actual. Luego, la política de protección de datos y la contemplación de normas y regulaciones que afecten al desarrollo de este”.

A su vez, la norma contempla que todo proyecto tenga una **“Planificación”**. Se estructurará el desarrollo del proyecto a fases y tareas, incluyendo los contenidos y resultados esperados al final de cada fase. El número de fases y tareas debe ser el adecuado a la complejidad del proyecto. Se deben tener en cuenta las interacciones entre fases y tareas del proyecto, así como las relaciones entre los participantes, siendo para ello de gran utilidad la presentación en forma de diagrama de flujo, tipo “Gantt” o “Pert”(AENOR - Asociación Española de Normalización y Certificación., 2006b). También se plantea el establecimiento de puntos relevantes en el desarrollo de la programación de los trabajos, así como la gestión de riesgos de estos. Se debe definir también la estructura organizativa del proyecto, y la dependencia del responsable del proyecto dentro de la Organización (por ejemplo, mediante un organigrama).

Otro de los aspectos principales de los proyectos es su **“Presupuesto”**. Este se elaborará en base a la estimación de costes surgida de la planificación de los trabajos. Se deben dejar bien en claro de donde se obtienen los recursos, así como la forma en que se destinan. También, se deben incluir mecanismos de control de costes.

Por último, la norma hace menciona al **“Explotación de resultados”** de los proyectos. Es decir, se definirán las acciones que se van a llevar a cabo para la explotación, protección y diseminación de los resultados previstos en el proyecto.

Esto incluirá la identificación del nuevo producto o proceso, el mercado potencial de este, la protección de los resultados, la explotación netamente económica y los beneficios que se obtendrán con este.

Con estos primeros lineamientos establecidos por la mencionada norma, los distintos organismos promotores de I+D+i establecen sus formatos de elaboración de documentación.

3.3.3. ACTUALIDAD DE LA INSTITUCIONALIZACIÓN DEL I+D+I EN ESPAÑA

En la actualidad, la estructura del Sistema Público de I+D+I español se configura de la siguiente manera

(Ministerio de Fomento, 2020):

Órganos de decisión, planificación y coordinación: “son los encargados de la toma de decisiones que configuran el diseño de las políticas de I+D, su planificación y la coordinación de los diferentes agentes del sistema, con el objetivo de lograr una mayor eficacia y eficiencia en la aplicación de dichas políticas”.

- ✓ **Plan Nacional de I+D+I:** “establece los objetivos de la investigación científica y tecnológica en el sector público y privado para períodos plurianuales. Se puede revisar anualmente. Incluye las actividades a desarrollar por los organismos de investigación estatales y otros organismos y entidades que se acuerden. El Plan General se financia con fondos procedentes de los Presupuestos Generales del Estado y de otras Administraciones Públicas, así como de aportaciones procedentes de otros fondos. La aprobación del Plan corresponde al Gobierno y su seguimiento y valoración al Parlamento, a partir de las comunicaciones periódicas que remite el ejecutivo. Desde la aprobación del primer Plan Nacional en 1988, el Sistema Español de Ciencia-Tecnología-Empresa (CTE) ha aumentado la capacidad del Sistema Público de I+D+I y su apertura a sectores productivos”.
- ✓ **Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT):** “es el órgano responsable de la planificación, coordinación y seguimiento del Plan Nacional de I+D+I. Funciona con dos tipos de comisiones, el Pleno y la Comisión Permanente y tiene dos órganos consultivos: Consejo General de Ciencia y Tecnología y Consejo Asesor para la Ciencia y la Tecnología”.

Órganos de financiación: “las administraciones públicas son las encargadas de definir políticas de apoyo a la I+D que incluyen instrumentos financieros, instrumentos regulatorios y sistemas de información y difusión. El objetivo de estos instrumentos es la promoción, el desarrollo y la innovación tecnológica como medio para alcanzar el bienestar social”. Se incluyen en estos

- ✓ AGE: los recursos asignados dentro de la AGE se incluyen dentro de los Presupuestos Generales del Estado.
- ✓ Administración de las CC.AA.
- ✓ Organismos Públicos de Investigación (OPIs)
- ✓ Entidades Públicas Empresariales

Órganos de ejecución: encargados de la realización de actividades I+D+I:

- ✓ Universidades Públicas: conforman uno de los principales recursos investigadores de España. Están vinculadas a la investigación básica.
- ✓ OPIs: representan el 80% de la I+D pública que se realiza en España. Las OPIs incluyen los IGME, IEO, CSIC, CIEMAT, INIA Instituto de Salud “Carlos III”, INTA, CEDEX, entre otros.

Organismos de soporte a la I+D+I, empresa y sociedad:

- ✓ **Organismos de soporte:** tales como OTRIS, Centros Tecnológicos, Parques Científicos y Tecnológicos, Fundaciones, etc. Estos organismos cumplen la función de actuar como intermediarios entre los centros de oferta y el sector privado vinculado a las empresas.

- ✓ **Empresas:** constituyen uno de los elementos fundamentales del sistema, ya que la investigación está enfocada principalmente a fortalecer la capacidad y posición competitiva de las PYMES. Además de recibir las ventajas de las políticas de apoyo a la I+D+i desempeñan un papel activo mediante sus propias inversiones y formación de personal.

- ✓ **Sociedad**

Órganos de evaluación:

CNEAI. Comisión Nacional Evaluadora de la Actividad Investigadora: “realiza la evaluación de la actividad investigadora de los profesores universitarios y del personal de las escalas científicas del CSIC, con el objeto de que les sea reconocido un complemento de productividad (sexenio). La evaluación se lleva a cabo anualmente y, para obtener el complemento de productividad, los investigadores han de someter a evaluación los trabajos científicos realizados durante un periodo no inferior a seis años. Para la realización de las evaluaciones, la CNEAI cuenta con Comités Asesores, formados por expertos que efectúan el estudio técnico de los expedientes. La CNEAI puede nombrar también a otros expertos para actuar en áreas específicas o para otros cometidos”

ANECA. Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación: “Se trata de una fundación estatal que tiene como objetivo contribuir a la mejora de la calidad del sistema de educación superior mediante la evaluación, certificación y acreditación de enseñanzas, profesorado e instituciones. Este objetivo estuvo alineado con la finalidad de construir un Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) en el año 2010”.

CDTI. Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial: “Entidad Pública Empresarial, dependiente del Ministerio de Ciencia e Innovación, que promueve la innovación y el desarrollo tecnológico de las empresas españolas. Desde el año 2009 es la entidad del Ministerio de Ciencia e Innovación que canaliza las solicitudes de financiación y apoyo a los proyectos de I+D+i de empresas españolas en los ámbitos estatal e internacional”

3.4. BREVE RESEÑA DEL CAPITULO

En el presente capítulo, se han abordados, en primera instancia aspectos relacionados al marco teórico de la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación, haciendo foco en los conceptos de “gestión de la innovación” y “sistemas de gestión de la innovación”. Luego, en una segunda instancia, se resumió el recorrido institucional del I+D+i en España a lo largo de los años, hasta llegar a la configuración actual del sistema público de fomento a estas actividades. Se hizo especial foco en la Norma UNOVE 166.001, que normaliza la elaboración de proyectos I+D+i, aspecto sobre el cual se basan las iniciativas públicas de los órganos de fomento mencionados.

De esta forma, todo este progresivo desarrollo institucional y normativo vinculado a la promoción de las actividades de I+D+i ha propiciado un marco para el surgimiento de soluciones vinculadas a estos campos. Más adelante, se presenta en el Capítulo 5, un sistema innovador de monitorización de taludes nacido como consecuencia de un programa de promoción de I+D+i.

Capítulo 4: MANTENIMIENTO DE TALUDES EN CARRETERAS Y VÍAS FERROVIARIAS

4. MANTENIMIENTO DE TALUDES EN CARRETERAS Y VÍAS FERROVIARIAS

4.1. ESTABILIDAD DE TALUDES

La **estabilidad de taludes** es uno de los temas que más preocupan en el ámbito geotécnico de la actualidad (Suman et al., 2016). Las fallas naturales y artificiales de la pendiente del suelo son fenómenos complejos y causan serios peligros en muchos países del mundo. Como resultado, la propiedad pública y privada sufre daños por millones de dólares en todo el mundo.

La **estabilidad de un talud** se refiere a “la seguridad de una masa de suelo o roca contra la falla o movimiento. Así, los criterios de estabilidad de taludes pretenden establecer en un instante dado cuál será la inclinación apropiada del corte, siendo ésta por lo general la más escarpada que se sostenga el tiempo necesario sin caerse” (Chanalata et al., 2007).

Como aseguran Cruden & Varnes, “las **inestabilidades de los taludes rocosos** pueden a veces provocar roturas catastróficas abarcando grandes volúmenes de masa rocosa o velocidades altas que provocan daños enormes” (Cruden & Varnes, 1996)

Varios **parámetros** como la geometría de las pendientes, los datos físicos de los materiales geológicos y sus factores de resistencia al corte (cohesión y ángulo de fricción interna), la información sobre las presiones de poro y agua tienen un papel influyente en la evaluación de la **estabilidad de las pendientes**. La estabilidad de las pendientes también se caracteriza por muchas fuentes de incertidumbre, como las propiedades del suelo, la carga, la presión del agua (Chanalata et al., 2007).

Los **factores que influyen en la estabilidad de taludes** se pueden separar en dos grandes grupos: factores internos y externos.

Los **factores internos**, condicionan las diferentes tipologías de deslizamiento, los mecanismos y modelos de rotura. Dentro de ellos se encuentran características intrínsecas, relativas a las propiedades del material y a su resistencia y las características extrínsecas relacionadas con la morfología y condiciones ambientales a la que está sometido el talud.

Los **factores externos** actúan sobre el material y dan lugar a modificaciones en las condiciones iniciales de las laderas, provocando o desencadenando las roturas debido a las variaciones que ejercen en el estado de equilibrio. Tres tipos de acciones se incluyen: la infiltración de agua en el terreno, las vibraciones y las modificaciones antrópicas (Keefer, 1984).

Listando a continuación los **principales factores** acorde a lo mencionado, se tiene:

- ✓ La litología o formación geológica
- ✓ La estructura geológica
- ✓ La geomorfología
- ✓ Estado de meteorización
- ✓ Pendiente y relieve

- ✓ El clima y la hidrología
- ✓ La sismicidad
- ✓ Cobertura vegetal
- ✓ El efecto antrópico

4.2. TALUDES EN LAS INFRAESTRUCTURAS VIALES Y FERROVIARIAS

Dado que la propia construcción de **una carretera o una vía ferroviaria** conlleva la necesidad de proceder a la realización de **movimientos de tierra para conseguir la rasante proyectada**, podemos considerar las obras de tierra precisas para su construcción como uno de los elementos básicos de la misma.

Los taludes son, por excelencia, la obra “universal”, necesarios para la construcción de cualquier obra o infraestructura. Tanto si se trata de excavar el terreno rebajando su cota para una cimentación o explotación de recursos como de conseguir una superficie llana para edificar o construir obras lineales, la excavación de taludes es la actividad más frecuente en ingeniería civil. Otra de las características de los taludes es que, al igual que los túneles, el propio terreno constituye la obra de ingeniería, a diferencia de los casos en que el terreno constituye el soporte de las obras o el material con el que éstas se construyen (e. g. cimentaciones y pedraplenes, respectivamente). Este carácter universal y extendido de la excavación de taludes tiene unas implicaciones contrapuestas que constituyen la esencia de esta actividad, y han marcado su desarrollo y estado actual (González de Vallejo et al., 2017).

De esta forma, los **taludes representan elementos de complejidad** y, al mismo tiempo, uno de los elementos claves en la gestión del mantenimiento de carreteras y vías ferroviarias, pudiendo tener un efecto exponencial en los costes si no son tratados adecuadamente. Las fallas en estas formaciones representan peligros significativos tanto para usuarios de automóviles como para los de trenes.

4.3. FILOSOFÍAS DE MANTENIMIENTO DE TALUDES: CORRECTIVO, PREVENTIVO, PREDICTIVO.

En la actualidad, se pueden considerar las existencias de tres distintas filosofías, políticas o formas de mantenimiento aplicadas tanto a carreteras y vías ferroviarias como a obras de infraestructuras en general: **el mantenimiento correctivo, preventivo o predictivo**.

Estas tienen diferentes características de aplicación y de procesos, lo cual las lleva a diferencias en aspectos técnicos, pero fundamentalmente de costes. Como se puede intuir, el **mantenimiento y la gestión de la explotación de las infraestructuras** civiles existentes en la actualidad, acarrearán una gran parte de los costes de las administraciones o empresas privadas que llevan a cabo tales tareas.

La evaluación económica de la infraestructura de transporte es tan importante como su diseño técnico y estructural: a menudo las partes interesadas tienden a calcular solo los costos de construcción al evaluar la sostenibilidad del proyecto económico. Pero, los costos de **mantenimiento** tienen una fuerte influencia en los costos totales para ser cubiertos durante la infraestructura de toda la vida (Moretti et al., 2016). En este contexto, la **operación óptima de estructuras e infraestructura** requiere maximizar la disponibilidad (es decir, la operación sobre un umbral de capacidad de servicio predefinido) y la seguridad a un costo mínimo. Para lograr este objetivo, es esencial definir políticas de operación rentables, entre las cuales el

mantenimiento juega un papel importante (Sánchez-Silva et al., 2016).

El **mantenimiento** puede representar una parte significativa del costo en las organizaciones intensivas en activos, ya que las averías tienen un impacto en la capacidad, la calidad y el costo de operación. Sin embargo, la formulación de una estrategia de mantenimiento depende de una serie de factores, que incluyen el costo del tiempo de inactividad, las características de confiabilidad y la redundancia de los activos. En consecuencia, el equilibrio entre el mantenimiento preventivo y el mantenimiento correctivo para minimizar los costos varía entre las organizaciones y los activos (Stenström et al., 2016)

Más aun en lo referido a **mantenimiento de taludes**, tienen una gran ponderación factores como la seguridad vial de los usuarios, debido al riesgo que estas formaciones representan para la vía, así como la experiencia histórica de accidentes vinculadas al fenómeno de deslizamiento. Es por esta razón que se han analizado, a lo largo del tiempo, distintas formas de abordar el control, monitorización y mantenimiento de los taludes y laderas.

Las **alternativas de mantenimiento** óptimas son aquellas soluciones que minimizan el costo del ciclo de vida de una red de infraestructura al tiempo que cumplen con los requisitos de seguridad, confiabilidad y funcionalidad en un horizonte de planificación determinado (Morcoux & Lounis, 2005).

La optimización del mantenimiento es un tema popular para los investigadores. Desde que Barlow y Hunter dieron el modelo de reparación mínima en 1960, se han desarrollado e implementado muchas estrategias de mantenimiento óptimas para mejorar la confiabilidad del sistema, prevenir fallas del sistema y reducir los costos de mantenimiento (Zhou et al., 2007).

Como se ha introducido anteriormente, se abordarán los **enfoques de mantenimientos correctivos, preventivos y predictivos** aplicados a infraestructuras.

La selección de una **política de mantenimiento óptima** debería contribuir a maximizar el análisis de costo-beneficio. Si el foco del análisis es solo el costo de las intervenciones, una política óptima de mantenimiento del sistema debe estar dirigida a minimizar los costos de mantenimiento (inspecciones e intervenciones) (Sánchez-Silva et al., 2016).

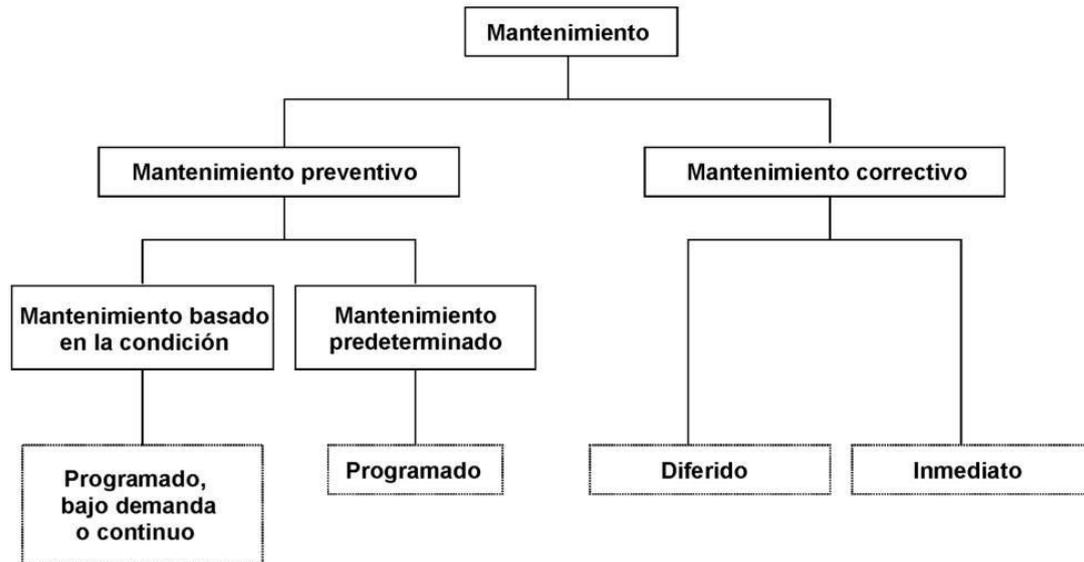


Figura 18: Estrategias de mantenimiento de activos. Fuente: AENOR. Asociación Española de Normalización y Certificación. (2011). In Comité técnico AEN/CTN 151 Mantenimiento. INGEMAN. (Ed.), UNE-EN 13306:2011. Mantenimiento. Terminología del mantenimiento.

4.3.1. MANTENIMIENTO CORRECTIVO

El **mantenimiento correctivo** tiene lugar “cuando las tareas de mantenimiento no se realizan de forma necesaria hasta que un activo deja de funcionar, falla o se deteriore. Entonces es cuando el mantenimiento se debe realizar como intervención para devolverlo a su estado original. Este tipo de mantenimiento es el más simple dentro de las estrategias de mantenimiento, e incluye todas las actividades, incluida la sustitución o reparación del elemento a un punto de servicio óptimo” (Horner et al., 1997).

El mantenimiento correctivo se refiere a veces como el mantenimiento basado en el fracaso o la no planificación. Las tareas de mantenimiento correctivo a menudo se realizan de un modo ad hoc en respuesta a las averías o solicitudes de usuario (David & Arthur B., 1989).

En las **infraestructuras de carreteras y vías ferroviarias que poseen taludes** esta filosofía de mantenimiento implica la no intervención del activo o en cuestión, hasta su desmoronamiento, para su posterior recogida del material y retiro. Sin embargo, el mantenimiento correctivo puede resultar muy costoso por tres razones fundamentales (García Gómez & Yepes, 2014):

1. Puede producir una enorme cantidad de daños materiales como consecuencia de otras formaciones materiales.
2. El fallo de un elemento puede darse en un momento poco indicado, resultando en inconvenientes para el usuario y para el ente responsable de mantenimiento
3. El lucro cesante debido al tiempo de inactividad de la infraestructura por consecuencia del fallo producido

A pesar de estos riesgos, el mantenimiento correctivo sigue siendo una parte importante de cualquier

estrategia de gestión de mantenimiento de taludes en carreteras y vías ferroviarias.



Figura 19: Falla de talud en autovía Santiago-Brion, Galicia. Fuente: La Voz de Galicia (7 de junio de 2016). El talud de la autovía, pendiente aún. Recuperado de lavozdegalicia.es/noticia/santiago/santiago/2016/03/07/talud-autovia-pendiente/

4.3.2. MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Otra estrategia de mantenimiento es el llamado **preventivo o proactivo**. En este, “las tareas de mantenimiento se llevan a cabo a intervalos regulares, manteniendo el estado físico del elemento en un nivel adecuado, evitando que alcance niveles de deterioro elevados que puedan afectar a su funcionalidad y provocar costes elevados de reparación. Estas actuaciones son habitualmente de alcance y coste limitado y se realizan con cierta periodicidad en función de la evolución observada o incluso de manera programada antes de que el defecto se llegue a manifestar” (Clemente, 2012).

El **mantenimiento preventivo** surge a la luz de superar las desventajas que el mantenimiento correctivo acarrea, bajando la probabilidad de ocurrencia del fallo. Esta estrategia también es conocida como mantenimiento basado en el tiempo, o de ciclo planeado. Los parámetros que determinan la frecuencia de las intervenciones varían según el caso que se trate, pero hacen uso, en su gran mayoría, de experiencias y datos estadísticos.

En el caso del **mantenimiento de taludes en carreteras y vías ferroviarias**, este tipo de mantenimiento implica la construcción o instalación de dispositivos u estructuras a los fines de reducir el riesgo de fallo de los taludes inestables. Entre este tipo de intervenciones, se pueden mencionar (Cepeda Medina et al., 2009):

- ✓ **Cunetas de coronación:** Ubicadas en la parte superior de los terraplenes, tienen como principal tareas recoger las aguas superficiales que se desplazan por la superficie terrestre, es decir, en forma de escurrimiento y canalizarlas adecuadamente. De esta forma, se evita que incurran en zonas que puedan provocar la progresiva erosión y desgaste de la pendiente
- ✓ **Hinca de carriles:** La hinca de carriles permite mejorar las condiciones geotécnicas de un terreno, terraplén, etc. y de este modo, aumentar la estabilidad del mismo. Para ello, se introducen en la formación geológica o en el terraplen consiguiendo de esta forma una mayor fijación de los

materiales.

- ✓ **Muros de contención:** Se constituyen en los pies de los taludes. Suelen ser de hormigón masivo u hormigón armado, y tienen como ventaja su rapidez y relativa facilidad de ejecución. Sin embargo, el planteamiento de las fuerzas actuantes debe estar bien definidos para que efectivamente puedan ejercer la protección sobre la infraestructura, al mismo tiempo que tienen un elevado coste inicial, lo que lo hace inviables para largas longitudes de taludes peligrosos.
- ✓ **Protecciones con escollera:** Se colocan especialmente cuando se producen erosiones en los pies de los taludes, causadas por la circulación de agua por las cunetas. En general, tienen un gran espesor y cantos importantes. Tienen la gran ventaja de poder ofrecer el fácil drenaje del talud. Son de uso frecuente, asimismo, en el caso de tener que sujetar taludes formados por materiales con un ángulo de rozamiento muy bajo.

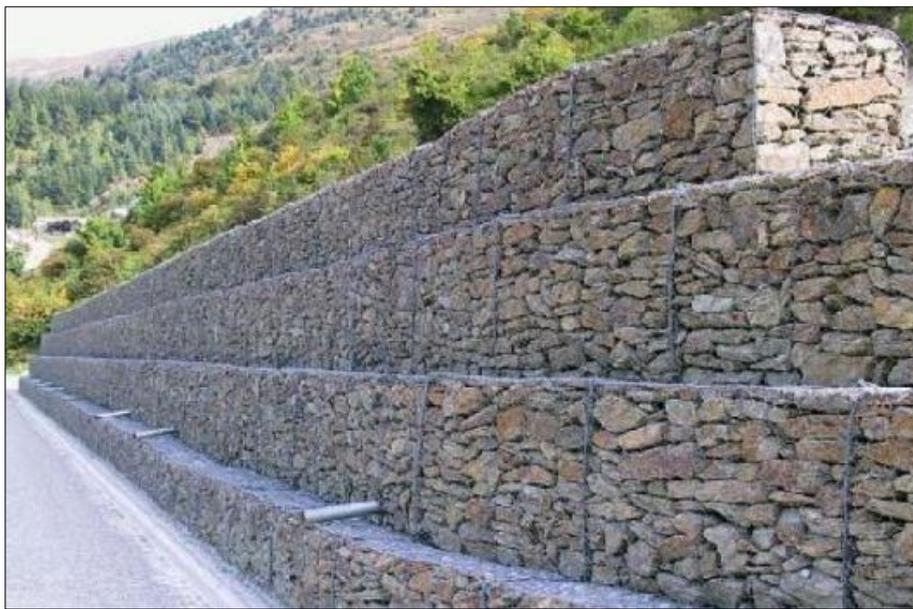


Figura 20; Talud protegido por gaviones al costado de carretera. Fuente: Wikivia (19 de Septiembre de 2019). Estabilización de taludes (proyecto). Recuperado de [www.wikivia.org/wikivia/index.php/Estabilizaci%C3%B3n_de_taludes_\(proyecto\)](http://www.wikivia.org/wikivia/index.php/Estabilizaci%C3%B3n_de_taludes_(proyecto))

4.3.3. MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Por último, el **mantenimiento predictivo o basado** en la condición, se puede definir como “mantenimiento llevado a cabo en respuesta a un deterioro significativo en un elemento debido a un cambio en el parámetro monitorizado de la condición o el rendimiento del elemento (Kelly & Harris, 1978). El concepto de mantenimiento basado en la condición reconoce que un cambio en el estado y / o el rendimiento de un elemento es la razón principal para llevar a cabo el mantenimiento. Por lo tanto, el momento óptimo para realizar el mantenimiento se determina a partir de unas pruebas o ensayos de condición usadas para determinar el estado real de cada elemento constituyente”(Morcoux & Lounis, 2005).

En esta estrategia, las tareas de mantenimiento se determinan y planifican mediante la supervisión de distintos elementos y parámetros correspondientes al funcionamiento del sistema, mediante los cuales se realiza una evaluación y predicción del proceso de deterioro. En otras palabras, es base a comportamiento

actual del elemento, medido a partir de parámetros, se puede estimar el comportamiento futuro, situación sobre la cual se planifican las intervenciones.

Aplicado al caso del **mantenimiento de taludes en carreteras y vías ferroviarias**, se podría decir que el mantenimiento predictivo se enfoca fundamentalmente a **técnicas y sistemas de monitoreo de sus movimientos**, evaluando de esta forma su comportamiento y determinando entonces su momento de intervención óptimo. Entre los sistemas de monitoreo de movimiento de taludes, incluidas como mantenimiento predictivo, los más extensamente utilizados en la actualidad tienen que ver con el uso de **sistemas LiDAR, técnicas fotogramétricas, sensórica geotécnica y termografía aplicada**. Estos se explicarán extensamente en el siguiente apartado.

En resumen, podemos decir que la complejidad del sistema de gestión de mantenimiento se incrementa desde el mantenimiento correctivo al preventivo y predictivo. La naturaleza de la estrategia o política de mantenimiento e intervenciones a utilizar en una infraestructura civil, depende ampliamente del caso que se tratase, influyendo factores tales como el flujo costes de las tareas, el lucro cesante por inactividad, la seguridad de los usuarios, etc.



Figura 21: Las principales estrategias de mantenimiento dentro de la Gestión de Activos. Fuente: García Gomez, J. (2014). La gestión de activos en la edificación y el mantenimiento de edificios. Trabajo de fin de máster UPV.

4.4. NECESIDAD DE CAMBIO DE ENFOQUE EN EL MANTENIMIENTO DE TALUDES

Como se ha verificado ampliamente mediante numerosos casos, los taludes que se consideran críticos y, muchas veces aquellos que no son considerados críticos, pueden fallar inesperadamente generando numerosos problemas a la sociedad: suspensión temporal de las vías de transporte, grandes costes de reparación, víctimas fatales, entre otras cosas. En este contexto, existe un interés generalizado desde hace varios años de los gestores de infraestructuras de cambiar un enfoque “pasivo” mediante mantenimiento

correctivo o preventivo a pasar a un enfoque “activo” en la gestión de estos activos (Smethurst et al., 2017).

Por otra parte, el surgimiento y masivo uso de una amplia gama de nuevas tecnologías hace posible el delineamiento de nuevos sistemas enfocados a un mantenimiento predictivo de taludes (Smethurst et al., 2017). Si bien cada sistema tiene sus características específicas, estos sistemas de mantenimiento predictivos se enfocan en el **monitoreo activo de alguna de las variables que pueden ser críticas en la estabilidad de un talud**. Este objetivo de monitoreo es el que conducen al diseño de la instrumentación, su densidad de instalación o uso, los métodos para ubicarlos, el enfoque de recopilación de datos e intervalos de lectura, y su posterior tratamiento e interpretación (Smethurst et al., 2017).

Los objetivos previstos del esquema deben dictar los objetivos de monitoreo, que conducen a un diseño detallado de tipo de instrumentación, número de instrumentos, método de instalación, enfoque de recopilación de datos e intervalo de lectura, y cómo son los datos almacenado, analizado e interpretado. Los parámetros más comúnmente medidos son:

- ✓ **Desplazamiento de terreno:** en general fácil de medir y monitorizar. Las mediciones pueden mostrar los desplazamientos al suelo que han tenido lugar, a qué profundidad ocurren, y la magnitud de estos. Si bien difícilmente puedan dar resultados directamente relacionados con la estabilidad del talud (ya que esta depende también del historial de desplazamientos) pueden dar valiosas señales de alerta e intervención.
- ✓ **Presiones de agua subterránea.** El aumento de la tensión o el fallo total en muchos taludes muchas veces es causado por cambios en el estrés efectivo, a su vez causados por aumentos en la presión del agua de los poros. Por lo tanto, las presiones de agua de los poros son comúnmente monitoreadas, utilizando una gama de diferentes tipos de piezómetro (Clarke D. & Smethurst J.A., 2007)
- ✓ **Variables climatológicas:** las precipitaciones son muchas veces monitorizadas para anticipar problemas de estabilidad de taludes, ya que tienen un impacto directo en la saturación del suelo y por ende, en la presión de poros. Dependiendo del tipo de suelo, el evento de lluvias prolongadas lleva consigo un importante riesgo de falla de aquellos taludes considerados inestables. Por su parte, lluvias intensas en cortos periodos conllevan riesgos de desprendimientos superficiales y cambios de pendiente. La temperatura, y en climas más fríos, la temperatura del suelo, también son importantes; por ejemplo, la descongelación del suelo congelado puede conducir a un aumento de las presiones del agua, lo que puede desestabilizar las laderas (Springman et al., 2012)

Acorde a estas variables, existen numerosos métodos desarrollados en los últimos años, y disponibles en el mercado, con el fin de lograr una **monitorización de taludes y un mantenimiento con enfoque predictivo**. Estos sistemas se describirán detalladamente en el próximo capítulo.

4.5. BREVE RESEÑA DEL CAPÍTULO

Para resumir, podemos asegurar que los taludes son particularidades existentes en las obras de carreteras y vías ferroviarias que necesitan especial atención (en aquellos casos críticos) por el peligro que conllevan, es decir, requieren mantenimiento y continua vigilancia. Dentro de las políticas de mantenimiento descritas, los gestores de infraestructuras, apoyados por los desarrollos tecnológicos de los últimos años, están

cambiando su perspectiva de mantenimiento hacia enfoques predictivo, mediante la monitorización de variables vinculadas al movimiento de tierras, a la presión de poros o a los eventos climatológicos ocurrido en taludes.

Capítulo 5: MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE TALUDES EN CARRETERAS Y VÍAS FERROVIARIAS: SISTEMAS DE MONITORIZACIÓN.

5. MANTENIMIENTO PREDICTIVO DE TALUDES EN CARRETERAS Y VÍAS FERROVIARIAS: SISTEMAS DE MONITORIZACIÓN.

Una vez vistas las distintas filosofías y políticas de mantenimientos de activos, y la tendencia hacia un cambio de enfoque hacia técnicas de mantenimiento predictivo por medio de sistemas de monitorización de distintas variables, a continuación, se describirán los principales sistemas utilizados para tal fin.

A modo de repaso, estos **sistemas de monitorización** permiten un seguimiento continuo de parámetros vinculados al estado del talud, permitiendo a los gestores de las infraestructuras poder realizar una evaluación y análisis del comportamiento para que, en base a esto, tomen las medidas correspondientes para evitar deslizamientos, desprendimientos o cualquier tipo de inconveniente que se pudiera causar.

Los **sistemas de monitorización** existentes cubren una gama muy variada de distintas opciones. Existen desde protocolos de mediciones manuales de elementos geotécnicos, hasta sensores ubicados en satélites para detectar movimientos de tierra a nivel regional. Entre los principales factores diferenciales de los métodos existentes, podemos mencionar:

- ✓ Sistemas terrestres vs. Sistemas remotos.
- ✓ Sistemas estáticos vs. sistemas dinámicos.
- ✓ Recolección de datos superficiales vs recolección de datos en profundidad.
- ✓ Sistemas de mediciones puntuales vs. sistemas de mediciones espaciales o volumétricas.
- ✓ Sistemas con instrumentación permanente vs. sistemas de mediciones repetidas.
- ✓ Sistemas telemétricos vs sistemas de recolección manual de datos.

Los sistemas de monitoreo dependerán en casa caso de múltiples variables, como la cobertura de señal, la extensión del talud, las características topográficas, entre otros.

En primer lugar, existen técnicas **de teledetección aérea** que utilizan sensores que, ubicados desde distintos puntos “fuente”, obtienen información del activo a analizar de forma no intrusiva. Generalmente, estos sistemas van montados en satélites, aeronaves tripuladas y no tripuladas, de manera que ofrecen un medio rentable de adquisición de información por su amplio rango de cobertura (Hardy et al., 2012). Sin embargo, suelen estar limitados en términos de resolución temporal (que se basa en órbitas satelitales o horarios de vuelo) y proporcionan sólo información de superficie o muy cerca de la superficie. Esto incluye **el LiDAR aéreo, la fotogrametría aérea y la técnica InSAR**. (Clarke D. & Smethurst J.A., 2007)

Por otro lado, la **teledetección terrestre** también incluye los sensores LiDAR, en este caso, denominado **LiDAR terrestre**, así como **radar de penetración en tierra y la imagen capacitiva de la resistividad**. Estos sistemas pueden obtener mayor información espacial y subsuperficial, pero están limitados en términos de resolución temporal por la necesidad de recopilación de datos, y por lo tanto pueden ser costosos cuando se requiere un monitoreo frecuente (es decir, alta resolución temporal). (Wilkinson et al., 2016)

Otros tipos de sistemas son aquellos que utilizan **sensores puntual** para la toma de diferentes tipos de datos

a nivel local, teniendo una excelente resolución temporal y precisión, Sin embargo, son muy limitados en su área de cobertura y sus métodos de extrapolación suelen ser complejos. Entre estos encontramos los sensores de medición inalámbricos y tecnologías de fibra óptica que pueden proporcionar información a escala creciente. Los sensores de puntuales implementados permanentemente, junto con la electrónica de baja potencia y la telemetría de datos, pueden lograr una resolución temporal muy alta y una entrega de información casi en tiempo real. Los sistemas que funcionan de forma remota y automática y se interconectan con una amplia gama de tipos de sensores permanentemente desplegados están cada vez más bien desarrollados (Intrieri et al., 2012)

A continuación, se describen las tecnologías más extensamente usadas en cada uno de los grupos expuestos.

5.1. SISTEMAS DE TELEDECCIÓN AEREA

5.1.1. LASER IMAGING DETECTION AND RANGING (LIDAR)

Un sistema LIDAR es “un sistema complejo de componentes electrónicos compuesto por un emisor/receptor y un escáner láser muy potente, un receptor GPS que proporciona la posición y la altura del avión en cada momento, y un sistema inercial (IMU) que informa de los giros del avión y de su trayectoria” (Peguero Orta, 2012).

El elemento fundamental de un sistema LiDAR consiste en su sensor o escáner laser, el cual emite pulsos de luz en el rango infrarrojo con el fin de determinar la distancia entre el elemento emisor, en este caso, el sensor, y los puntos u objetos enfrentados. La longitud de onda, en general, varía entre 500-1400 nm, y su energía entre 10^{-5} y 10^{-3} Joules. El tiempo que tarda el rayo en “ir y volver” es la variable clave para poder determinar a la distancia.

La plataforma de toma de datos puede ser variadas, incluyéndose aeronaves, helicópteros y drones. La velocidad de vuelo estará directamente relacionada con la densidad de medición que se quiere lograr.

Estos sistemas son capaces de capturar una gran cantidad de datos en gran detalle, que derivan en la representación de un Modelo Digital del Terreno o superficie 3D. Un aspecto sumamente ventajoso de este sensor, es que no depende de variables ambientales para efectivizar su medición. Es decir, se puede ejecutar su trabajo en condiciones nocturnas, de lluvia, niebla o nevadas.

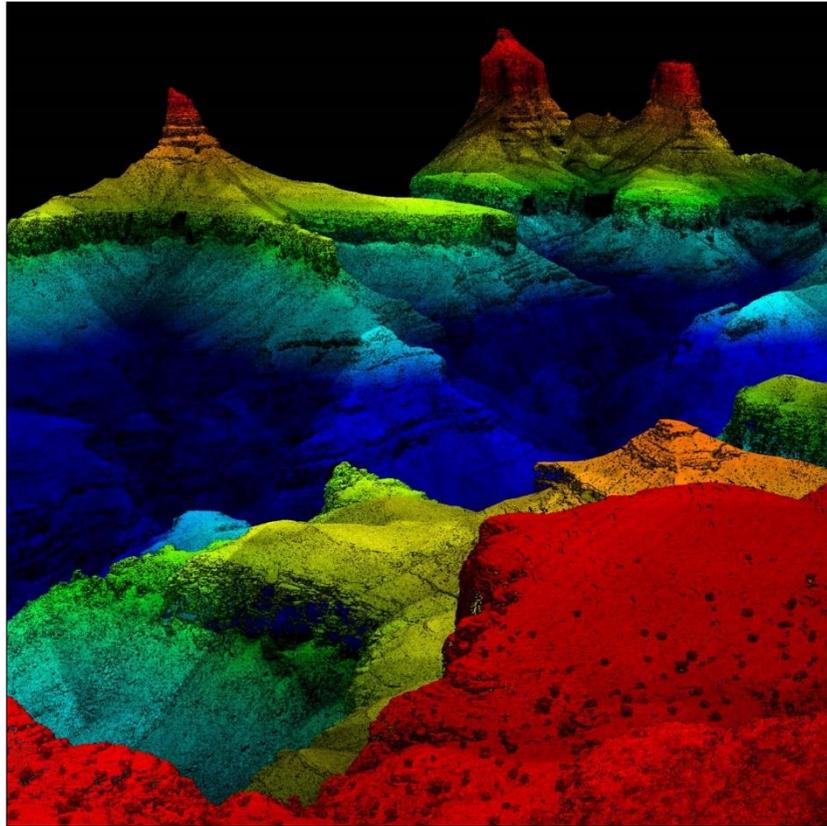


Figura 22: L3HARRIS (30 de octubre de 2019). Remote-sensed LiDAR Terrain Mapping. Recuperado de harris.com/solution/remote-sensed-lidar-terrain-mapping

5.1.2. FOTOGRAMETRÍA AÉREA

En esencia, se entiende por fotogrametría el “conjunto de técnicas, instrumentales y matemáticas, que permiten obtener coordenadas tridimensionales de un objeto, a partir de la información bidimensional extraída de una o varias fotografías. Por lo tanto, es evidente que en este proceso debe intervenir, de forma fundamental, varios tipos de semejanzas, afines, proyectivas del plano, del espacio, y entre el plano y el espacio” (Pozuelo, 2010).

La fotogrametría ha sido una de las técnicas más usadas para la generación de Modelos Digitales de Terreno, mediante la toma en distintos ángulos de fotografías aéreas. Su principal cualidad es que permite obtener una visión global de la zona deformada y no sólo de algunos puntos de la misma, tal y como ocurre con otros métodos de control de deformaciones.

En el caso de la fotogrametría aérea, la cámara se sitúa sobre una plataforma espacial (satélite) o aérea (avión o helicóptero), desde donde ejecuta la toma de datos. La fotogrametría satelital obtiene precisiones bajas para analizar movimientos de ladera por lo que la técnica utilizada habitualmente para estudiar este tipo de fenómenos es la fotogrametría aérea, tomando fotografías a una altura de vuelo inferior a 1.000 metros.

Mediante el procesado de las imágenes obtenidas se pueden obtener MDTs de alta precisión que pueden ser utilizados para el análisis a escala de ladera. Además, la comparación de los MDTs obtenidos en diferentes intervalos de tiempo a través de esta técnica, permite identificar los cambios superficiales que se han



producido en una zona.

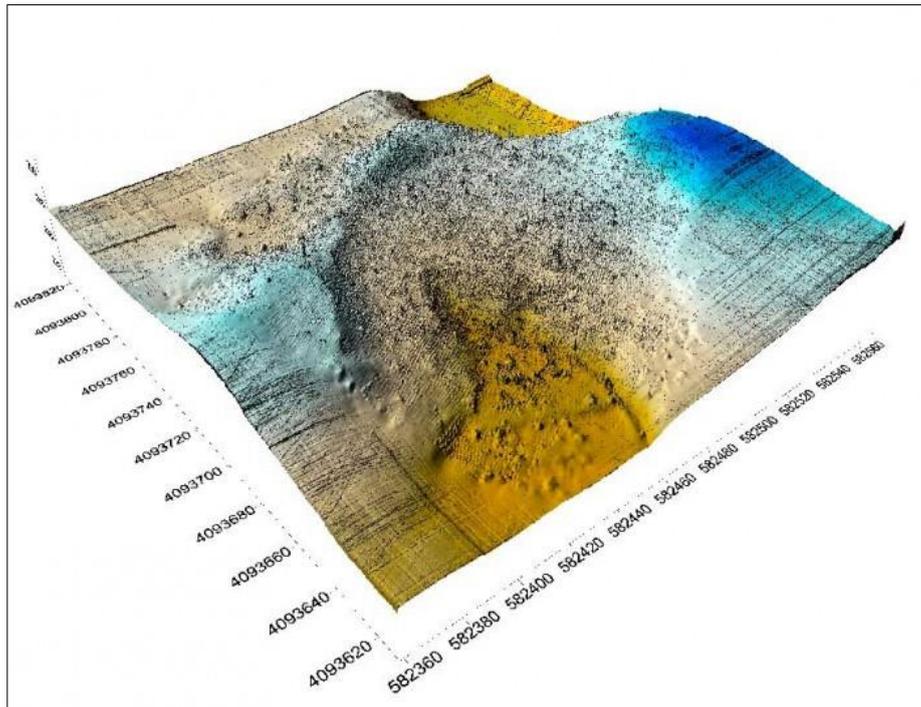


Figura 23: Ejemplo de Modelo Digital de Terreno (MDT) obtenido a partir de técnicas fotogramétricas (20 de noviembre de 2019)
Fuente: Servicio periférico de I+D basado en drones. Universidad de Almería. Recuperado de www2.ual.es/drones/servicios/topografia-y-fotogrametria/

5.1.3. INSAR (INTERFEROMETRIC SYNTHETIC APERTURE RADAR)

InSAR es una “técnica de teledetección para la medición de la deformación de la superficie del terreno que explota la información geométrica contenida en la fase de al menos dos imágenes complejas interferométrica SAR adquiridas sobre la misma área. La información principal del InSAR es la llamada fase interferométrica, obtenida mediante la diferencia de fase de dos imágenes SAR, y relacionada con la topografía de la escena observada y la deformación del terreno que se produjo entre la adquisición de las dos imágenes” (Sun et al., 2015).

Durante años, el análisis InSAR de conjuntos de imágenes se logró mediante el seguimiento de la posición de los reflectores radar muy coherente llamados Permanent Scatterers (PS) que estaban presentes en todo el conjunto de datos. Esta aplicación PS-InSAR lograba una precisión milimétrica mediante la eliminación de la contribución de ruido de la atmósfera y funcionaba bien en zonas urbanas construidas. La principal limitación era la baja densidad de medidas en áreas con poca o ninguna infraestructura. Para lograr resultados útiles en zonas no urbanas, como minas, reservorios o deslizamientos, se optó por la identificación de medidas conocidas como Distributed Scatterers (DS).

El punto de medición DS corresponde a las áreas que tienen respuesta similar a la señal radar. El tamaño de la zona depende del tamaño del píxel y del número de píxeles adyacentes que muestra la misma respuesta a la señal SAR. Las técnicas avanzadas de procesamiento que utilizan tanto PS como DS aumentan significativamente la densidad de puntos de medición en entornos no urbanos. De esta manera se amplía la cantidad de medidas obtenidas dando la posibilidad de investigar el movimiento y de controlar muchas

zonas no urbanizadas incluyendo taludes de infraestructuras (Sun et al., 2015).

Su principal desventaja radica en el tiempo de recorrido de los satélites en la misma zona, así como también en el complejo tratamiento de datos que deriva en un alto coste computacional.

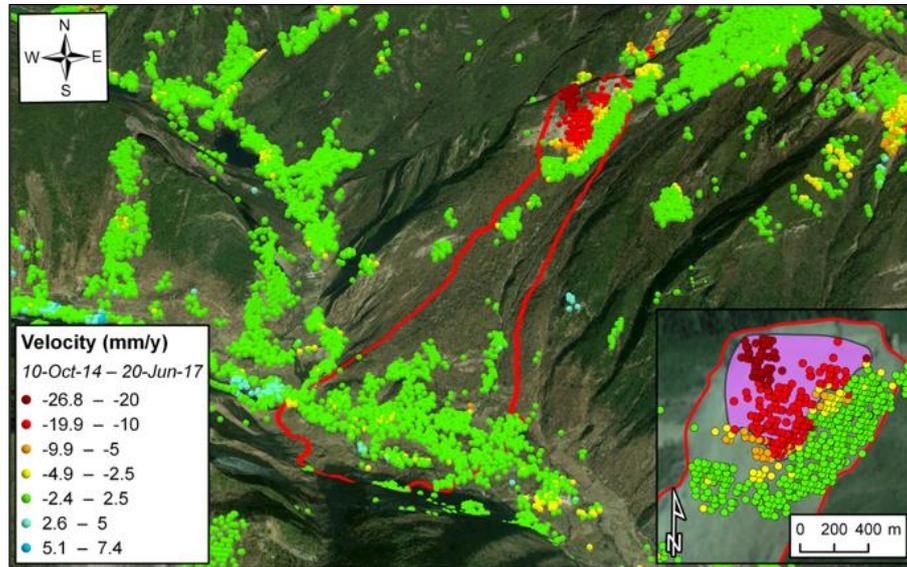


Figura 24: Datos satelitales de InSAR que muestran la deformación precursora que condujo al deslizamiento de tierra de Xinmo el 24 de junio de 2017. Fuente: Carlà, T., Intrieri, E., Raspini, F., Bardi, F., Farina, P., Ferretti, A., ... & Casagli, N. (2019). Perspectives on the prediction of catastrophic slope failures from satellite InSAR. *Scientific reports*, 9(1), 1-9.

5.2. SISTEMAS DE TELEDECCIÓN TERRESTRE

5.2.1. TERRESTRIAL LASER SCANNER (TLS)

El escaneo láser terrestre (TLS), también conocido como LiDAR terrestre o LiDAR topográfico, es un dispositivo que adquiere coordenadas XYZ de numerosos puntos en tierra emitiendo pulsos láser hacia estos y midiendo la distancia desde el dispositivo hasta el objetivo (Oguchi et al., 2011). El número de puntos medibles dentro de un cierto período es mucho mayor que el de los dispositivos TS y LRF: un dispositivo TLS moderno puede medir 104-106 puntos por segundo con una precisión de 10-1100 cm. Por lo general, se requieren paquetes de software a medida para administrar y analizar los datos debido a la gran cantidad de datos almacenados en una nube de puntos TLS. Una nube de puntos puede convertirse en un DEM de cuadrícula para facilitar el mapeo topográfico y los análisis espaciales.

Los instrumentos TLS se dividen comúnmente en tres categorías en función de la distancia que puede recorrer la luz láser para grabar un punto en un campo de visión: escáneres de corto, mediano y largo alcance. Los dispositivos TLS optimizados para un largo alcance (varios cientos de metros a kilómetros) se han aplicado para medir áreas espacialmente más grandes (Hunter et al., 2003; Abellán et al., 2006), mientras que los escáneres de menor alcance miden áreas espacialmente más pequeñas (hasta varios cientos de metros) con mayor detalle y precisión (Heritage y Large, 2009), lo que refleja una compensación entre la frecuencia del pulso y la energía de la luz láser. Para escáneres de corto alcance, el intervalo entre puntos de medición adyacentes puede ser de hasta 1 mm, aunque tales densidades no son prácticas para todas las áreas, excepto las más pequeñas. Una limitación potencial para los enfoques de TLS en



geomorfología es el peso del instrumento (> 20 kg, incluida la batería), pero como ocurre con muchas tecnologías, se están desarrollando dispositivos más livianos. En comparación con el escaneo láser aéreo, descrito a continuación, la aplicación de TLS a la geomorfología es un avance relativamente reciente que se ha concentrado en extensiones espaciales más pequeñas del terreno.



Figura 25: Equipo TLS preparado para la toma de datos del terreno. Fuente: Haddad, D. (29 de Octubre de 2019) TLS Applications for Precarious Rock Research. Recuperado de activetectonics.asu.edu/Precarious_Rocks/TLS4PBRs.html

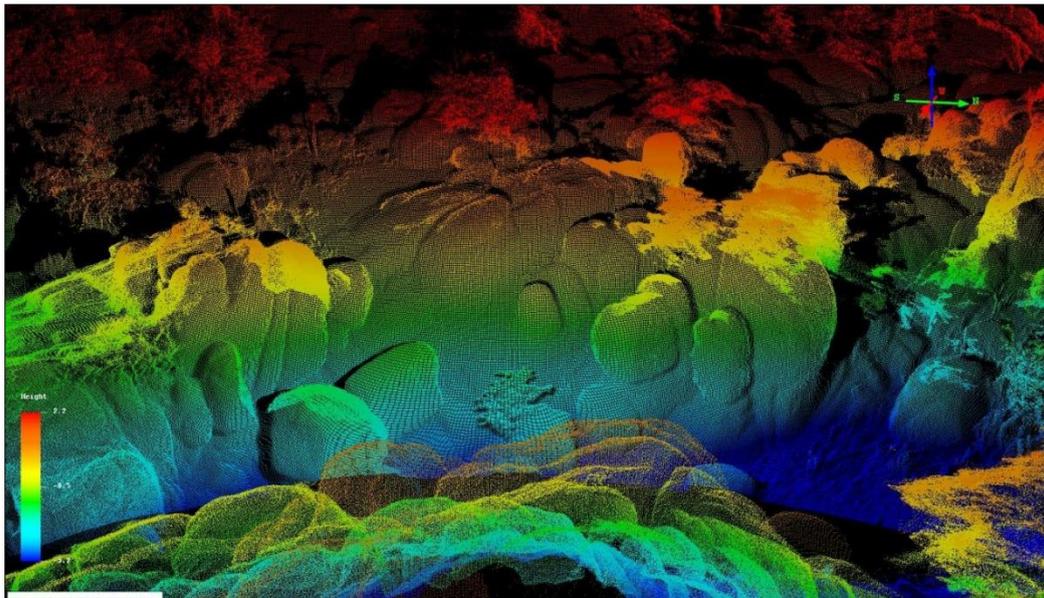


Figura 26: MDT elaborado a partir de la toma de datos con un equipo TLS. Fuente: (29 de octubre de 2019) TLS Applications for Precarious Rock Research. Recuperado de activetectonics.asu.edu/Precarious_Rocks/TLS4PBRs.html

5.2.2. FOTOGRAMETRÍA TERRESTRE

La fotogrametría terrestre también se utiliza para el monitoreo de deslizamientos a escala local. Los sitios que son demasiado empinados o demasiado pequeños para ser vistos con confianza desde el aire se prestan a estudiar en el suelo, aunque a distancia. La fotogrametría terrestre se puede utilizar eficazmente en sitios inseguros o inaccesibles (Savvaidis, 2003). Esta técnica, además presenta costes menores, en comparación con técnicas más modernas como el escáner láser terrestre, y sus equipos e instrumentos son fácilmente transportables.

Las cámaras especiales combinadas con teodolitos o estéreo cámaras han encontrado muchas aplicaciones en estudios de ingeniería terrestre, incluyendo mapeo y determinación de volumen de excavación

subterránea y perfilada de túneles. La precisión del posicionamiento fotogramétrico con cámaras especiales depende principalmente de la precisión de la determinación de las coordenadas de la imagen y de la escala de los gráficos fotográficos. Usando una cámara con f a 100 mm, a una distancia de S a 100 m, con la precisión de las coordenadas de la imagen de 10 m, las coordenadas de los puntos de objeto se pueden determinar con la precisión de 10 mm. Las cámaras especiales de gran formato con larga distancia focal se utilizan a corta distancia en el campo industrial de alta precisión. Pueden dar precisión submilimétrica en la digitalización de objetos de hasta varias decenas de metros de distancia.

5.2.3. TERMOGRAFÍA APLICADA (IRT)

IRT es la rama de la teledetección que se ocupa de medir la temperatura radiante de la superficie de la Tierra a la distancia. El producto de una medición termográfica infrarroja es una matriz de píxeles (termograma), adquirida a través del detector de la cámara térmica, que luego de la corrección de la sensibilidad de los parámetros (emisividad del objeto, longitud del tramo, temperatura del aire y humedad) se representa un mapa de temperatura radiante del objetivo en cuestión. La presencia dentro de la superficie de fracturas, corrimientos, deslizamientos, huecos, humedad y filtraciones se verán reflejadas en las características térmicas del material (densidad, capacidad térmica y conductividad) modificando de esta forma su transferencia de calor. Por lo tanto, una falta de homogeneidad o irregularidad en el escenario observado se manifestará en un cambio en el patrón térmico, llamado comúnmente como “anomalía térmica”, pudiendo entonces deducirse su ubicación y extensión. En los últimos años, el uso de este tipo de técnicas se ha ampliado en términos de la ingeniería y las geo ciencias, sin embargo, su aplicación al estudio de estabilidad de taludes ha quedado en el campo experimental (Casagli et al., 2017).

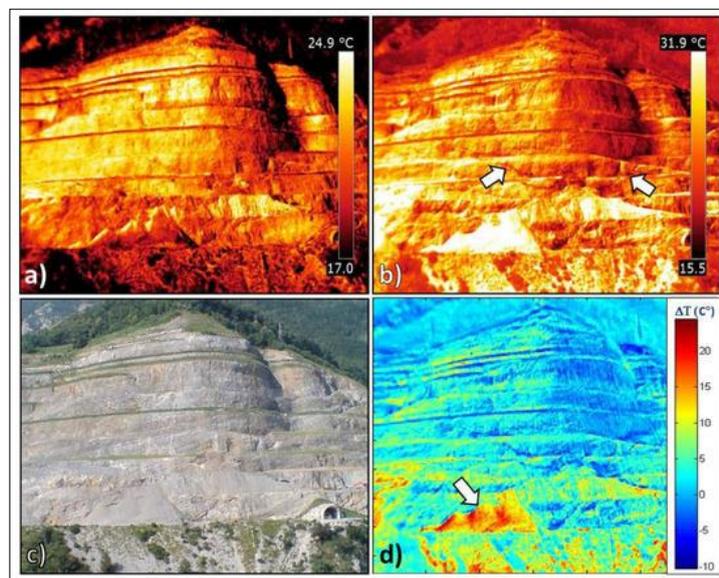


Figura 27. Mapas 2D de temperatura de la superficie del sector una cantera adquiridos a las 08:00 h (a) y 13:00 (b) Imagen óptica adquirida por la cámara digital incorporada (c) y el mapa de temperatura de superficie diferencial 2D (d) entre (a, b). Fuente: Frodella, W., Gigli, G., Morelli, S., Lombardi, L., & Casagli, N. (2017). Landslide mapping and characterization through Infrared Thermography (IRT): Suggestions for a methodological approach from some case studies. *Remote Sensing*, 9(12), 1281.

5.3. SISTEMAS DE SENSÓRICA PUNTUAL

5.3.1. FIBRA OPTICA APLICADA (BOTDR)

En la última década, las tecnologías de detección de fibra óptica se han desarrollado y aplicado con éxito para el monitoreo de la salud de una variedad de infraestructuras relacionadas con la geotecnia. Lo más importante es que, al combinar las técnicas de multiplexación por división de longitud de onda (WDM) y multiplexación por división de tiempo (TDM), los sensores de fibra óptica se pueden integrar para formar una red de detección de fibra óptica distribuida. Esto significa que la fibra óptica unidimensional, que combina la función de detección y transmisión de datos, se puede instalar en una estructura geográfica para obtener enormes datos de monitoreo de tensión, temperatura, desplazamiento, carga, etc. Se puede lograr un sistema de monitoreo de pendientes rentable y fiable, que permite la detección automática, a gran escala y remota de información relacionada con la estabilidad. En síntesis, la fibra óptica detecta la tensión aplicada localmente a su cuerpo mediante el análisis de cambios en el dominio temporal de espectros de frecuencia de pulso de luz, provocados por el cambio de densidad de la fibra (Zhu et al., 2014).

Este tipo de sistema tiene numerosas ventajas vinculadas con la alta resistencia y durabilidad, medición localizada, robusta frente a interferencias y no destructiva. Además, para el pequeño tamaño y peso ligero de la fibra óptica, se puede instalar fácilmente en la superficie de los objetos monitoreados. Por ahora, la técnica BOTDR se ha aplicado con éxito a muchas estructuras de hormigón, como túneles, puentes, pilotes de hormigón, tuberías, pendientes de roca, sin estar masivamente instalada en la monitorización de taludes debido a su relativo alto coste (Thévenaz, 2010).

5.3.2. SENSORES GEOTÉCNICOS

Los sensores geotécnicos se utilizan ampliamente en el monitoreo de estructuras. Estos sensores a menudo se colocan dentro de la estructura y fuera de la vista. Durante la construcción de la estructura, los sensores geotécnicos del tipo deseado se eligen cuidadosamente y se colocan en ubicaciones estratégicas para garantizar que se proporcione información adecuada para verificar los parámetros de diseño, verificar y controlar el proceso de construcción y para su posterior monitoreo de deformaciones.

Los principales sensores geotécnicos utilizados para el monitoreo de deformación incluyen; extensómetros, inclinómetros, piezómetros, medidores de tensión, celdas de presión, geófonos, medidores de inclinación y medidores de grietas. La mayoría de los sensores geotécnicos pueden almacenar internamente los datos medidos en espera de descarga, o las mediciones pueden registrarse automáticamente en una computadora conectada. La conexión a una computadora ofrece varias ventajas (p. Ej., Datos almacenados en una ubicación remota; capacidad de cambiar la tasa de actualización de los datos de medición, cuando se detectan cambios en los valores medidos; no es necesario visitar el sitio para descargar datos) y desventajas (p. Ej. se requieren medios de transferencia entre el sensor y la computadora, por ejemplo, cable / radio / GSM; es posible la pérdida de datos si los medios de transferencia no funcionan y el almacenamiento interno no está activado) (Savvaïdis, 2003).

5.4. SISTEMA INNOVADOR DE MONITORIZACION: LA SOLUCIÓN “TALUDES”

5.4.1. INTRODUCCIÓN

Una vez repasadas las soluciones actuales más sofisticadas y extendidas en la tarea de monitorización de taludes, se presenta a continuación el sistema “TALUDES”, un sistema innovador en la materia propuesto por la Universitat Politècnica de Valencia, en conjunto con dos empresas privadas, en el marco de una

convocatoria del Centro para el desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) de España, el cual es capaz de generar una revolución en el mercado de taludes.

En este caso, la iniciativa público-privada fue presentada al organismo en solicitud de asistencia financiera para poder llevar a cabo un plan de trabajos de 24 meses, con el fin de desarrollar y validar la tecnología, alcanzando un nivel de TRL6.

La propuesta presentada consto de una Memoria, en la cual se compuso de:

1. Resumen ejecutivo
2. Objetivos
3. Descripción técnica de la propuesta
4. Plan de Trabajos
5. Innovaciones tecnológicas del proyecto
6. Análisis de mercado del proyecto
7. Justificación y descripción del presupuesto
8. Aspectos medioambientales y sociales

Como se puede intuir, el formato de la memoria presentada, coincidente con las exigencias presentadas en las bases y condiciones de la convocatoria de CDTI, presenta esquemáticamente la forma planteada en la NORMA UNE 166.001: Proyectos I+D+I (*ver apartado 3.2.2*).

5.4.2. MARCO INSTITUCIONAL I+D+I DEL PROYECTO

Como se ha introducido, el CDTI es una “Entidad Pública Empresarial, dependiente del Ministerio de Ciencia e Innovación, que promueve la innovación y el desarrollo tecnológico de las empresas españolas. Es la entidad que canaliza las solicitudes de ayuda y apoyo a los proyectos de I+D+i de empresas españolas en los ámbitos estatal e internacional”.

EL objetivo primordial de CDTI es la mejora del nivel tecnológico de las empresas mediante el desarrollo de una serie de actividades, enumeradas a continuación:

- Evaluación técnico-económica y concesión de ayudas públicas a la innovación mediante subvenciones o ayudas parcialmente reembolsables a proyectos de I+D desarrollados por empresas.
- Gestión y promoción de la participación española en programas internacionales de cooperación tecnológica.
- Promoción de la transferencia internacional de tecnología empresarial y de los servicios de apoyo a la innovación tecnológica.
- Apoyo a la creación y consolidación de empresas de base tecnológica.

El CDTI se rige por el derecho privado en sus relaciones con terceros. Esto le permite ofrecer a las empresas agilidad y flexibilidad en sus servicios de apoyo al desarrollo de proyectos empresariales de I+D, a la explotación internacional de tecnologías desarrolladas por la empresa y a la realización de ofertas para suministros tecnológico-industriales a organizaciones científicas y tecnológicas.

5.4.3. ASPECTOS TÉCNICOS DEL PROYECTO

El sistema propuesto “TALUDES” se basa en la utilización de distintas tecnologías de punta e innovadoras para la creación de un sistema de monitorización de taludes: última generación de sensores inalámbricos, tratamiento de datos a nivel Big Data, algoritmos de aprendizaje automático, sensorica de alta sensibilidad, entre otras tecnologías.

De esta forma, se plantea el desarrollo de un novedoso sistema de monitorización de taludes, de fácil implantación y capaz de aportar información de forma continua y a tiempo real, del estado estructural y dinámico del talud, así como un plan de actuación que proporcione de manera automática y sin técnicos especializados cuáles son las medidas de estabilización que precisa el talud, incorporando así la filosofía de mantenimiento predictivo de taludes.

El sistema está formado por tres subsistemas:

- ✓ El **subsistema hardware** tiene como principal función la de registrar la respuesta dinámico-estructural del talud bajo condiciones de servicio y ante sollicitaciones externas. El sistema de adquisición de datos se compone básicamente de acelerómetros triaxiales de alta sensibilidad, inclinómetros, magnetómetros y giróscopos, distribuidos con una densidad homogénea a lo largo de la superficie expuesta del talud. Estos sensores están alojados en nodos inalámbricos de transmisión de datos, que incluyen además un microprocesador, una batería de larga duración y una unidad de almacenamiento. Adicionalmente por cada talud, se instala una estación meteorológica que se compone de un pluviómetro y un anemómetro.
- ✓ El **subsistema de comunicación** posee dos tipos de comunicación: una de corta distancia por radiofrecuencia hasta un punto de acceso (compuesto por microprocesador, amplificador de señal, CPU y Gateway, entre otros elementos), de forma que este recibe y empaqueta los datos, enviándolos vía cobertura 4G/5G hacia la nube, en donde se aloja la totalidad del subsistema software.
- ✓ Por último, el **subsistema software** es el encargado del procesamiento de datos, su análisis en pos de arrojar resultados de diagnóstico y pronóstico del comportamiento del talud. Se compone de una algoritmia de tres módulos: el primero transforma las matrices de aceleraciones en valores de velocidad de desplazamiento y desplazamiento/deformación de la pendiente, en relación a un sistema de referencia previamente configurado. El complejo tratamiento matemático se basa en principios pitch-toll-yow. Además, el segundo módulo, compuesto de algoritmia de aprendizaje automático toma cientos de datos de distintos taludes en diferentes escenarios y de distinto comportamiento, obteniendo conclusiones de los registros históricos, elemento que sirve para anticipar movimientos futuros. Es decir, identifica “patrones de comportamiento” acorde a las características del talud y a su condición de estabilidad. Por último, un tercer módulo, en estrecha vinculación con el algoritmo de aprendizaje automático, analiza los datos climatológicos locales para

relacionarlos con los movimientos en el salud.

Todos estos elementos informáticos están alojados en un Plataforma Digital compuesta de tres capas: capa de datos, capa de lógica y capa de presentación. De esta forma, utilizando los últimos avances en términos de Big Data, esta plataforma gestiona los repositorios de almacenamiento de datos, ejecuta la coordinación de la compleja algoritmia, así como muestra los resultados mediante interfaces de fácil uso.

De esta forma, la solución TALUDES ofrece una valiosa herramienta en términos de diagnóstico de estabilidad de taludes, pronóstico de eventos de fallo y recomendaciones en planes de mantenimiento, dando un enfoque netamente predictivo hacia estas tareas.

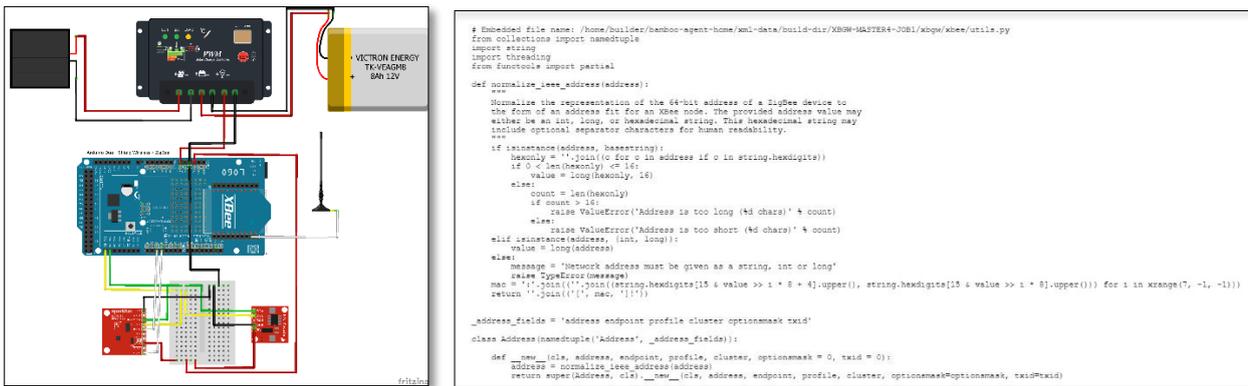


Figura 28: 1) Representación esquemática de parte del subsistema hardware 2) Parte de la algoritmia integrante del subsistema software. Fuente: Elaboración propia en base a la memoria de postulación.

Todos estos elementos informáticos están alojados en un Plataforma Digital compuesta de tres capas: capa de datos, capa de lógica y capa de presentación. De esta forma, utilizando los últimos avances en términos de Big Data, esta plataforma gestiona los repositorios de almacenamiento de datos, ejecuta la coordinación de la compleja algoritmia, así como muestra los resultados mediante interfaces de fácil uso.

De esta forma, la solución TALUDES ofrece una valiosa herramienta en términos de diagnóstico de estabilidad de taludes, pronóstico de eventos de fallo y recomendaciones en planes de mantenimiento, dando un enfoque netamente predictivo hacia estas tareas.

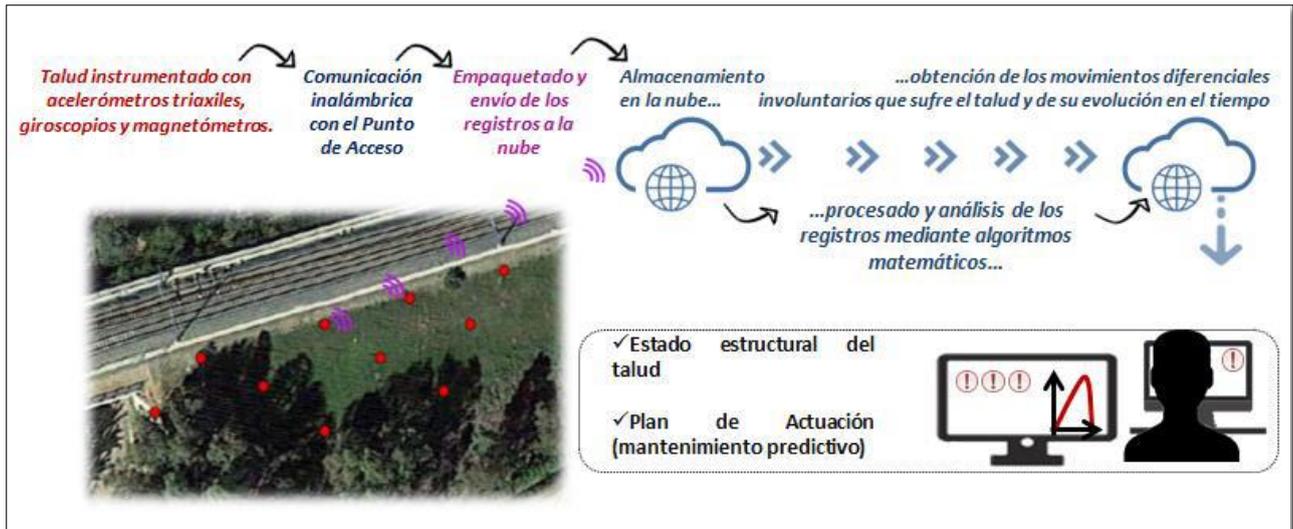


Figura 29: Esquema general de funcionamiento de la solución TALUDES. Fuente: Elaboración propia en base al documento de postulación.

5.4.4. VALIDACION DEL SISTEMA

Durante el año 2019 se realizaron pruebas y testeos de validación del sistema TALUDES en distintas ubicaciones a lo largo de España. Se obtuvieron con éxito resultados de correlación entre los desplazamientos medidos en campo con técnicas topográficas y lo diagnosticado por el sistema, así como también se pudo comprobar la precisión de los algoritmos de predicción. A continuación, se muestran algunas imágenes de las tareas llevadas a cabo.





Figura 30: Imágenes registrados durante el proceso de validación de la tecnología. Fuente: Elaboración propia.

De esta forma, a través de la asistencia financiera de un organismo vinculado al I+D+I, en este caso el CDTI, se llevó a cabo exitosamente la validación y puesta en funcionamiento de la tecnología, alcanzando el nivel de desarrollo TRL6, es decir, de tecnología validada en entorno operacional, estando entonces en los pasos previos a su lanzamiento al mercado.

5.5. BREVE RESEÑA DEL CAPITULO

A lo largo del presente capítulo, se ahondo en los principales sistemas y soluciones existentes en el estado actual de la técnica, que tienen como objetivo implementar un enfoque predictivo en el mantenimiento de taludes a través de la monitorización de diferentes parámetros y variables. Se analizaron los grupos de soluciones pertenecientes a teledetección aérea, teledetección terrestre y sistemas de sensorica localizada.

En una segunda instancia, se presentó un sistema innovador de monitorización de estos activos llamado "TALUDES" el cual fue concebido en el marco de iniciativas público-privada de programas I+D+I, en este caso, llevado a cabo por el Centro de Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI). Este sistema combina diferentes tecnologías de avanzada existente en la actualidad, para lograr diagnosticar y predecir el comportamiento futuro de taludes, proporcionando una valiosa herramienta para aquellos encargados de la gestión de infraestructuras de vías de carreteras y ferroviarias.

Capítulo 6: ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS SISTEMAS DE MONITORIZACION DE TALUDES APLICADOS A CARRETERAS Y VÍAS FERROVIARIAS DE ESPAÑA.

6. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS SISTEMAS DE MONITORIZACION DE TALUDES APLICADOS A CARRETERAS Y VÍAS FERROVIARIAS DE ESPAÑA.

6.1. INTRODUCCIÓN

Una vez presentados los sistemas existentes en el mercado para el monitoreo de taludes con fines de mantenimiento se procede entonces al análisis comparativo de estos sistemas, en contraste con el sistema innovador TALUDES, descrito anteriormente y surgido en el marco de iniciativas I+D+i.

6.2. CONTEXTO DE APLICACIÓN DEL ANALISIS COMPARATIVO

Teniendo en cuenta que la realización de un análisis comparativo de estos sistemas puede ser marcadamente diferentes si lo replicamos en distintos escenarios, en este sentido, se delimitó el universo de análisis al sistema español de carreteras y vías ferroviarias de España, y la presencia de taludes en estos sistemas.

La **red vial de España** asciende a 655.181 kilómetros, de donde se encuentran pavimentados 359.854 kilómetros de vía. Los actores públicos responsables de la gestión del firme viario en España son los siguientes: La Dirección General de Carreteras, dependiente de la administración central, gestiona aproximadamente 26.395 km. de red viaria pavimentada en su totalidad. Por su parte, las Comunidades Autónomas administran aproximadamente 71.291 km. de vías, las diputaciones y cabildos otros 67.797 y, por último, los ayuntamientos se hacen cargo de 489.698 km. de carreteras entre las urbanas e interurbanas (Ministerio de Transporte, 2018)

Por otro lado, la **red ferroviaria de España** posee aproximadamente 16.835 kilómetros, de los cuales la Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF) gestiona aproximadamente 3.240 km. de red de alta velocidad, y otros 12.821 de red convencional, mientras que El restante XXX pertenece a administradores ferroviarios de las comunidades autónomas y privadas (Ministerio de Transportes, 2018).

Por otra parte, un estudio publicado en el "*Bulletin of Engineering Geology and the Environment*", analizó las redes de carreteras y ferroviarias europeas mediante la utilización de dos modelos, uno heurístico y uno de regresión logística, en búsqueda de evaluar el peligro de riesgo de deslizamiento de taludes. Ambos modelos se basan en la aplicación de una combinación adecuada de los parámetros que representan factores de susceptibilidad (pendiente, litología, humedad del suelo, cubierta de vegetación, entre otros) y factores desencadenantes (precipitación extrema, movimientos geológicos y sismicidad). Los pesos de diferentes factores de susceptibilidad y activación se calibran según la información disponible en los inventarios de deslizamientos de tierra y procesos físicos (Jaedicke et al., 2014). Como resultados, se obtuvo que aproximadamente el **2,3% de la red de carreteras y el 1,8% de las vías ferroviarias** se encuentran expuestos a taludes inestables, y **de estos taludes, aproximadamente el 19,4% en carreteras y el 15,4% en ferrocarriles se encuentran en situación de alto riesgo.**

Aplicando estas proporciones a las redes de carreteras y ferroviarias anteriormente escritas, tenemos:

| SISTEMA NACIONAL VIARIO ESPAÑOL | | | | | | |
|-------------------------------------|----------------------|--------------------|-------------------------|------------------------------|--------------------------------------|-----|
| Titularidad de la red de carreteras | Kilómetros de la red | % de pavimentación | Kilómetros pavimentados | Kilómetros taludes expuestos | Kilómetros de taludes de alto riesgo | |
| Administración central | 26.395 | 100% | 26.395 | 607 | 117 | |
| CC.AA. | 71.291 | 88,8% | 63.282 | 1.455 | 282 | |
| Diputaciones y cabildos | 67.797 | 68,7% | 46.635 | 1.072 | 207 | |
| Ayuntamientos | Interurbanas | 361.519 | 30,5% | 2.533 | 490 | 573 |
| | Urbanas | 128.179 | 88,5% | 2.607 | 505 | 590 |
| TOTAL | 655.181 | | 359.854 | 8.274 | 1.601 | |

Tabla 4: Datos del sistema nacional viario, y computo de taludes expuestos y de alto riesgo. Fuente: Elaboración propia en base a datos de Ministerio de Transporte, M. y A. U. (2018). Anuario Estadístico 2018. Capítulo 7: Carreteras.

| SISTEMA NACIONAL FERROVIARIO | | | |
|-------------------------------------|----------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| Titularidad de la red de carreteras | Kilómetros de la red | Kilómetros taludes expuestos | Kilómetros de taludes de alto riesgo |
| ADIF AV | 3.240 | 58 | 9 |
| ADIF Convencional | 12.821 | 231 | 36 |
| CC.AA | 774 | 14 | 2 |
| TOTAL | 16.835 | 303 | 47 |

Tabla 5: Datos del sistema nacional viario, y computo de taludes expuestos y de alto riesgo. Fuente: Elaboración propia en base a datos de Ministerio de Transportes, M. y A. U. (2018). Red ferroviaria de interés general (RFIG).

De esta forma, existen un total de **1647 kilómetros** entre la red de carreteras y la ferroviaria, que pueden ser considerados como se **alto riesgo**. Esto representa un número importante de activos en riesgo que necesitan de su mantenimiento por los próximos años, mientras la vida útil de la red de comunicación que los aloja permanezca en funcionamiento. Más aun, y acorde a lo expuesto en el apartado 2.2.2 sobre el particular envejecimiento de las infraestructuras españolas (*Ver apartado 2.2.2*), las necesidades de mantenimiento irán en aumento y de esta forma, la monitorización y el enfoque predictivo serán fundamental

Ante este desafío, muchos autores coinciden que los sistemas de **teledetección aérea** son los que mejor se perfilan para cubrirlo, debido a su rapidez de aplicación, el largo alcance de sus mediciones y su relación coste-beneficio. Los sistemas de **teledetección terrestre** poseen la gran limitación de una gran necesidad de tiempo de medición, así como la imposibilidad de acceder a todos los lugares deseados de ser medidos por los taludes. Por su parte, la sensórica **de aplicación puntual** no se considera como adecuada debido a la gran instrumentación que requiere, la gran cantidad de datos tomados que necesitan protocolos de envío y tratamiento, así como también la inexistencia de softwares avanzados de interpretación y análisis de datos de forma continua y en tiempo real. Sin embargo, el proyecto "TALUDES" presentado anteriormente, perteneciente a este grupo de soluciones, es capaz de resolver todas las barreras que hasta el momento estos tenían, de forma de tener una toma de datos eficiente, un tratamiento complejo y resultados fácilmente interpretables.

Dicho esto, en las siguientes secciones se realizará un análisis técnico y económico de la aplicación de TALUDES en comparación con los sistemas de teledetección aéreas, obteniendo conclusiones en los dos casos.

6.3. ANALISIS TÉCNICO

Los análisis técnicos de selección realizados para analizar y evaluar distintas opciones de monitoreo de infraestructuras generalmente incluyen la **precisión, la sensibilidad y la resolución tanto espacial como temporal** (Dixon et al., 2015). Todos estos factores (además del coste, analizando en el apartado siguiente) entran en juego en la decisión de monitorización. Como se explicó anteriormente, el caso de análisis contempla la masividad de las infraestructuras españolas que poseen taludes con alto riesgo de fallo.

6.3.1. PRECISIÓN

Este factor es uno de los que más ponderan en la evaluación de tecnologías de monitoreo con diferentes fines. Si bien depende en gran medida de los equipos utilizados (tanto el sensor como la plataforma de toma de datos), pueden establecerse lineamientos de precisión acorde a las soluciones tecnológicas disponibles en el mercado.

La **tecnología LiDAR aérea** tiene un gran alcance y gran precisión para alturas de vuelo de toma típica de datos. En el caso de la utilización de drones, para una altura de vuelo entre 20-100 metros, la precisión puede alcanzar el orden de **los 5 mm** con un error de posición y orientación del dron en el rango 0,02-0,07 IMU (Hsu & Shiu, 2019). En sumatoria, la tecnología LiDAR es independiente de las condiciones de iluminación del sitio analizado, hecho por el cual le da mucha flexibilidad a la programación de la medición, sin influencias climatológicas que lo afecten e incluso programando toma de datos nocturna. En general, cada punto medido genera una coordenada más precisa que el equivalente con métodos fotogramétricos. (Perski et al., 2014)

Por su parte la **fotogrametría aérea** para la misma altura de vuelo estándar, puede alcanzar **precisiones del orden de 1-2 cm**. Sin embargo, el método fotogramétrico y su triangulación de imágenes genera el efecto positivo de la no acumulación de errores, contrariamente a lo que sucede en el LiDAR (Gillan et al., 2019).

Por su parte, debido a que la **técnica InSAR** utiliza la fase de la señal del radar, el valor de deformación en un lugar puede medirse con alta precisión. Esta precisión depende del clima durante el tiempo de medición y la resolución del satélite. Sin embargo, una **resolución estándar tiende a ubicarse entre 1-3 cm** (Skygeo, 2019)

Por su parte, el **proyecto TALUDES**, si bien no utiliza los mismos parámetros de precisión que los demás sistemas, puede percibir parámetros dinámicos del talud vibracionales del orden de milímetros. De esta forma, si en los taludes se generan desplazamientos del **orden de 1 cm.**, estos se reflejarán claramente en los registros de los acelerómetros e inclinómetros y serán identificados en forma de parámetros dinámicos. Ergo, la precisión del sistema es sumamente alta.

6.3.2. RESOLUCIÓN TEMPORAL

Se refiere a la frecuencia necesaria de medición para un monitoreo efectivo, así como también al tiempo necesario para cada una de las mediciones. Tanto la **fotogrametría como el LiDAR** están limitados en términos de resolución temporal (que se basa en la programación de vuelo) de modo que se necesita una frecuencia de toma de datos acorde al riesgo de talud, que también está vinculado con la sucesión de eventos climatológicos extremos. Sin embargo, la toma de datos con sensor LiDAR requiere de más tiempo de vuelo que un fotogramétrico para alcanzar una precisión similar, debido a la naturaleza de tecnología, lo

que hace más lento el proceso de medición. A ambos métodos se los clasifica como con **resolución temporal “baja”**, siendo este uno de los grandes desafíos que tienen que superar para su masiva utilización para fines de monitorización (Smethurst et al., 2017).

Por su parte, el **sensor InSAR** depende pura y exclusivamente de la órbita del satélite que se utilice para la toma de datos, aunque esta última es sumamente rápida por el gran alcance de sus mediciones. Los satélites de radar orbitan la tierra a una altitud entre 500-800 km con una velocidad de aproximadamente 7,5 km/s. Escanean toda la tierra en tiras y, debido a sus órbitas y la rotación de la tierra, repetirán exactamente el mismo ciclo después de una cierta cantidad de días. Por ejemplo, el satélite Centinela-1, que entro en órbita en el año 2014, repite su ciclo cada 12 días, mientras que el TerraSAR-X, que se lanzó al espacio en 2007, completa un ciclo cada 11 días. Se puede ver que los intervalos entre mediciones no son excesivamente altos. De todas maneras, la establecida orbita de los satélites hace que no sea necesaria la tarea de toma de datos en campo, como si lo requieren el LiDAR o los métodos fotogramétricos. Por ello es que se le asigna una **resolución temporal “media”**.

Por último, el **sistema TALUDES** utiliza protocolo de compresión y envío de datos programable, con una máxima frecuencia de 15 segundo y un modo “hibernación” de 30 minutos, con lo cual se lo puede considerar a este sistema como uno de **registro continuo de datos, y a tiempo real**. Al igual que los otros casos, la programación de la frecuencia de envío de datos dependerá de la evaluación de riesgo hecha sobre el talud.

6.3.3. RESOLUCIÓN ESPACIAL

La resolución espacial de un conjunto de datos 3D en términos de puntos/m² depende enormemente del dispositivo utilizado, así como el equipo o “punto fuente” de medición.

En este sentido, la **tecnología LiDAR** posee la capacidad de obtención de una densidad de puntos sumamente altas. Las gamas comerciales medias son capaces de generar entre **300 y 1000 puntos/m² para una altura de vuelo de 30 metros**, compatible con un dron. Esta densidad le permite reconocer elementos longitudinales tan finos como cables y líneas eléctricas. A su vez, el láser tiene cierta capacidad de penetración, con lo que es posible obtener modelos digitales que pueden, por ejemplo, ignorar la vegetación. En este caso, el “número de pulsos” que emite el sensor determina cuántos rebotes es posible detectar en una dirección concreta. (Aerial Insights, 2019).

En los **sistemas fotogramétricos**, la densidad de píxeles de la cámara, la distancia focal de la lente y la distancia entre la cámara y el objetivo controlan la resolución espacial de la tecnología. Aumentar la densidad de píxeles, aumentar la distancia focal o disminuir la distancia de destino aumentará eficazmente la resolución del conjunto de datos 3D sin afectar significativamente el tiempo de recopilación de datos (Perski et al., 2014). En general, para una altura de vuelo de 30 metros, se pueden obtener densidad de píxeles del orden de **3 cm/píxel**, lo que representa aproximadamente **200-500 puntos/m²** generando de esta forma un MDT menos denso que el LiDAR (Aerial Insights, 2019).

La última tecnología InSAR, dada su **altitud de toma de datos, tiene resolución del orden de 1-2 m.**, sin que esto afecte a la precisión de la toma de datos.

Por su parte, el **sistema propuesto TALUDES**, al utilizar un sistema de sensórica in situ, se despoja del

problema de la resolución para la creación de la nube de puntos 3D necesaria para la creación del MDT. En este caso, la densidad estará dada por la cantidad de sensores necesarios para la toma de datos precisa y que pueda diagnosticar y anticipar movimientos de la masa del talud. Si bien esto varía acorde a la naturaleza del talud, se estima que por km. de talud, es necesaria la instalación de 10 acelerómetros, 10 inclinómetros, 5 giróscopos y magnetómetros acorde a las fuentes de excitación cercanas, pero aproximadamente 2 serían suficientes.

6.3.4. SENSIBILIDAD A FACTORES EXTERNOS

Este ítem se refiere a las influencias externas que puedan ocurrir e interferir de manera negativa en la toma de datos o el proceso de tratamiento de estos, haciendo que el sistema sea sensible a estos.

Por parte de la **teledetección aérea LiDAR**, la naturaleza láser de tu tecnología la hace muy robusta frente a influencias o externalidades climatológicas, así como también ante distintos escenarios de iluminación. Más aun, el sistema tiene la capacidad de filtrar los mantos vegetales eventuales que puedan cubrir la superficie de los taludes. Esto hace que sea un sistema muy robusto. Por otra parte, este tipo de sensores son sensibles al “punto fuente”, es decir, a la precisión y las prestaciones que tenga la plataforma de medición.

Por parte de la **fotogrametría aérea**, estos sistemas son sensibles a las condiciones de iluminación del terreno y su reflectancia, con dificultades para diferenciar entre píxeles en entornos oscuros. La actual utilización de cámaras espectrales puede ser una vía útil para resolver esta deficiencia. A su vez, el sistema es muy robusto frente a la plataforma de medición debido a su proceso de otro-rectificación.

En el caso de **InSAR**, **este es altamente robusto** frente a factores externos como inclemencias climatológicas o condiciones de luz, ya que la onda de radio a una frecuencia preestablecida puede sortear estas barreras. Además, penetran generalmente por el dosel de la vegetación, extrayendo información puramente topográfica. Sin embargo, uno de los factores que afectan fuertemente las mediciones de los satélites, es la presencia de vapor de agua en la atmosfera, el cual genera retraso en la órbita y puede tener impacto en la precisión hasta 10 cm. de error (Duan et al., 2020)

Por su parte, el **sistema TALUDES** ha tenido en cuenta esto en la concepción de su hardware y software. Las interferencias ambientales que este sistema puede experimentar vienen dadas fundamentalmente por la acción dinámica del paso de vehículo/trenes en la vía sobre la que se ubica el talud. Para contrarrestar el efecto vibracional, los magnetómetros identifican el paso del vehículo por el área y su velocidad, y la algoritmia de aprendizaje automático registra el “efecto vibracional” sobre cada sensor acelerómetro o inclinómetros, para luego aprender de este y, de esta forma, poder filtrarlo y eliminarlo. Esto hace al sistema sumamente robusto ante externalidades.

A modo de síntesis, se presenta la Tabla 6 una comparativa técnica entre los diferentes sistemas presentados, teniendo en cuenta la variación que estos valores pueden tener dependiendo del equipo empleado, el software de procesamiento, la forma de uso, entre otras cosas.

COMPARATIVA TÉCNICA DE LOS SISTEMAS DE MONITORIZACION DE TALUDES

| Sistema | Precisión | Resolución temporal | Resolución espacial | Sensibilidad a factores externos |
|---------------------|-----------|---------------------|---------------------|----------------------------------|
| LiDAR aéreo | <1 cm. | Baja | Alta | Baja |
| Fotogrametría aérea | 1-2 cm. | Baja | Alta | Alta |
| InSAR | 1-3 cm. | Media | Baja | Media |
| TALUDES | <1 cm. | Muy alta | Alta | Baja |

Tabla 6: Comparativa de aspectos técnicos de los sistemas analizados para monitorización de taludes. Fuente: Elaboración propia.

6.4. ANALISIS ECONÓMICO-FINANCIERO

6.4.1. INTRODUCCIÓN.

Una vez realizada la comparativa de sistemas de monitorización en términos técnicos, a continuación se procede a su análisis económico-financiero de las alternativas de monitorización presentadas, aplicadas sobre las carreteras y vías ferroviarias de España.

6.4.2. CRITERIO DE ANÁLISIS UTILIZADO

Para poder comparar las alternativas en términos económico-financieros, se utiliza el **Método del Valor Actual Neto**. Este método, conocido por las siglas de sus iniciales VAN, consiste en equiparar cantidades de dinero en distintos momentos temporales, al considerar el interés que puede obtenerse del dinero o la tasa de descuento o alternativa a la que se puede invertir en otro proyecto.

Dicho en otras palabras, el VAN es la diferencia entre el desembolso de capital inicial generado en el momento actual, unidades monetarias reales, y el valor actualizado, al mismo momento, de los cobros y pagos futuros, es decir, del flujo de caja.

Según (Boquera Pérez, 2015), “el procedimiento para calcular el VAN se puede dividir en tres pasos:

1. **Determinar el flujo de caja.** También denominado flujo neto o “cash-flow” es la diferencia entre las entradas y salidas de capitales en un determinado período, es decir, la caja que se generaría si todas las operaciones fueran al contado. Hay que tener en cuenta que la amortización es un gasto que no significa desembolso (no es pago), por lo que no se considera en el flujo de caja.
2. **Seleccionar la tasa de descuento o de interés alternativo.** La elección de la tasa viene relacionada con las oportunidades de inversión alternativas. Es decir, dependerá de los intereses que se puedan obtener invirtiendo el capital en otros proyectos.
3. **Dividir todos los elementos positivos y negativos del flujo de caja por (1 + tasa elegida)** tantas veces como períodos de tiempo separan a ese elemento del flujo del momento actual. La tasa se expresa siempre en tanto por uno. Finalmente, sumar o restar las cantidades resultantes con sus signos respectivos.”

La fórmula del VAN queda representada de la siguiente manera:

$$VAN = -A + \frac{Q_1}{(1+k)} + \frac{Q_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{Q_n}{(1+k)^n} \quad (1)$$

Dónde:

Q_n : Flujo de caja del periodo n.

A: Desembolso inicial en el proyecto.

K: Tasa de descuento o actualización de los flujos netos de caja.

Respecto a los posibles resultados, se debe tener en cuenta que una inversión será rentable si el VAN es positivo, por el contrario, si el VAN es negativo la inversión no es rentable. Por otro lado, en el caso de que haya más de una alternativa con VAN positivo se debe seleccionar aquella que tenga un valor capital mayor, ya que será la que mayor riqueza añada.

6.4.3. APLICACIÓN DEL MÉTODO

Cada una de las alternativas de monitorización será evaluada con el método explicado. A continuación, se explica cada una de las variables intervinientes en el análisis, así como su explicación.

6.4.3.1. HORIZONTE DE ANÁLISIS

Se estableció en **20 años**, teniendo en cuenta la extensa vida útil de las infraestructuras, pero el limitante de estimación de variables introducidas, como la tasa de descuento, que no se considera representativa estimaciones más allá de este periodo (Gagnon, 2008).

6.4.3.2. TASA DE DESCUENTO

Se calcula la tasa de descuento como la suma de la **tasa de inflación y la tasa de interés actual**. La tasa se estableció en al promedio histórico de los últimos 10 años de Inflación IPC España:

| Tasa de inflación en España 2010-2019 | |
|---------------------------------------|--------------|
| IPC España 2019 | 0,70% |
| IPC España 2018 | 1,67% |
| IPC España 2017 | 1,96% |
| IPC España 2016 | -0,20% |
| IPC España 2015 | -0,50% |
| IPC España 2014 | -0,15% |
| IPC España 2013 | 1,42% |
| IPC España 2012 | 2,44% |
| IPC España 2011 | 3,20% |
| IPC España 2010 | 1,80% |
| Promedio 10 años | 1,23% |

Tabla 7: IPC España 2010-2019. Fuente: XXX

Por su parte, la tasa de descuento considerada fue la registrada en febrero 2020 por el Banco de España denominada como “Tipos de interés (excluidos los que aparecen publicados en los capítulos de Mercados Financieros)” (Banco España, 2020)

| Tasa de interés considerada | |
|-----------------------------|--------------|
| Mayo 2019 | 3,90% |
| Junio 2019 | 4,16% |
| Julio 2019 | 4,27% |
| Agosto 2019 | 4,10% |
| Septiembre 2019 | 4,43% |
| Octubre 2019 | 4,66% |
| Noviembre 2019 | 4,23% |
| Diciembre 2019 | 3,47% |
| Enero 2020 | 4,47% |
| Febrero 2020 | 4,09% |

Tabla 8: Tasa de interés considerada, febrero 2020. Fuente Banco de España (2020). Tipos de interés

Ergo, la tasa de descuento considerada en el análisis es:

$$TD = 4,09\% + 1,23\% = 5,32\%$$

6.4.3.3. INGRESOS

En este caso, al tratarse de sistemas de monitorización de infraestructuras, es decir, vinculadas a la tarea del mantenimiento de estas, no se tiene un ingreso de forma directa por su aplicación. De todas formas, podemos expresar el ingreso por el uso de estos sistemas como el **beneficio derivado de la aplicación del mantenimiento preventivo** y el ahorro que esto genera en relación al mantenimiento correctivo. Por lo tanto, podemos considerar los beneficios devenidos por la aplicación de mantenimiento preventivo, en el caso de los taludes, como:

$$I = CC \times PD \times A \quad (2)$$

Dónde:

I: Ingreso o beneficio por el uso del sistema de monitorización (mantenimiento predictivo) [€/km-talud]

CC: Costo unitario por intervención correctiva (luego del evento de desmoronamiento o fallo) [€/km-talud]

PD: Probabilidad de desmoronamiento o fallo [%]

A: Ahorro por intervención temprana (mantenimiento predictivo) [%]

En relación al **costo unitario por intervención correctiva**, podemos tomar datos de licitaciones públicas de los costes de reparación ante desprendimiento o fallos de taludes. De esta forma, se tomaron 10 licitaciones públicas puramente de reparación, reacondicionamiento de taludes y cunetas, obtenidas de la Plataforma de Contratación del Sector Público:

| DESCRIPCIÓN | EXTENSIÓN (km) | PRESUPUESTO (€) | PRECIO UNITARIO (€/km) |
|---|-------------------|--------------------|---------------------------|
| Reparación de taludes y cunetas en la carretera N-113, tramo: p.k. 51+700 al p.k. 62+000 | 0,338 | € 203.481,17 | € 602.015,30 |
| Proyecto de rehabilitación del talud de la carretera N-232a en el p.k. 27+000. Provincia La Rioja | 0,380 | € 2.414.757,54 | € 6.354.625,11 |
| REPARACIÓN DE TALUDES EN POLÍGONO INDUSTRIAL BASE 2000 DE LORQUI | 1,110 | € 122.090,00 | € 109.990,99 |
| Reparación de taludes, plataforma y drenajes en la carretera MA-8302 de MA8301 a Genalguacil | 17,100 | € 1.300.000,00 | € 76.023,39 |
| Reparación de taludes en la carretera MA-8300 de A-7 a Casares | 7,750 | € 199.983,96 | € 25.804,38 |
| Reparación de taludes, plataforma y drenaje en la carretera MA-5403 de Ardales a El Chorro | 3,200 | € 500.000,00 | € 156.250,00 |
| Reparación de desprendimientos de tierras al camino Caserio Monuki | 0,040 | € 20.080,85 | € 502.021,25 |
| Reparación de taludes en la carretera MA-8305 de alगतocin a Jubrique | 9,900 | € 199.743,00 | € 20.176,06 |
| Reparación de taludes, plataforma y drenaje en la carretera MA-3400 de acceso a Gibrálgala | 0,950 | € 200.000,00 | € 210.526,32 |
| Reparación de taludes, plataforma y drenaje en la carretera MA-8301 de Estepona A Jubrique | 25,600 | € 400.000,00 | € 15.625,00 |
| | | | € 807.305,78 |

Tabla 9: Licitaciones públicas para la reparación de taludes. Fuente: Gobierno de España (2020) Plataforma de contrataciones del SP.

Como se puede ver, podemos estimar el costo unitario por intervención correctiva (CC) en **€807.305,78/km-talud**.

En relación a la probabilidad de **desmoronamiento o fallo**, existe una extensa variedad de criterios existentes en la literatura científica, que consideran los principales factores incluyentes en el fallo o en los desprendimientos de talud, así como intentar cuantificar la probabilidad de este suceso. En este sentido, se toma lo expuesto por Cho (2010) en donde, mediante la utilización de una simulación de Montecarlo, se simularon aproximadamente 50.000 escenarios de fallas mediante la variación iterativa de los parámetros influyentes. Se estima que para un talud considerado inestable, es decir, con un Factor de Seguridad (FS) cercano a 1, la **probabilidad de fallo se aproxima al 12%**. Se considera entonces esta cifra, entendiendo que para el caso en análisis es una cuantía conservadora: Del total de **672.016 km. de red entre carreteras y ferrovías**, aplicando esta probabilidad de fallo, significa que anualmente solamente **196 km. tienen problemas por inestabilidad de taludes**.

La última variable está relacionada con el ahorro vinculado a la intervención temprana del talud. Esto es, se aplican medidas correctoras a tiempo, antes que el talud falle o genere desprendimiento, generando un ahorro en los recursos asignados a ese activo. En este caso, se considera lo expuesto por Salbego et al., (2015) en su publicación "Detailed and large-scale cost/benefit analyses of landslide prevention vs. Post-event actions" en donde estima un **30% de ahorros económicos si se aplica intervenciones activas en relación con acciones post-evento de falla**.

Resueltas todas las variables, el beneficio anual derivado de la **aplicación del mantenimiento predictivo en taludes de riesgo** aplicando la Ecuación (2) se estima en **€29.063,01/km-talud**, utilizando cualquiera de los

sistemas de monitorización expuestos de forma efectiva.

6.4.3.4. COSTOS

La estructura de costes de la aplicación de mantenimiento predictivo, en cada uno de los casos, estará estrechamente vinculadas a la naturaleza del sistema en sí mismo, sus elementos e instrumentos necesarios, así como la dotación de recursos humanos para llevarlo a cabo eficazmente. Ergo, se realiza un análisis individualizado para cada uno.

De todas formas, se establecerán suposiciones a los fines de la comparativa, que serán comunes a todos ellos, que se enumeran a continuación:

- ✓ Para los sistemas **LiDAR, InSAR y Fotogramétrico**, la frecuencia de medición y control de los taludes en riesgo se ejecutan cada 15 días, es decir, 24 veces al año. En este intervalo, se pueden detectar cambios en la masa del talud que impliquen riesgos de desmoronamiento y actuar a tiempo.
- ✓ Se discretiza la **longitud de los taludes a 200 m.**, a los fines del análisis de las estructuras de costos, teniendo en cuenta que es poco probables que los taludes sobrepasen esta longitud (FAO, 1990). Es decir, la presencia de 1.648 kilómetros de taludes críticos (entre red de carreteras y vías ferroviarias) es equivalente a 8.240 taludes “estándar” críticos.
- ✓ Las plataformas aéreas de toma de datos utilizadas para el caso de LiDAR y Fotogrametría será un vehículo aéreo no tripulado (dron) teniendo en cuenta el progresivo uso que están teniendo estos dispositivos para las tareas de toma de datos.

SISTEMA LIDAR

En este caso, la estructura de costes estará claramente dividida en dos partes: una vinculada a la adquisición del **equipamiento necesario** y otra relacionada con las **operaciones de medición** en sí.

En relación al primero, se presenta la Tabla 10, en donde se destaca el rendimiento anual de cada equipo para la frecuencia de monitoreo establecida. Es decir, en este caso, un equipo podría monitorizar 23 taludes diferentes con frecuencia una vez cada 15 días.

| Equipamiento para monitoreo | | | |
|-----------------------------------|------|------------|-------------|
| Concepto | Uds. | Precio (€) | Total (€) |
| Equipamiento | | | |
| Dron capable of lifting 5kg + rtk | 2 | 12.300 | € 24.600,00 |
| LiDAR | 1 | 50.000 | € 50.000,00 |
| Baterías | 8 | 120 | € 960,00 |
| Ordenador | 1 | 1.500 | € 1.500,00 |
| Gateway | 1 | 415 | € 415,00 |
| Tarjeta de datos | 1 | 15 | € 15,00 |
| Sensor Inercial | 2 | 30 | € 60,00 |
| Ensamblaje | | | |
| Ensamblaje Dron (h) | 10 | 20 | € 200,00 |
| Consumibles (est.) | 2 | 250 | € 500,00 |
| Testeos (h) | 16 | 20 | € 320,00 |

| Entrenamiento de piloto | | | | |
|---|---|-------|----------|------------------|
| 320h Curso de Piloto | 1 | 1.200 | € | 1.200,00 |
| Costo total equipamiento | | | € | 79.770,00 |
| Rendimiento anual de equipamiento (taludes) | | | | 23 |

Tabla 10: Costos de un equipamiento para sistema de monitorización LiDAR. Fuente: Elaboración propia en base a datos disponibles de mercado.

En relación a la operación de medición, los costes anuales asociados a un talud crítico se expresan en la Tabla 11.

| Recursos necesarios para el monitoreo anual de un talud con LiDAR-Dron | | | | |
|--|--------|-------------|-----------|-----------------|
| Concepto | Uds. | Precio (€) | Total (€) | |
| Piloto de dron (h) | 78 | € 25,00 | € | 1.950,00 |
| Traslado hasta talud | 48 | € 45,00 | € | 2.160,00 |
| Software de procesamiento de datos | 0,0001 | € 20.000,00 | € | 9,40 |
| Ingeniero informático (h) | 12 | € 20,00 | € | 240,00 |
| Costes indirectos (10%) | 1 | € 43,59 | € | 43,59 |
| Costo total monitoreo anual de un talud con LiDAR-Dron | | | € | 4.402,99 |

Tabla 11: Costos por la monitorización anual de un talud mediante el uso de LiDAR. Fuente: Elaboración propia en base a datos disponibles de mercado.

Esta estructura de costes es la que será tenida en cuenta en el Flujo de Fondos elaborado para el cálculo del Valor Actual Neto.

SISTEMA INSAR

En este caso, la estructura de costes del sistema de monitorización no está sujeta a la adquisición ni operación de ningún equipamiento, sino a la **adquisición de las imágenes satélites y su posterior procesamiento**. Su cálculo se basó en lo expuesto por un estudio del Michigan Institute of Technology (Wolf et al., 2016) denominado “Cost benefit analysis of a proactive geotechnical asset management system using remote sensing”, así como los precios de mercado de imágenes satelitales (LAND INFO Worldwide Mapping, 2019)

| Recursos necesarios para el monitoreo anual de un talud con InSAR | | | | |
|---|----------|-----------------|--------------|--|
| | Anual | Anual por sitio | | |
| Ordenadores | € 2.300 | € | 1,08 | |
| Licencia de Software | € 59.800 | € | 28,11 | |
| Almacenamiento de datos | € 3.680 | € | 1,73 | |
| Análisis profesional | | € | 1.920 | |
| InSAR imágenes | | € | 3.072 | |
| Costo total de monitoreo anual de un talud con InSAR | | € | 5.023 | |

Tabla 12: Costos por la monitorización anual de un talud mediante el uso de LiDAR. Fuente: Elaboración propia en base a datos disponibles de mercado

Esta estructura de costes es la que será tenida en cuenta en el Flujo de Fondos elaborado para el cálculo del Valor Actual Neto.

SISTEMA FOTOGRAMÉTRICO

En el caso del sistema fotogramétrico, la estructura de costes será similar a la del sistema LiDAR, ya que la

plataforma de medición es la misma (dron). De esta forma, la estructura de costes estará claramente dividida en dos partes: una vinculada a la adquisición del **equipamiento necesario** y otra relacionada con las **operaciones de medición** en sí.

| Equipamiento para monitoreo | | | |
|---|------|------------|-------------------|
| Concepto | Uds. | Precio (€) | Total (€) |
| Equipamiento | | | |
| Dron con cámara incorporada | 2 | 2.000 | € 4.000,00 |
| Baterías | 8 | 120 | € 960,00 |
| Ordenador | 1 | 1.500 | € 1.500,00 |
| Gateway | 1 | 415 | € 415,00 |
| Tarjeta de datos | 1 | 15 | € 15,00 |
| Sensor Inercial | 2 | 30 | € 60,00 |
| Ensamblaje | | | |
| Ensamblaje Dron (h) | 10 | 20 | € 200,00 |
| Consumibles (est) | 2 | 250 | € 500,00 |
| Testeos (h) | 16 | 20 | € 320,00 |
| Entrenamiento de piloto | | | |
| 320h Curso de Piloto | 1 | 1.200 | € 1.200,00 |
| Costo total equipamiento | | | € 9.170,00 |
| Rendimiento anual de equipamiento (taludes) | | | 18 |

Tabla 13: Costos de un equipamiento para sistema de monitorización basado en Fotogrametría. Fuente: Elaboración propia en base a datos disponibles de mercado.

En comparación con el sistema LiDAR, se destaca la diferencia de velocidad y altura de medición necesarias, hecho por el cual el rendimiento anual de cada equipo difiere. También son levemente diferentes los recursos necesarios para las operaciones de medición.

| Monitoreo de un talud con fotogrametría de dron | | | |
|---|---------|-------------|-------------------|
| Concepto | Uds. | Precio (€) | Total (€) |
| Piloto de dron (h) | 96 | € 25,00 | € 2.400,00 |
| Traslado hasta talud | 48 | € 45,00 | € 2.160,00 |
| Software de procesamiento de datos | 0,00001 | € 20.000,00 | € 9,40 |
| Ingeniero informático (h) | 12 | € 20,00 | € 240,00 |
| Costes indirectos (10%) | 1 | € 48,09 | € 48,09 |
| Monitoreo de un talud con Fotogrametría-dron | | | € 4.857,49 |

Tabla 14: Costos por la monitorización anual de un talud mediante el uso de Fotogrametría. Fuente: Elaboración propia en base a datos disponibles de mercado.

SISTEMA TALUDES

La información respecto a los costes de este sistema fue extraída de la Memoria de Postulación. En este sentido, la **estructura de costes** se planteó en cuatro fases, acorde a la naturaleza de la solución: Fase 0: Proyecto para la Instalación; Fase 1: Parametrización de las variables; Fase 2: Fabricación y ensamblaje de la instrumentación; Fase 3: Instrumentación del talud.



| Instrumentación de talud | | | | |
|--|------|------------|-----------|-----------------|
| FASE 0 - Proyecto para la instalación | | | | |
| Concepto | Uds. | Precio (€) | Total (€) | |
| Ingeniero civil (jornadas) | 1 | € 180,00 | € | 180,00 |
| Dietas y desplazamiento | 1 | € 250,00 | € | 250,00 |
| Coste total FASE 0. Proyecto para la instalación | | | € | 430,00 |
| FASE 1 - Parametrización de las variables | | | | |
| Concepto | Uds. | Precio (€) | Total (€) | |
| Ingeniero informático (h) | 3 | 20 € | € | 60,00 |
| Coste total FASE 1. Parametrización de las variables | | | € | 60,00 |
| FASE 2 - Fabricación | | | | |
| Concepto | Uds. | precio (€) | total (€) | |
| Hardware | | | € | 2.640,00 |
| Acelerómetro altimu-10 v5 | 10 | € 110,00 | € | 1.100,00 |
| Inclinómetros | 10 | € 10,00 | € | 100,00 |
| Placa de sujeción | 10 | € 7,00 | € | 70,00 |
| Unidad de almacenamiento | 10 | € 30,00 | € | 300,00 |
| Microprocesador SBC | 10 | € 45,00 | € | 450,00 |
| Caja | 10 | € 50,00 | € | 500,00 |
| Estación meteorológica | 1 | € 120,00 | € | 120,00 |
| Comunicación | | | € | 494,00 |
| Gateway 4g | 1 | € 415,00 | € | 415,00 |
| Tarjeta sim | 1 | € 5,00 | € | 5,00 |
| Antena 4g | 1 | € 74,00 | € | 74,00 |
| Montaje | | | € | 176,68 |
| Ingeniero electrónico (jornadas) | 1 | € 114,00 | € | 114,00 |
| Fungibles (cable, elementos de soldadura) | 1 | € 62,68 | € | 62,68 |
| Coste total FASE 2. Fabricación | | | € | 3.310,68 |
| Fase 3.A - Instrumentación del talud de corte | | | | |
| Concepto | Uds. | Precio (€) | Total (€) | |
| Instalador (jornadas) | 3 | € 120,00 | € | 360,00 |
| Fungibles | 1 | € 7,20 | € | 7,20 |
| Ingeniero informático (h) | 3 | € 20,00 | € | 60,00 |
| Coste total FASE 3. Instrumentación del talud de corte | | | € | 427,20 |
| Coste total Instrumentación (FASE 0 – FASE 3) | | | € | 4.227,88 |

Tabla 15: Costos de instrumentación de un talud. Fuente: Elaboración propia en base a la memoria de la postulación de TALUDES (CDTI).

| FASE 4 - Servicio de monitoreo | | | | |
|---|------|------------|-----------|-----------------|
| Concepto | Uds. | Precio (€) | Total (€) | |
| Tarifa de datos 4G | 1 | € 240,00 | € | 240,00 |
| Mantenimiento (20% coste inicial) | 1 | € 845,58 | € | 845,58 |
| Coste total FASE 4. Servicio de monitoreo. | | | € | 1.085,58 |

Tabla 16: Costos de servicio de monitoreo Fuente: Elaboración propia en base a la memoria de la postulación de TALUDES (CDTI).

Por otra parte, se toma como un **coste inicial** a la inversión realizada en I+D+I por CDTI, algo fundamental para el desarrollo del sistema. De esta forma, este coste en el “Año 0” puede ser equivalente a una inversión inicial.

| Financiación del proyecto TALUDES | |
|--|---------------------|
| Personal | € 286.862,00 |
| Materiales | € 78.988,00 |
| Centros de investigación | € 67.500,00 |
| Otras colaboraciones | € 43.000,00 |
| Auditoría | € 4.000,00 |
| Gastos Generales | € 57.372,00 |
| Costo Total | € 537.722,00 |
| Financiación CDTI | € 198.957,14 |
| Financiación Privada | € 338.764,86 |

Tabla 17: Inversión realizada en el proyecto I+D+I. Fuente: Elaboración propia en base a la memoria de la postulación de TALUDES (CDTI).

6.4.3.5. FLUJO DE FONDOS Y VALOR ACTUAL NETO (VAN)

Una vez que se obtuvieron los **ingresos, los costes y la tasa de descuento para cada uno de los sistemas**, se plantea el **flujo de fondos correspondiente a la operación de cada uno** en el mercado español de taludes de carreteras y vías ferroviarias en el horizonte planteado.

Se propone una **captación gradual del mercado** de taludes críticos, de forma de simular una aplicación real, teniendo en cuenta que sería irrealista monitorizar los 1.648 km. de taludes críticos de un momento a otro. De esta forma, se estima la captación del 1% del mercado en el año 1 (83 taludes, equivalentes a 16,6 km.) hasta llegar al 46,4% de monitorización de taludes críticos en el año 20 (3.825 taludes, equivalentes a 765 km.).

En los **Anejos 9.1, 9.2, 9.3 y 9.4** se puede encontrar los flujos de fondos planteados para cada sistema. En estos, se plantean los siguientes puntos:

- 1) Captación del mercado
- 2) Previsión de ingresos o beneficios por aplicación del sistema
- 3) Gastos de explotación del sistema
- 4) Flujo de Caja
- 5) Flujos de Fondos

En el caso de los sistemas **LiDAR y Fotogrametría**, se estima la vida útil media del equipo en 5 años (uso intensivo) y se calcula la adquisición de sus respectivos equipamientos en base al tamaño del mercado a satisfacer. En relación al sistema **TALUDES**, la vida útil de la instrumentación se estima en 10 años, calculándose también la instrumentación en base al tamaño del mercado.

Como consecuencia del análisis de flujo de fondos, y de su valor acumulado y actualizado a momento presente, obtenemos el Valor Actual Neto de la implementación de cada uno:

| Valor Actual Neto estimado | | |
|----------------------------|---|------------|
| SISTEMA TALUDES | € | 54.888.261 |
| SISTEMA InSAR | € | 19.596.975 |
| SISTEMA LiDAR | € | 16.432.282 |
| SISTEMA FOTOGRAMÉTRICO | € | 21.569.875 |

Tabla 18: Valor Actual Neto de cada sistema según el análisis realizado. Fuente: Elaboración propia

Es decir, la solución taludes generaría potencialmente más del doble de beneficios que el resto de las soluciones. Sin embargo, si analizamos los flujos actualizados y acumulados a lo largo del tiempo, tenemos la Figura 31:

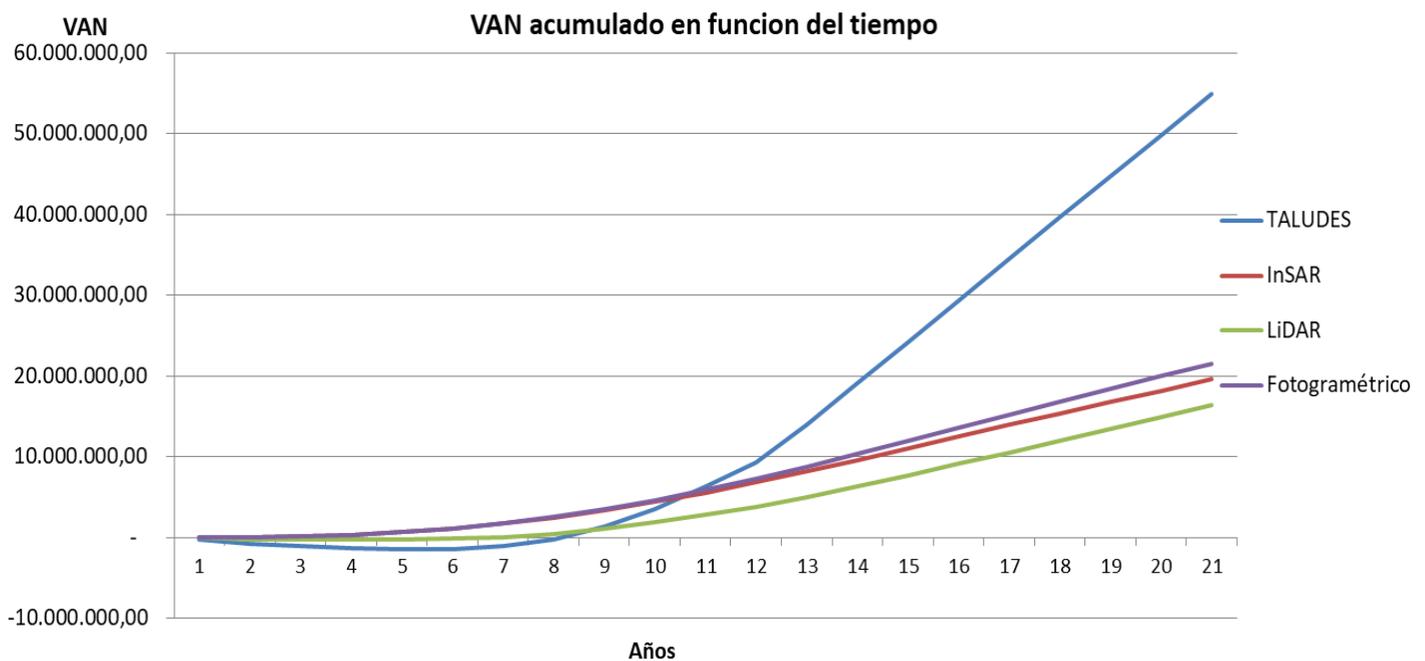


Figura 31: VAN acumulado de cada sistema. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar, el sistema TALUDES comienza a ser rentable a partir del año 8, y más rentable que las otras soluciones a partir del año 11. Esto se debe fundamentalmente a la necesidad de instrumentación de los taludes, es decir, de una inversión inicial, además del gasto en el “momento cero” vinculado al desarrollo de la solución en el marco del I+D+i. Sin embargo, pasando este periodo, el sistema es claramente beneficioso para su aplicación en el mercado de taludes.

6.4.3.6. ANALISIS DE SENSIBILIDAD DE VARIABLES

El **análisis de sensibilidad** es un término financiero utilizado en el mundo empresarial para escoger la mejor decisión respecto a la inversión. Consiste en la variación de alguno de los parámetros ingresados al cálculo financiero realizado a los fines de observar como varía el resultado. De esta forma, el resultado variará de gran forma si es muy “sensible” a alguna variable, caso contrario si es “poco sensible” a esta.

Para obtener el porcentaje del cambio y cuantificar el resultado del análisis de sensibilidad, se compara el VAN “base” o estimado previamente con el VAN obtenido después de realizar las variaciones en el/los

parámetros de interés, mediante la siguiente fórmula (Gava et al., 2009):

$$\text{Índice de Sensibilidad} = \frac{VAN_F - VAN_0}{VAN_0} \times 100 \quad (3)$$

Si el Índice de Sensibilidad se acerca al valor de 1, quiere decir que los resultados no varían significativamente ante una variación en el parámetro que se quiere evaluar. Por el contrario, si el resultado se aleja de 1, el resultado es más “sensible” a la variación impuesta.

En el caso abordado de monitorización de taludes, se asignaron distintos “inputs” inferidos de datos estadísticos y diversas bibliográficas, a los cuales se quiere analizar en términos de sensibilidad del resultado. Estos parámetros son:

- ✓ Probabilidad de desmoronamiento
- ✓ Ahorro por intervención temprana
- ✓ Tasa de interés nominal
- ✓ Tasa de inflación
- ✓ Costes de los sistemas

Para ello, se impondrá a cada uno una variación del +10% en sus valores iniciales, evaluando el cambio de resultado respecto al obtenido previamente, usando la Ecuación 3.

En primera instancia, se varía en +10% a l parámetro de “probabilidad de desmoronamiento”, llevándolo de un valor previo del 12% al 13,2%. De esta forma, la variación de los resultados en cada uno de los sistemas se muestra a continuación:

| Sistemas de monitorización | VAN previo | VAN modificado (+10% Prob. desmoronamiento) | Índice de Sensibilidad |
|--|--------------|---|------------------------|
| TALUDES | € 54.888.261 | € 69.312.954 | 1,26 |
| InSAR | € 19.596.975 | € 34.021.668 | 1,74 |
| LiDAR | € 16.432.282 | € 30.856.976 | 1,88 |
| Fotogrametría | € 21.569.875 | € 35.994.569 | 1,67 |
| Índice de Sensibilidad Promedio | | | 1,64 |

Tabla 19: Cálculo de Índice de Sensibilidad en relación a la probabilidad de desmoronamiento. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede ver, el **Índice de Sensibilidad promedio es de 1,64**. Aplicando el mismo procedimiento para el “ahorro por intervención temprana”, en este caso se lleva el valor de 30% al 33%, y se evalúan los resultados.

| Sistemas de monitorización | VAN previo | VAN modificado (+10% ahorro inter. temprana) | Índice de Sensibilidad |
|--|--------------|--|------------------------|
| TALUDES | € 54.888.261 | € 69.312.954 | 1,26 |
| InSAR | € 19.596.975 | € 34.021.668 | 1,74 |
| LiDAR | € 16.432.282 | € 30.856.976 | 1,88 |
| Fotogrametría | € 21.569.875 | € 35.994.569 | 1,67 |
| Índice de Sensibilidad Promedio | | | 1,64 |

Tabla 20: Cálculo de Índice de Sensibilidad en relación al Ahorro por intervención temprana. Fuente: Elaboración propia.

El Índice de Sensibilidad promedio arroja un resultado de 1,64. Es decir, afecta de la misma manera que lo hace la probabilidad de desmoronamiento. Aplicando ahora el mismo procedimiento para el “tasa de interés nominal”, en este caso se lleva el valor de 4,09% al 4,50%, y se evalúan los resultados.

| Sistemas de monitorización | VAN previo | VAN modificado (+10% tasa de interés) | Índice de Sensibilidad |
|--|--------------|---------------------------------------|------------------------|
| TALUDES | € 54.888.261 | € 51.748.588 | 0,94 |
| InSAR | € 19.596.975 | € 18.614.043 | 0,95 |
| LiDAR | € 16.432.282 | € 15.521.847 | 0,94 |
| Fotogrametría | € 21.569.875 | € 20.478.074 | 0,95 |
| Índice de Sensibilidad promedio | | | 0,95 |

Tabla 21: Cálculo de Índice de Sensibilidad en relación Tasa de Interés nominal. Fuente: Elaboración propia.

En este caso, el **Índice de Sensibilidad promedio** toma el valor de 0,95, lo que significa una relativa baja sensibilidad respecto a los resultados anteriores. De igual forma, se aplica el mismo procedimiento para “tasa de inflación”, en este caso se lleva el valor de 1,23% al 1,36%, y se evalúan los resultados:

| Sistema de monitorización | VAN previo | VAN modificado (+10% tasa de inflación) | Índice de Sensibilidad |
|--|--------------|---|------------------------|
| TALUDES | € 54.888.261 | € 54.927.450 | 1,00 |
| InSAR | € 19.596.975 | € 19.609.223 | 1,00 |
| LiDAR | € 16.432.282 | € 16.712.184 | 1,02 |
| Fotogrametría | € 21.569.875 | € 21.614.352 | 1,00 |
| Índice de Sensibilidad promedio | | | 1,01 |

Tabla 22: Cálculo de Índice de Sensibilidad en relación Tasa de Inflación estimada. Fuente: Elaboración propia.

En este caso, el **Índice de Sensibilidad promedio** toma el valor de 1,01, lo que significa una sensibilidad casi nula respecto a los resultados anteriores. Por último, se analiza la variación en los “costes de aplicación” de cada uno de los sistemas, aplicando un 10% más a la estructura de costes analizada anteriormente.

| Sistema de monitorización | VAN previo | VAN modificado (+10% en costes) | Índice de Sensibilidad |
|--|--------------|---------------------------------|------------------------|
| TALUDES | € 54.888.261 | € 46.748.875 | 0,85 |
| InSAR | € 19.596.975 | € 7.131.980 | 0,36 |
| LiDAR | € 16.432.282 | € 3.650.818 | 0,22 |
| Fotogrametría | € 21.569.875 | € 9.302.170 | 0,43 |
| Índice de Sensibilidad promedio | | | 0,47 |

Tabla 23: Cálculo de Índice de Sensibilidad en relación a los costes de aplicación. Fuente: Elaboración propia.

En este caso, el **Índice de Sensibilidad promedio** muestra un resultado de 0,47, lo que da pauta de la gran sensibilidad de los resultados ante una modificación en la estructura de costes estimada.

De cualquier manera, en cualquiera de los casos analizados de variación de un parámetro, el sistema taludes arroja un VAN mayor a las otras soluciones. Es decir, si bien se reconoce que los resultados cambian acorde a los cambios en las variables de entrada estimadas, en todos los casos TALUDES sigue siendo más beneficioso.

Esto se puede observar en la Figura 32, en la cual se establecen 5 ejes acordes a los parámetros analizados, y los valores de VAN ante su variación. Se puede ver que TALUDES “encierra” a los demás valores de los otros sistemas, es decir, su VAN es mayor en todos los casos, independientemente del parámetro variado.

Valores de VAN ante una variación +10% en los parámetros seleccionados

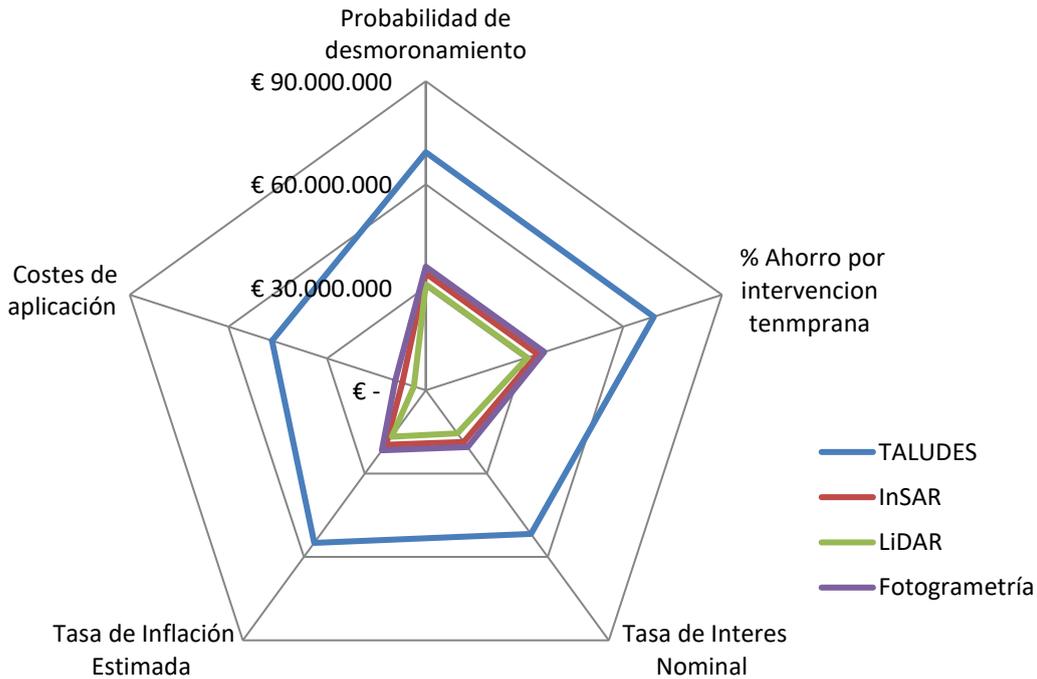


Figura 32: Representación gráfica de los valores de VAN ante una variación del 10% en cada variable seleccionada. Fuente: Elaboración propia.

De esta forma, acorde a los resultados obtenidos, se puede visualizar que la probabilidad de desmoronamiento, el ahorro por intervención temprana y las estructuras de costes son las variables que más afectan al resultado ante un potencial cambio. Esta es la razón por la cual es interesante analizar una variación combinada de estas, para poder analizar los resultados. Es decir, un “análisis de escenarios”. A continuación, se analizarán diferentes escenarios (más optimistas y pesimistas) en relación a estas variables.

6.4.3.7. ANALISIS DE ESCENARIOS

Se proponen ahora cuatro escenarios de simulación, donde estos parámetros son modificados en forma conjunta, de forma de realizar un análisis de su combinación. Los escenarios se presentan de más “optimista” al menos “optimista”, acorde a los valores de las variables.

| Escenario 1 | | |
|--------------------------------|-----------|-------|
| Variable | Variación | Valor |
| Probabilidad desmoronamiento | 20% | 14,4% |
| % Ahorro intervención temprana | 20% | 36,0% |
| Costes de aplicación | -10% | - |

Tabla 24: Análisis de escenario a través de variación de parámetros. Fuente: Elaboración propia.



| Escenario 2 | | |
|--------------------------------|-----------|-------|
| Variable | Variación | Valor |
| Probabilidad desmoronamiento | 10% | 13,2% |
| % Ahorro intervención temprana | 10% | 33,0% |
| Costes de aplicación | 0% | - |

Tabla 25: Análisis de escenario a través de variación de parámetros. Fuente: Elaboración propia.

| Escenario 3 | | |
|--------------------------------|-----------|-------|
| Variable | Variación | Valor |
| Probabilidad desmoronamiento | 20% | 14,4% |
| % Ahorro intervención temprana | 20% | 36,0% |
| Costes de aplicación | +10% | - |

Tabla 26: Análisis de escenario a través de variación de parámetros. Fuente: Elaboración propia.

| Escenario 4 | | |
|--------------------------------|-------------------|-------|
| Variable | Variación | Valor |
| Probabilidad desmoronamiento | -20% | 9,6% |
| % Ahorro intervención temprana | -20% | 24,0% |
| Costes de aplicación | +20% solo TALUDES | - |

Tabla 27: Análisis de escenario a través de variación de parámetros. Fuente: Elaboración propia.

Descritas las variaciones propuestas en cada escenario, se obtienen los resultados:

| ANÁLISIS DE ESCENARIOS | | | | |
|------------------------|---------------|--------------|---------------|------------------|
| VAN Modificado | Escenario 1 | Escenario 2 | Escenario 3 | Escenario 4 |
| TALUDES | € 118.356.910 | € 85.180.116 | € 19.341.958 | € -13.319.405,16 |
| InSAR | € 83.065.625 | € 49.888.831 | € -7.809.942 | € -32.331.919,99 |
| LIDAR | € 79.900.932 | € 46.724.138 | € -10.974.634 | € -35.496.612,74 |
| Fotogrametría | € 85.038.525 | € 51.861.731 | € -5.837.042 | € -30.359.019,79 |

Tabla 28: Resumen de los resultados obtenidos del análisis de escenarios. Fuente: Elaboración propia.

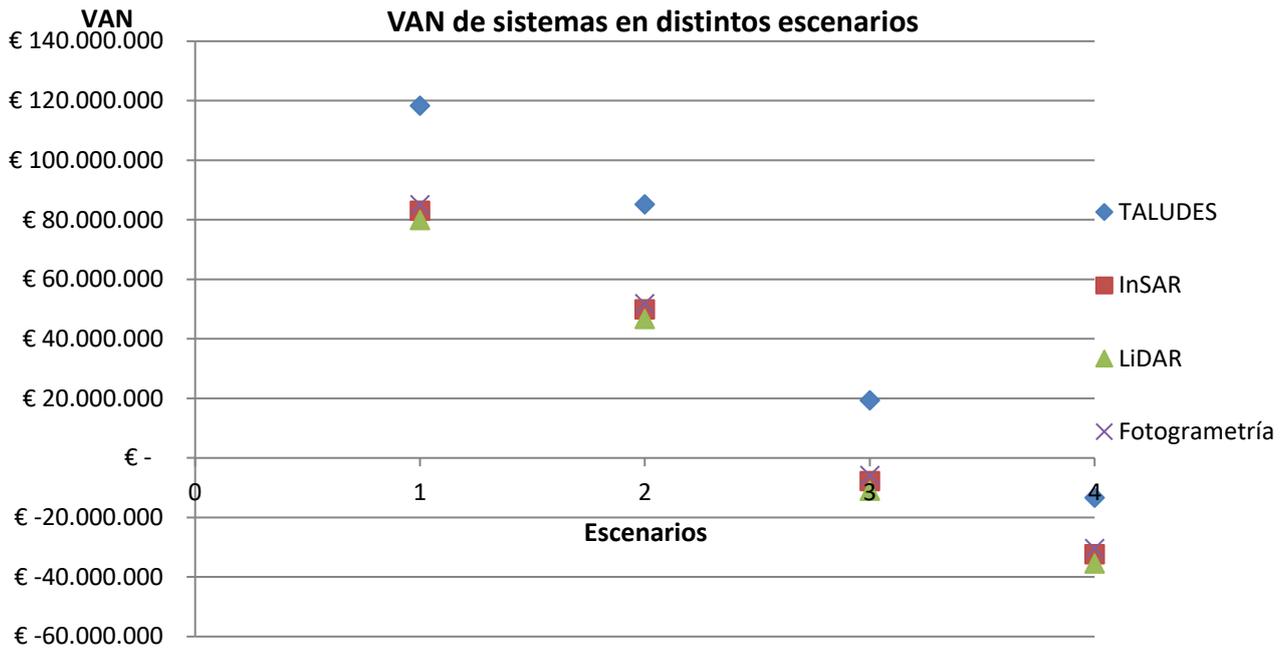


Figura 33: VAN de cada uno de los sistemas ante cada uno de los escenarios. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede ver en la Tabla 28 y la Figura 33, los **Escenarios 1 y 2** arrojan VAN positivos para cada uno de los sistemas, lo que quiere decir que, con esos valores de los parámetros señalados, conviene la opción de implantar gradualmente cualquiera de los sistemas de monitorización. Entre estos, el sistema TALUDES se diferencia claramente por su VAN más elevado.

Por otra parte, el **Escenario 3** arroja un VAN positivo para la solución TALUDES, pero no así para el resto de las otras alternativas, lo que se interpreta que, en estas condiciones, solo TALUDES convendría ser implementado.

El **último escenario** da como resultado VAN negativos para todos los sistemas evaluados, por que, bajo estas condiciones, no se implementaría ninguna solución, o se deberá evaluar cuales parámetros son susceptibles de una corrección virtuosa (por ejemplo, los costos de aplicación).

6.5. BREVE RESEÑA DEL CAPÍTULO

En el presente capítulo se llevó a cabo un análisis tanto técnico como económico de las soluciones factibles de implementar para monitorizar taludes y, de esta forma, ejercer un mantenimiento predictivo sobre estos activos. Estas soluciones son LiDAR, InSAR, Fotogrametría y la solución TALUDES, surgida de un programa I+D+I.

El análisis técnico se basó En cuatro conceptos: precisión, resolución temporal, resolución espacial y sensibilidad a factores externos, en donde la solución TALUDES se destacó por encima de las otras analizadas.

El análisis económico se realizó tomando el criterio de rentabilidad “VAN” para las cuatro soluciones implementadas de forma gradual en los taludes críticos de carreteras y vías ferroviarias españolas. A su vez, se plantean distintos escenarios de variación de los parámetros supuestos, para evaluar los distintos

resultados de rentabilidad ante estos cambios. En todos los escenarios, la solución TALUDES de claramente ventajosa en términos económico, justificando ampliamente su inversión en el desarrollo, en el marco del I+D+I.

Capítulo 7: CONCLUSIONES, LIMITACIONES Y TRABAJO FUTURO

7. CONCLUSIONES, LIMITACIONES Y FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACION

7.1. CONCLUSIONES

El presente Trabajo de Master tuvo como objetivo general realizar un análisis comparativo tanto técnico como económico de los sistemas de monitorización de taludes existentes en el estado actual de la técnica, en contraposición de una solución de creación reciente nacida en el seno de iniciativas I+D+I.

Además, se incluyeron una serie de objetivos específicos que se mencionan a continuación.

- ✓ Analizar los sistemas de monitorización de taludes planteados en **términos técnicos**, utilizando como conceptos bases la precisión, la resolución temporal, la resolución espacial y la sensibilidad a factores externos.
- ✓ Analizar los sistemas de monitorización de taludes planteados en **términos económicos**, mediante la utilización del criterio de rentabilidad conocido como “Valor Actual Neto”, aplicado al flujo de fondos potencial de cada sistema implementado en el mercado español en un horizonte de 20 años.
- ✓ Identificar cuáles de las variables supuestas en el análisis económico impactan más en el resultado ante un cambio en sus valores, es decir, realización de un “Análisis de Sensibilidad”
- ✓ Planteamiento de diferentes escenarios asignando variaciones a los parámetros más sensibles (identificados en el punto anterior) y análisis de sus resultados.

Sin embargo, para poder lograr un ordenamiento que permita la comprensión e integración total de los conceptos abordados y analizados, se dividió el trabajo en cuatro grandes partes.

- ✓ Se analizó el **contexto** en el cual se enmarca la presente comparativa, precisamente el sector de la construcción, sus características, el estado de innovación en el sector y su comparativa con otras industrias. Estos mismos aspectos fueron analizados, particularizados al país de España.
- ✓ Se estudió el **marco teórico y estado del arte** en relación al I+D+i en donde se genera la comparativa, entendiendo este ámbito como una de las herramientas fundamentales en donde surgen los progresos técnicos, las nuevas técnicas, los nuevos procesos, los cuales derivan en servicios y productos de una mejor calidad a un coste más bajo. En este entorno es en donde surge la propuesta de “TALUDES”, posteriormente analizada y comparada con el estado actual de la técnica en su competencia.
- ✓ Se analizó el caso de las **infraestructuras de taludes**, sus principios y singularidades. Se establecen lineamientos de las filosofías de mantenimientos para estos activos de las infraestructuras.
- ✓ Se realizó un **análisis comparativo** técnico-económico de los sistemas existentes hoy en el mercado para ejecutar efectivamente una monitorización de taludes en carreteras y vías ferroviarias de España. Se compararon estos valores con los obtenidos por el sistema TALUDES.

Hecho este recorrido investigativo, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

- ✓ El **sector de la construcción** es un sector particular por muchos factores, principalmente por la

participación de muchos actores en el proceso productivo, que impacta negativamente en la fluidez del ciclo de innovación, si comparamos con otros sectores. En este contexto, **España** posee un relativo atraso en término de innovación y, por otro lado, posee la característica de un stock de activos de infraestructuras en proceso de envejecimiento, lo que incrementará sus costes de mantenimiento y renovación los próximos años.

- ✓ Los **conceptos y teorías vinculadas las I+D+I** han sido abordadas por distintos autores a lo largo del tiempo, resaltando todos su importancia e impacto en la productividad de las industrias, y su necesidad de implementación sistemática y metodológica en los actores de la sociedad. Por su parte, España ha tenido un recorrido virtuoso en la materia desde el año 2000, destacándose la creación de las normas UNE 166.000 en el año 2006, momento en el cual se le dio un marco normativo a las actividades englobadas en este campo.
- ✓ En el ámbito de las infraestructuras, podemos asegurar que los **taludes** son particularidades existentes en las obras de carreteras y vías ferroviarias que necesitan especial atención (en aquellos casos críticos) por el peligro que conllevan, es decir, requieren mantenimiento y continua vigilancia. En este sentido, los gestores de infraestructuras deben girar hacia un mantenimiento con **enfoque predictivo**, utilizando las herramientas disponibles para ello, abandonando la tradicional filosofía de mantenimiento correctivo o preventivo, con el ambicioso objetivo de mejorar la gestión, tanto en costes como en servicios, de las infraestructuras viales y ferroviarias.
- ✓ Dentro del análisis realizado de las **técnicas existentes** en el mercado para implementar el **mantenimiento predictivo mencionado**, se destacar la tecnología LiDAR, InSAR Y la Fotogrametría. Estas se compararon con el sistema “TALUDES”, surgido por iniciativas I+D+I en el marco de las convocatorias llevado a cabo por el Centro de Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI).
- ✓ Estas soluciones (LiDAR, InSAR, Fotogrametría y TALUDES) tienen diferentes prestaciones técnicas y económicas, los cuales fueron contrastados. El **análisis técnico** se vinculó con parámetros relacionados a la calidad de la solución, destacando la precisión, la resolución temporal, la resolución espacial y la sensibilidad a factores externos. El **análisis económico** se realizó tomando el criterio de rentabilidad “VAN” para las cuatro soluciones implementadas de forma gradual en los taludes críticos de carreteras y vías ferroviarias españolas. A su vez, se plantean distintos escenarios de variación de los parámetros supuestos, para evaluar los distintos resultados de rentabilidad ante estos cambios. Realizado el análisis en los dos ámbitos, se destaca:
 - El sistema TALUDES representa una ventaja desde el punto de vista técnico tanto en precisión, como en resolución temporal y espacial. Además, sus mediciones son poco sensibles a factores ambientales.
 - El sistema TALUDES arroja resultados sumamente beneficiosos en términos económicos, aventajando en más del doble el Valor Actual Neto de la implementación de la solución en España, con respecto a las otras soluciones analizadas.
 - El sistema TALUDES obtuvo la mejor “performance”, además, ante la variación de las variables tomadas como “inputs” para los cálculos, tanto individualmente como de forma conjunta (análisis de escenarios). Sin embargo, esta ventaja se comienza a apreciar luego del

año 11 en el horizonte de análisis, es decir, es un sistema que genera relativos altos beneficios pero en el largo plazo.

- ✓ Esto puede interpretarse como un caso particular, pero no aislado, del éxito del fomento a la investigación, el desarrollo tecnológico e innovación, puede generar en los procesos productivos de las diferentes industrias, en este caso, al mantenimiento de taludes por vía de su monitorización.

7.2. LIMITACIONES

Las mayores limitaciones que tiene el presente trabajo de fin de master son las siguientes:

- ✓ El análisis técnico se ha basado en la información más actual de cada una de las tecnologías abordadas. Sin embargo, la velocidad de cambios y del progreso tecnológico es superlativa, hecho por el cual, cualquiera de los sistemas analizados podría tener una mejora de sus prestaciones al corto plazo.
- ✓ Si bien se simuló la aplicación del sistema de forma gradual en los taludes críticos existentes en las redes de carreteras y ferroviarias de España, la materialización de esta situación a la realidad lleva aparejado muchos otros aspectos no mencionados aquí. Entre estos, se puede mencionar los procesos de compras públicas y licitaciones para la instalación de este tipo de sistemas, procesos burocráticos, incertidumbres de gestión, entre otras cosas.
- ✓ El análisis está fundamentado en variables que, si bien están respaldadas ya sea bibliográfica o estadísticamente, esta situación puede cambiar en un futuro cercano, afectado los resultados analizados. Se puede mencionar, por ejemplo, la tasa de descuento seleccionada.

7.3. FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN

Se puede establecer los siguientes lineamientos a seguir para futuras investigaciones, relacionadas con la expuesta en este trabajo.

- ✓ Profundizar en el análisis de las características del sector de la construcción particularizado a España, a los fines de tener un diagnóstico más certero y poder actuar sobre este, promoviendo iniciativas de innovación, tal como lo hacen otras industrias y otros países de la comunidad.
- ✓ Analizar el impacto de las iniciativas I+D+i en otros ámbitos del sector de la construcción, tales como el mantenimiento predictivo de carreteras, de fuentes y de vías de ferrocarriles.
- ✓ Analizar la aplicación del sistema TALUDES en todo el continente europeo, en términos de análisis económico.

7.4. CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS

- ✓ Objetivo 1: Se cumplió conforme, cuyos resultados se ven resumidos en la Tabla 6: comparativa de aspectos técnicos de los sistemas analizados para monitorización de taludes. fuente: elaboración propia

- ✓ Objetivo 2. Se cumplió conforme, cuyos resultados se ven resumidos en la Tabla 18: valor actual neto de cada sistema según el análisis realizado. fuente: elaboración propia
- ✓ Objetivo 3: Se cumplió conforme, cuyos resultados se ven resumidos en las tablas: Tabla 19: cálculo de índice de sensibilidad en relación a la probabilidad de desmoronamiento. Fuente: elaboración propia; Tabla 20: cálculo de índice de sensibilidad en relación al ahorro por intervención temprana. Fuente: elaboración propia; Tabla 21: cálculo de índice de sensibilidad en relación tasa de interés nominal. Fuente: elaboración propia; Tabla 22: cálculo de índice de sensibilidad en relación tasa de inflación estimada. Fuente: elaboración propia; Tabla 23: cálculo de índice de sensibilidad en relación a los costes de aplicación. Fuente: elaboración propia.
- ✓ Objetivo 4: Se cumplió conforme, cuyos resultados se ven resumidos en la Tabla 28: resumen de los resultados obtenidos del análisis de escenarios. Fuente: elaboración propia.

Capítulo 8: REFERENCIAS

8. REFERENCIAS

- Abbott, C., Barrett, P., Ruddock, L., & Sexton, M. (2007). Hidden innovation in the construction and property sectors Corporate Professional Local. In *RICS Research paper series* (Vol. 7). www.rics.org
- Acevedo Agudelo, H., Vásquez Hernández, A., & Alejandro Ramírez Cardona, D. (2012). *Sustainability: Actuality and necessity in the construction sector in colombia* (Issue 1).
- Gestión de la I+D+i: Requisitos de un proyecto I+D+i. UNE 166001:2006, (2006).
- AENOR - Asociación Española de Normalización y Certificación. (2006a). *NORMA UNE 166.000: Gestión de la I+D+i: Terminología y definiciones de las actividades de I+D+i*.
- AENOR - Asociación Española de Normalización y Certificación. (2006b). *UNE 166001 Gestión de la I+ D+ i, terminología y definiciones de las actividades de I+ D+ i*.
- AENOR - Asociación Española de Normalización y Certificación. (2006). *CEN/TS 16555-1:2013 EX Gestión de la innovación. Parte 1: ...* <https://www.aenor.com/normas-y-libros/buscador-de-normas/une/?c=N0051427>
- AENOR - Asociación Española de Normalización y Certificación. (2014). *NORMA UNE 166002. Gestión de la I+D+i: Requisitos del Sistema de Gestión de la I+D+i*.
- Aerial Insights. (2019). *LIDAR vs fotogrametría*. <https://www.aerial-insights.co/blog/lidar-vs-fotogrametria/>
- Autodesk. (2020). *100+ Construction Industry Statistics [2020 Edition]*. <https://constructionblog.autodesk.com/construction-industry-statistics/>
- B+i Strategy. (2020). *La Cometa de la Innovación*. <https://www.bmasi.net/es/opinion/publicaciones/item/379-la-cometa-de-la-innovacion>
- Barlow, J. (2000). Innovation and learning in complex offshore construction projects. *Research Policy*, 29(7–8), 973–989. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(00\)00115-3](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(00)00115-3)
- Ben, D. (2003). *Innovation Management In The Knowledge Economy*. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=jOq3CgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=Dankbaar,+B.++\(2003\)+Innovation+management+in+the+knowledge+economy,+London,+Imperial+College+Press.&ots=_Ht2foyoqD&sig=8cKsXkxefo7wLWl1glQPpR0HfE](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=jOq3CgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=Dankbaar,+B.++(2003)+Innovation+management+in+the+knowledge+economy,+London,+Imperial+College+Press.&ots=_Ht2foyoqD&sig=8cKsXkxefo7wLWl1glQPpR0HfE)
- BEROE Advantage Procurement. (2020). *Global Construction Industry Outlook: Forecast, Market 2019-2030*. <https://www.beroeinc.com/category-intelligence/global-construction-market/>
- Blayse, A. M., & Manley, K. (2004). Key influences on construction innovation. *Construction Innovation*, 4(3), 143–154. <https://doi.org/10.1191/1471417504ci073oa>
- Bosher, L., Dainty, A., Carrillo, P., Glass And, J., & Price, A. (2007). Integrating disaster risk management into construction: a UK perspective. *Building Research & Information*, 35(2), 163–177. <https://doi.org/10.1080/09613210600979848>
- Bossink, B. A. G. (2004). Managing Drivers of Innovation in Construction Networks. *Journal of Construction Engineering and Management*, 130(3), 337–345. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2004\)130:3\(337\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2004)130:3(337))
- Bresnen, M., Goussevskaia, A., & Swan, J. (2005). Organizational Routines, Situated Learning and Processes

- of Change in Project-Based Organizations. *Project Management Journal*, 36(3), 27–41. <https://doi.org/10.1177/875697280503600304>
- Byzness. (2019). Victor Yepes, “Las generaciones futuras pueden verse obligadas a pagar la deuda de unas infraestructuras que disfrutaron sus padres.” <https://byzness.elperiodico.com/es/entorno/20191031/entrevista-ods-9-victor-yepes-upv-infraestructuras-sostenibles-7707560>
- C. de la Maza. (2008). Gestión de la Innovación: La serie UNE 166000: 2006. Qualitas hodie: Excelencia, desarrollo sostenible e innovación. In *dialnet.unirioja.es*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2546133>
- Campos, O. A. (2011). Inestabilidad de Laderas. *Elementos*.
- Casagli, N., Frodella, W., Morelli, S., Tofani, V., Ciampalini, A., Intrieri, E., Raspini, F., Rossi, G., Tanteri, L., & Lu, P. (2017). Spaceborne, UAV and ground-based remote sensing techniques for landslide mapping, monitoring and early warning. *Geoenvironmental Disasters*, 4(1), 1–23. <https://doi.org/10.1186/s40677-017-0073-1>
- Cepeda Medina, J. Á., Leal Leal, L., & García Cerezo, P. (2009). *Conservación y explotación de carreteras* (T. Ediciones (ed.); Segunda Ed).
- CESCE. (2019). *Informe Sectorial de la Economía Española 2019*.
- Chanalata, E., Hamilton, S., & Flores Carvajal, M. D. (2007). *Estudio de estabilidad de taludes del paso lateral de la ciudad de Macas (Bachelor’s thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo)*.
- Chiesa, V., Coughlan, P., & Voss, C. A. (1996). Development of a Technical Innovation Audit. *Journal of Product Innovation Management*, 13(2), 105–136. <https://doi.org/10.1111/1540-5885.1320105>
- Cho, S. E. (2010). Probabilistic Assessment of Slope Stability That Considers the Spatial Variability of Soil Properties. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 136(7), 975–984. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0000309](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000309)
- Clarke D., & Smethurst J.A. (2007). Effects of climate change on cycles of wetting and drying in engineered clay slopes in England. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 40(2), 198.1-199. <https://doi.org/10.1144/1470-9236>
- Clemente, J. J. (2012). *La toma de decisión en el marco de la gestión de activos de infraestructuras de transporte terrestre*.
- COTEC. (2020). *España mejoró el último año cinco posiciones en el ranking de innovación europeo*. <https://cotec.es/espana-mejoro-en-el-ultimo-ano-cinco-posiciones-en-el-ranking-de-innovacion-europeo/>
- Cruden, D., & Varnes, D. J. (1996). Landslide Types and Processes. *Landslides: Investigation and Mitigation*, Tumer, A. K. & Schuster, R. L., Eds., Washington – National Academy Press, 36–75.
- David, W. W., & Arthur B. (1989). Management to maintain quality in buildings. In *Proceedings of Implementation of Quality Construction* (pp. 212–218).
- Dewick, P., & Miozzo, M. (2004). Networks and innovation: sustainable technologies in Scottish social housing. *R and D Management*, 34(3), 323–333. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9310.2004.00342.x>

- Dixon, N., Smith, A., Spriggs, M., Ridley, A., Meldrum, P., & Haslam, E. (2015). Stability monitoring of a rail slope using acoustic emission. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Geotechnical Engineering*, 168(5), 373–384. <https://doi.org/10.1680/jgeen.14.00152>
- Duan, M., Xu, B., Li, Z., Cao, Y., Hu, J., Xu, W., Wei, J., & Feng, G. (2020). Non-differential water vapor estimation from SBAS-InSAR. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 204, 105284. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2020.105284>
- Dulaimi, M. F., Ling, F. Y. Y., Ofori, G., & De Silva, N. (2002). Enhancing integration and innovation in construction. *Building Research and Information*, 30(4), 237–247. <https://doi.org/10.1080/09613210110115207>
- EuropaPress. (2020). *La producción en el sector de la construcción en España creció un 4,7% en 2019, hasta 129.900 millones*. <https://www.europapress.es/economia/noticia-produccion-sector-construccion-espana-crecio-47-2019-129900-millones-20200206102555.html>
- European Commission. (2020). *Developments and Forecasts on Continuing Urbanisation*. https://ec.europa.eu/knowledge4policy/foresight/topic/continuing-urbanisation/developments-and-forecasts-on-continuing-urbanisation_en
- FAO. (1990). CHAPTER 3. In *ROAD DESIGN*. <http://www.fao.org/3/t0099e/T0099e03.htm>
- Fuentes Pujol, E., & Arguimbau Vivó, L. (2008). I+D+I: UNA PERSPECTIVA DOCUMENTAL 1 INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN, DESARROLLO E INNOVACIÓN (I+D+I). In *Nº* (Vol. 11). <http://www.ocde.org/>
- Fundación Laboral de la Construcción. (2020). *El sector de la construcción. Informe 2019*.
- Gagnon, J. E. (2008). *Inflation Regimes and Inflation Expectations*.
- Gann, D. (1997). Should governments fund construction research? *Building Research and Information*, 25(5). <https://doi.org/10.1080/096132197370228>
- Garay, C., & Angélica, P. (2012). *Cálculo del factor de erosión de la lluvia en las Estaciones Papaloapan y Cd. Alemán de la Cuenca del Papaloapan*.
- García Gómez, J., & Yepes, V. (2014). *La gestión de activos en la edificación y el mantenimiento de edificios* [Universitat Politècnica de València]. https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/47813/MEMORIA_GARC%CDAG%3DMEZJES%DAS_TFM_GESTI%D3N_ACTIVOS_EDIFICACI%D3N_2014.pdf?sequence=1
- García Pérez, F., Mas Ivars, M., Serrano Martínez, L., & Jiménez, E. U. (2019). *El stock de capital en España y sus comunidades autónomas. Evolución de la edad media de las inversiones y envejecimiento del capital*.
- Gil-Albert, & H Molina. (1995). *La innovación tecnológica y sus implicaciones estratégicas y empresariales: un enfoque descriptivo*.
- Gillan, J. K., McClaran, M. P., Swetnam, T. L., & Heilman, P. (2019). Estimating forage utilization with drone-based photogrammetric point clouds. *Rangeland Ecology and Management*, 72(4), 575–585. <https://doi.org/10.1016/j.rama.2019.02.009>
- Real Decreto Legislativo 2/2004, de 5 de marzo, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley Reguladora de las Haciendas Locales, (2004).

- González de Vallejo, L., Nestares, E., Ferrer, M., & Andreotti, P. (2017). *Slope Engineering in the Last 50 Years in Spain*.
- Grabher, G. (2004). Temporary Architectures of Learning: Knowledge Governance in Project Ecologies. *Organization Studies*, 25(9), 1491–1514. <https://doi.org/10.1177/0170840604047996>
- Hardy, A. J., Barr, S. L., Mills, J. P., & Miller, P. E. (2012). Characterising soil moisture in transport corridor environments using airborne LIDAR and CASI data. *Hydrological Processes*, 26(13), 1925–1936. <https://doi.org/10.1002/hyp.8217>
- Hatton, T., Seville, E., & Vargo, J. (2012). Improving the resilience of SMEs: policy and practice in New Zealand. *Resorgs.Org.Nz*. www.resorgs.org.nz
- Hernández, L. M. B. (2009). Una revisión de la interpretación económica sobre la innovación. In *Journal of Technology Management and Innovation* (Vol. 4, Issue 4, pp. 139–149). Universidad Alberto Hurtado. Facultad de Economía y Negocios. <https://doi.org/10.4067/s0718-27242009000400012>
- HM Ruggirello. (n.d.). El Sector de la Construcción en perspectiva. In *biblioteca.clacso.edu.ar*. Retrieved June 21, 2020, from www.fundacion.uocra.org
- Horner, R. M. W., El-Haram, M. A., & Munns, A. K. (1997). Building maintenance strategy: A new management approach. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 3(4), 273–280. <https://doi.org/10.1108/13552519710176881>
- Hsu, C.-M., & Shiu, C.-W. (2019). 3D LiDAR-Based Precision Vehicle Localization with Movable Region Constraints. *Sensors*, 19(4), 942. <https://doi.org/10.3390/s19040942>
- Intrieri, E., Gigli, G., Mugnai, F., Fanti, R., & Casagli, N. (2012). Design and implementation of a landslide early warning system. *Engineering Geology*, 147–148, 124–136. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2012.07.017>
- Jaedicke, C., Van Den Eeckhaut, M., Nadim, F., Hervás, J., Kalsnes, B., Vangelsten, B. V., Smith, J. T., Tofani, V., Ciurean, R., Winter, M. G., Sverdrup-Thygeson, K., Syre, E., & Smebye, H. (2014). Identification of landslide hazard and risk “hotspots” in Europe. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 73(2), 325–339. <https://doi.org/10.1007/s10064-013-0541-0>
- Johannessen, J. A., Olsen, B., & Lumpkin, G. T. (2001). Innovation as newness: What is new, how new, and new to whom? *European Journal of Innovation Management*, 4(1), 20–31. <https://doi.org/10.1108/14601060110365547>
- Kangari, R., & Miyatake, Y. (1997). Developing and managing innovative construction technologies in Japan. *Journal of Construction Engineering and Management*, 123(1), 72–84. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9364\(1997\)123:1\(72\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9364(1997)123:1(72))
- KEEFER, D. K. (1984). Landslides caused by earthquakes. *GSA Bulletin*, 95(4), 406–421. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1984\)95<406:LCBE>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1984)95<406:LCBE>2.0.CO;2)
- Kelly, A., & Harris, M. (1978). *Management of industrial maintenance*.
- KNOEMA. (2019). *R&D Expenditure by Industrial Sectors*. <https://knoema.es/cyudzeb/r-d-expenditure-by-industrial-sectors>
- Laborde, M., & Sanvido, V. (1994). Introducing New Process Technologies into Construction Companies. *Journal of Construction Engineering and Management*, 120(3), 488–508.

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1994\)120:3\(488\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1994)120:3(488))

- LAND INFO Worldwide Mapping. (2019). *Satellite Imagery Solutions & Digital Map Data*. <http://www.landinfo.com/>
- Lloret, E., Zurich, E., Flatt, R. J., Shahab, A. R., Linus, M., Gramazio, F., Kohler, M., & Langenberg, S. (2015). Complex concrete structures: Merging existing casting techniques with digital fabrication Interface Force Field Model of Tobermorite Minerals and its Application View project Smart Dynamic Casting View project Complex concrete structures Merging existing casting techniques with digital fabrication. *Computer-Aided Design*, 60, 40–49. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2014.02.011>
- Malik, A., & Maheshwari, A. (2018). *Construction Industry Value Chain : How Companies are Using Carbon Pricing to Address Climate Risk and Find New Opportunities* (pp. 1–48).
- Martínez, J., & Balaguer, J. (1998). *Litología, aprovechamiento de rocas industriales y riesgo de deslizamiento en la Comunidad Valenciana*. Consellería de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente.
- Meng, X., & Brown, A. (2018). Innovation in construction firms of different sizes: drivers and strategies. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 25(9), 1210–1225. <https://doi.org/10.1108/ECAM-04-2017-0067>
- Mention, A. L. (2011). Co-operation and co-opetition as open innovation practices in the service sector: Which influence on innovation novelty? *Technovation*, 31(1), 44–53. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2010.08.002>
- Mielgo, N., Peón, J., & Ordás, C. (2007). *Cómo gestionar la innovación en las pymes*. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=oGJTfQh6QHUC&oi=fnd&pg=PR11&dq=López+Mielgo,+N.++\(2007\)+Cómo+gestionar+la+innovación+en+la+Pymes.+Netbiblo.&ots=jJhGHE6Qju&sig=JKH7I2KEjztkscp0g0x_ZiMAwyQ](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=oGJTfQh6QHUC&oi=fnd&pg=PR11&dq=López+Mielgo,+N.++(2007)+Cómo+gestionar+la+innovación+en+la+Pymes.+Netbiblo.&ots=jJhGHE6Qju&sig=JKH7I2KEjztkscp0g0x_ZiMAwyQ)
- Miles, I., & Green, L. (2008). *Hidden innovation in the creative industries*, NESTA.
- MILLER, R., HOBDAV, M., LEROUX-DEMERS, T., & OLLEROS, X. (1995). Innovation in Complex Systems Industries: the Case of Flight Simulation. *Industrial and Corporate Change*, 4(2), 363–400. <https://doi.org/10.1093/ICC/4.2.363>
- Ministerio de Ciencia e Innovación. (2010). *Programa Programa INGENIO 2010: Balance de actuaciones Balance de actuaciones*.
- Ministerio de Fomento. (2020). *SISTEMA PÚBLICO DE I+D+I*. <http://hispagua.cedex.es/node/61655>
- Ministerio de Transporte, M. y A. U. (2018). *Anuario Estadístico 2018. Capítulo 7: Carreteras*. <https://www.mitma.gob.es/el-ministerio/informacion-estadistica/anuario-estadisticas-de-sintesis-y-boletin/anuario-estadistico/capitulos-2018>
- Ministerio de Transportes, M. y A. U. (2018). *Red ferroviaria de interés general (RFIG)*. <https://www.mitma.gob.es/ferrocarriles/red-ferroviaria-de-interes-general-rfig/la-red-ferroviaria-de-interes-general-rfig-definicion-composicion-y-caracteristicas>
- Mir, M. (2008). *Standardized Innovation Management System (SIMS) impact View project Universidad de Girona View project*. <https://www.researchgate.net/publication/42533453>
- Mokhtariani, M., Sebt, M. H., & Davoudpour, H. (2017). Civil Engineering Journal Characteristics of the Construction Industry from the Marketing Viewpoint: Challenges and Solutions. *Academia.Edu*, 3(9).

<https://doi.org/10.21859/cej-03097>

- Morcous, G., & Lounis, Z. (2005). Maintenance optimization of infrastructure networks using genetic algorithms. *Automation in Construction*, 14(1), 129–142. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2004.08.014>
- Moretti, L., Cantisani, G., & Di Mascio, P. (2016). Management of road tunnels: Construction, maintenance and lighting costs. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 51, 84–89. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2015.10.027>
- Morote, J., Serrano, G., & Nuchera, A. (2014). *La gestión de la innovación y la tecnología en las organizaciones*.
- Nam, C. H., & Tatum, C. B. (2002). Strategies for Technology Push: Lessons from Construction Innovations. *Journal of Construction Engineering and Management*, 118(3), 507–524. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1992\)118:3\(507\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1992)118:3(507))
- Oguchi, T., Hayakawa, Y. S., & Wasklewicz, T. (2011). Data Sources. In *Developments in Earth Surface Processes* (Vol. 15, pp. 189–224). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53446-0.00007-0>
- ONU. (2000). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible – Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Ozorhon, B., & Oral, K. (2017). Drivers of Innovation in Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(4), 04016118. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001234](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001234)
- Peguero Orta, C. (2012). *Fotografía Digital y Sensores Remotos.. Sistemas de teledetección LiDAR*.
- Pellicer, E., Yepes, V., Correa, C. L., & Alarcón, L. F. (2017). *The Dilemma of Innovation in the Construction Company: A Decade of Lessons Learned* (pp. 21–33). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-51859-6_2
- Perski, Z., Wojciechowski, T., Wójcik, A., & Borkowski, A. (2014). Monitoring of landslide dynamics with LIDAR, SAR interferometry and photogrammetry. Case study of Kłodne landslide (Southern Poland). In *Proceedings of World Landslide Forum* (Vol. 3).
- Pozuelo, F. B. (2010). *Fotogrametría analítica. Vol 79*.
- Research and Markets. (2020). *Global Construction Industry Databook Series - Market Size & Forecast (2014 - 2023) by Value and Volume across 40+ Market Segments in Residential, Commercial, Industrial, Institutional and Infrastructure Construction, - Updated in Q3, 2019*. <https://www.businesswire.com/news/home/20200102005423/en/Global-Construction-Industry-Analysis-Forecast-2014-2023-->
- Salbego, G., Floris, M., Busnardo, E., Toaldo, M., & Genevois, R. (2015). Detailed and large-scale cost/benefit analyses of landslide prevention vs. post-event actions Università degli Studi di Padova Padua Research Archive-Institutional Repository Detailed and large-scale cost/benefit analyses of landslide prevention vs. post-. *Hazards Earth Syst. Sci*, 15, 2461–2472. <https://doi.org/10.5194/nhess-15-2461-2015>
- Sánchez-Silva, M., Frangopol, D. M., Padgett, J., & Soliman, M. (2016). Maintenance and operation of infrastructure systems: Review. In *Journal of Structural Engineering (United States)* (Vol. 142, Issue 9, p. F4016004). American Society of Civil Engineers (ASCE). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001543](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001543)

- Sancho, M. D., López, F. J. F., & Vázquez, B. G. (2008). Herramientas de gestión de la I+ D+ i: caracterización basada en las normas UNE 166000. In *In Universidad, Sociedad y Mercados Globales*.
- Savetpanuvong, P., Tanlamai, U., & Lursinsap, C. (2011). Sustaining innovation in information technology entrepreneurship with a sufficiency economy philosophy. *International Journal of Innovation Science*, 3(2), 69–81. <https://doi.org/10.1260/1757-2223.3.2.69>
- Savvaidis, P. D. (2003). *Existing Landslide Monitoring Systems and Techniques*.
- Seaden, G., & Manseau, A. (2001). Public policy and construction innovation. *Building Research and Information*, 29(3), 182–196. <https://doi.org/10.1080/09613210010027701>
- Sexton, M., & Barrett, P. (2003). A literature synthesis of innovation in small construction firms: Insights, ambiguities and questions. *Construction Management and Economics*, 21(6), 613–622. <https://doi.org/10.1080/0144619032000134147>
- Shakor, P., Nejadi, S., Paul, G., & Malek, S. (2019). Review of emerging additive manufacturing technologies in 3d printing of cementitious materials in the construction industry. In *Frontiers in Built Environment* (Vol. 4). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2018.00085>
- Skygeo. (2019). *InSAR technical background*. <https://skygeo.com/insar-technical-background/>
- Slaughter, E. S. (1998). Models of Construction Innovation. *Journal of Construction Engineering and Management*, 124(3), 226–231. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1998\)124:3\(226\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1998)124:3(226))
- Smethurst, J. A., Smith, A., Uhlemann, S., Wooff, C., Chambers, J., Hughes, P., Lenart, S., Saroglou, H., Springman, S. M., Löfroth, H., & Hughes, D. (2017). Current and future role of instrumentation and monitoring in the performance of transport infrastructure slopes. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 50(3), 271–286. <https://doi.org/10.1144/qjegh2016-080>
- Springman, S. M., Friedel, S., Thielen, A., Ag, F., Zurich, S., Askarinejad, A., Casini, F., Kienzler, P., & Teyseire, P. (2012). *LESSONS LEARNT FROM FIELD TESTS IN SOME POTENTIALLY UNSTABLE SLOPES IN SWITZERLAND* (Vol. 1).
- Stenström, C., Norrbin, P., Parida, A., & Kumar, U. (2016). Preventive and corrective maintenance – cost comparison and cost–benefit analysis. *Structure and Infrastructure Engineering*, 12(5), 603–617. <https://doi.org/10.1080/15732479.2015.1032983>
- STO España. (2020). *Innovación: 7 tendencias que están marcando el sector de la construcción*. <https://espaciosto.es/innovacion-7-tendencias-estan-marcando-sector-la-construccion/>
- Suarez, J. (2013). *Deslizamientos*.
- Suman, S., Khan, S. Z., Das, S. K., & Chand, S. K. (2016). Slope stability analysis using artificial intelligence techniques. *Natural Hazards*, 84(2), 727–748. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2454-2>
- Sun, Q., Zhang, L., Ding, X. L., Hu, J., Li, Z. W., & Zhu, J. J. (2015). Slope deformation prior to Zhouqu, China landslide from InSAR time series analysis. *Remote Sensing of Environment*, 156, 45–57. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.09.029>
- Thévenaz, L. (2010). Brillouin distributed time-domain sensing in optical fibers: state of the art and perspectives. *Springer*, 3(1), 13–21. <https://doi.org/10.1007/s12200-009-0086-9>
- Tidd, J., & Bessant, J. (2018). *Managing innovation: integrating technological, market and organizational*

change.

[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=S11nDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Tidd,+J.,+Bessant,+J.+R.+%26+Pavitt,+K.+\(2005\)+Managing+innovation:+integrating+technological,+market+and+organization+change,+Chichester,+John+Wiley+%26+Sons.&ots=dXXucdJ5MD&sig=ekN](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=S11nDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=Tidd,+J.,+Bessant,+J.+R.+%26+Pavitt,+K.+(2005)+Managing+innovation:+integrating+technological,+market+and+organization+change,+Chichester,+John+Wiley+%26+Sons.&ots=dXXucdJ5MD&sig=ekN)

Wilkinson, S., Chang-Richards, A. Y., Sapeciay, Z., & Costello, S. B. (2016). Improving construction sector resilience. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, 7(2), 173–185. <https://doi.org/10.1108/IJDRBE-04-2015-0020>

Winch, G. (1998). Zephyrs of creative destruction: Understanding the management of innovation in construction. *Building Research and Information*, 26(5), 268–279. <https://doi.org/10.1080/096132198369751>

Wolf, R. E., Bouali, H., Oommen, T., Brooks, C., Vitton, S. J., Singh, C., & Director, P. E. (2016). *Deliverable 6-A: Cost benefit analysis of a proactive geotechnical asset management system using remote sensing*.

Xue, Xiaolong, Zhang, Ruixue, Yang, R. J., Dai, &, & Jason. (2014). *Innovation in Construction: A Critical Review and Future Research* (Vol. 6, Issue 2).

Yepes, V, Pellicer, E., & C Correa. (2006). *Standardizing the innovation in the Spanish construction industry*.

Yepes, Víctor. (2019). *La gestión de la innovación en las empresas constructoras*.

Zhou, X., Xi, L., & Lee, J. (2007). Reliability-centered predictive maintenance scheduling for a continuously monitored system subject to degradation. *Reliability Engineering and System Safety*, 92(4), 530–534. <https://doi.org/10.1016/j.res.2006.01.006>

Zhu, H., Shi, B., Zhang, J., Yan, J., Science, C. Z.-J. of mountain, & 2014, U. (2014). Distributed fiber optic monitoring and stability analysis of a model slope under surcharge loading. *Springer*. <https://doi.org/10.1007/s11629-013-2816-0>

Zuhairy, M., Tajuddin, M., Ibrahım, H., & Ismail, N. (2015). Relationship Between Innovation and Organizational Performance in Construction Industry in Malaysia. *Universal Journal of Industrial and Business Management*, 3(4), 87–99. <https://doi.org/10.13189/ujibm.2015.030402>



Capítulo 9: ANEJOS.

9. ANEJOS

9.1. SISTEMA TALUDES

1) Captación de mercado

| Año | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Factor por Inflación | 1,0000 | 1,0123 | 1,0248 | 1,0375 | 1,0503 | 1,0632 | 1,0764 | 1,0896 | 1,1031 | 1,1167 |
| Factor de crecimiento de Instrumentaciones | 150% | 120% | 96% | 77% | 61% | 49% | 39% | 31% | 25% | 20% |
| Taludes Instrumentados | | 83 | 162 | 286 | 461 | 688 | 958 | 1.260 | 1.577 | 1.894 |
| Nuevos Taludes Instrumentados | | 83 | 79 | 124 | 175 | 227 | 270 | 302 | 317 | 317 |
| % Captación | | 1,00% | 1,96% | 3,47% | 5,59% | 8,34% | 11,63% | 15,28% | 19,13% | 22,98% |

| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1,1305 | 1,1444 | 1,1586 | 1,1729 | 1,1873 | 1,2020 | 1,2168 | 1,2318 | 1,2470 | 1,2624 | 1,2780 |
| 16% | 13% | 10% | 8% | 7% | 5% | 4% | 3% | 3% | 2% | 2% |
| 2.199 | 2.482 | 2.738 | 2.964 | 3.159 | 3.326 | 3.466 | 3.583 | 3.680 | 3.760 | 3.825 |
| 305 | 283 | 256 | 226 | 195 | 167 | 140 | 117 | 97 | 80 | 65 |
| 26,68% | 30,12% | 33,22% | 35,96% | 38,33% | 40,36% | 42,06% | 43,48% | 44,66% | 45,62% | 46,41% |

2) Previsión de Ingresos

| Año | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------|---|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| Beneficios | | € 488.399 | € 965.025 | € 1.724.709 | € 2.814.343 | € 4.251.978 | € 5.993.692 | € 7.980.422 | € 10.111.450 | € 12.293.856 | € 14.449.731 |
| Beneficios totales | | € 488.399 | € 965.025 | € 1.724.709 | € 2.814.343 | € 4.251.978 | € 5.993.692 | € 7.980.422 | € 10.111.450 | € 12.293.856 | € 14.449.731 |

| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|

| | | | | | | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| € 16.510.594 | € 18.438.295 | € 20.206.538 | € 21.801.669 | € 23.237.466 | € 24.514.411 | € 25.654.651 | € 26.674.330 | € 27.590.524 | € 28.413.841 |
| € 16.510.594 | € 18.438.295 | € 20.206.538 | € 21.801.669 | € 23.237.466 | € 24.514.411 | € 25.654.651 | € 26.674.330 | € 27.590.524 | € 28.413.841 |

3) Gastos de Explotación

| Año | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------------------------------|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Gastos por Instrumentación | | € 840.242 | € 809.617 | € 1.286.474 | € 1.837.992 | € 2.413.559 | € 2.906.178 | € 3.290.726 | € 3.496.797 | € 3.539.948 | € 3.447.973 |
| Gastos por Servicio de Monitoreo | | € 210.061 | € 415.057 | € 741.797 | € 1.210.449 | € 1.828.776 | € 2.577.887 | € 3.432.380 | € 4.348.935 | € 5.287.587 | € 6.214.829 |
| Gastos totales | | € 1.050.303 | € 1.224.675 | € 2.028.271 | € 3.048.441 | € 4.242.334 | € 5.484.065 | € 6.723.106 | € 7.845.732 | € 8.827.535 | € 9.662.802 |

| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| € 4.188.625 | € 1.640.908 | € 1.735.537 | € 1.857.351 | € 2.002.234 | € 2.109.254 | € 2.182.154 | € 2.182.721 | € 2.118.921 | € 1.999.182 |
| € 7.101.207 | € 7.930.311 | € 8.690.832 | € 9.376.898 | € 9.994.434 | € 10.543.649 | € 11.034.066 | € 11.472.630 | € 11.866.685 | € 12.220.793 |
| € 11.289.831 | € 9.571.219 | € 10.426.369 | € 11.234.249 | € 11.996.668 | € 12.652.902 | € 13.216.220 | € 13.655.350 | € 13.985.605 | € 14.219.975 |

4) Flujo de caja

| Año | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------------|------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| Flujo neto de caja | | € -561.903 | € -259.650 | € -303.562 | € -234.098 | € 9.644 | € 509.628 | € 1.257.317 | € 2.265.718 | € 3.466.321 | € 4.786.929 |
| Aportación de Capital | € 198.957 | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - |
| Tesorería Anual | € -198.957 | € -561.903 | € -259.650 | € -303.562 | € -234.098 | € 9.644 | € 509.628 | € 1.257.317 | € 2.265.718 | € 3.466.321 | € 4.786.929 |
| Tesorería Acumulada | € -198.957 | € -760.860 | € -1.020.510 | € -1.324.072 | € -1.558.170 | € -1.548.527 | € -1.038.899 | € 218.418 | € 2.484.136 | € 5.950.456 | € 10.737.385 |

| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| € 5.220.763 | € 8.867.076 | € 9.780.169 | € 10.567.420 | € 11.240.797 | € 11.861.509 | € 12.438.431 | € 13.018.980 | € 13.604.919 | € 14.193.866 |



| | | | | | | | | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - |
| € 5.220.763 | € 8.867.076 | € 9.780.169 | € 10.567.420 | € 11.240.797 | € 11.861.509 | € 12.438.431 | € 13.018.980 | € 13.604.919 | € 14.193.866 |
| € 15.958.148 | € 24.825.224 | € 34.605.394 | € 45.172.814 | € 56.413.611 | € 68.275.120 | € 80.713.552 | € 93.732.532 | € 107.337.451 | € 121.531.316 |

5) Flujo de fondos

| Año | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-------------------|------------|------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Flujo de Fondos | € -198.957 | € -561.903 | € -259.650 | € -303.562 | € -234.098 | € 9.644 | € 509.628 | € 1.257.317 | € 2.265.718 | € 3.466.321 | € 4.786.929 |
| FF Actualizado | € -198.957 | € -533.510 | € -234.072 | € -259.831 | € -190.248 | € 7.441 | € 373.369 | € 874.603 | € 1.496.419 | € 2.173.686 | € 2.850.139 |
| FF Act. Acumulado | € -198.957 | € -732.467 | € -966.539 | € -1.226.370 | € -1.416.618 | € -1.409.177 | € -1.035.808 | € -161.205 | € 1.335.214 | € 3.508.900 | € 6.359.039 |

| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| € 5.220.763 | € 8.867.076 | € 9.780.169 | € 10.567.420 | € 11.240.797 | € 11.861.509 | € 12.438.431 | € 13.018.980 | € 13.604.919 | € 14.193.866 |
| € 2.951.372 | € 4.759.390 | € 4.984.230 | € 5.113.304 | € 5.164.290 | € 5.174.095 | € 5.151.586 | € 5.119.567 | € 5.079.642 | € 5.031.746 |
| € 9.310.410 | € 14.069.800 | € 19.054.030 | € 24.167.334 | € 29.331.625 | € 34.505.720 | € 39.657.306 | € 44.776.872 | € 49.856.514 | € 54.888.261 |

9.2. SISTEMA INSAR

1) Captación de mercado

| Año | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Factor por Inflación | 1,0000 | 1,0123 | 1,0248 | 1,0375 | 1,0503 | 1,0632 | 1,0764 | 1,0896 | 1,1031 | 1,1167 | 1,1305 |
| Factor de crecimiento de Monitorizaciones | 150% | 120% | 96% | 77% | 61% | 49% | 39% | 31% | 25% | 20% | 16% |
| Taludes Monitorizados | | 83 | 162 | 286 | 461 | 688 | 958 | 1.260 | 1.577 | 1.894 | 2.199 |
| % Captación | | 1,00% | 1,96% | 3,47% | 5,59% | 8,34% | 11,63% | 15,28% | 19,13% | 22,98% | 26,68% |

| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1,1444 | 1,1586 | 1,1729 | 1,1873 | 1,2020 | 1,2168 | 1,2318 | 1,2470 | 1,2624 | 1,2780 |
| 13% | 10% | 8% | 7% | 5% | 4% | 3% | 3% | 2% | 2% |
| 2.482 | 2.738 | 2.964 | 3.159 | 3.326 | 3.466 | 3.583 | 3.680 | 3.760 | 3.825 |
| 30,12% | 33,22% | 35,96% | 38,33% | 40,36% | 42,06% | 43,48% | 44,66% | 45,62% | 46,41% |

2) Previsión de Ingresos

| Año | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------|---|--------------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Beneficios | | € 488.399 | € 965.025 | € 1.724.709 | € 2.814.343 | € 4.251.978 | € 5.993.692 | € 7.980.422 | € 10.111.450 | € 12.293.856 | € 14.449.731 |
| Beneficios totales | | € 488.399 | € 965.025 | € 1.724.709 | € 2.814.343 | € 4.251.978 | € 5.993.692 | € 7.980.422 | € 10.111.450 | € 12.293.856 | € 14.449.731 |

| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| € 16.510.594 | € 18.438.295 | € 20.206.538 | € 21.801.669 | € 23.237.466 | € 24.514.411 | € 25.654.651 | € 26.674.330 | € 27.590.524 | € 28.413.841 |
| € | € | € | € | € | € | € | € | € | € |

| | | | | | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 16.510.594 | 18.438.295 | 20.206.538 | 21.801.669 | 23.237.466 | 24.514.411 | 25.654.651 | 26.674.330 | 27.590.524 | 28.413.841 |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|

3) Gastos de Explotación

| Año | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------------------------------|---|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| Gastos por Instrumentación | | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - |
| Gastos por Servicio de Monitoreo | | € 422.047 | € 833.919 | € 1.490.395 | € 2.431.995 | € 3.674.316 | € 5.179.406 | € 6.896.225 | € 8.737.737 | € 10.623.648 | € 12.486.632 |
| Gastos totales | | € 422.047 | € 833.919 | € 1.490.395 | € 2.431.995 | € 3.674.316 | € 5.179.406 | € 6.896.225 | € 8.737.737 | € 10.623.648 | € 12.486.632 |

| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - |
| € 14.267.512 | € 15.933.321 | € 17.461.336 | € 18.839.757 | € 20.080.490 | € 21.183.954 | € 22.169.284 | € 23.050.432 | € 23.842.154 | € 24.553.618 |
| € 14.267.512 | € 15.933.321 | € 17.461.336 | € 18.839.757 | € 20.080.490 | € 21.183.954 | € 22.169.284 | € 23.050.432 | € 23.842.154 | € 24.553.618 |

4) Flujo de caja

| Año | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------------|---|----------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Flujo neto de caja (FNC) | | € 66.353 | € 131.105 | € 234.314 | € 382.349 | € 577.662 | € 814.286 | € 1.084.197 | € 1.373.713 | € 1.670.208 | € 1.963.099 |
| Aportación de Capital | - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - |
| Tesorería Anual | - | € 66.353 | € 131.105 | € 234.314 | € 382.349 | € 577.662 | € 814.286 | € 1.084.197 | € 1.373.713 | € 1.670.208 | € 1.963.099 |
| Tesorería Acumulada | - | € 66.353 | € 197.458 | € 431.772 | € 814.121 | € 1.391.782 | € 2.206.068 | € 3.290.265 | € 4.663.978 | € 6.334.186 | € 8.297.285 |

| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| € 2.243.082 | € 2.504.974 | € 2.745.202 | € 2.961.912 | € 3.156.976 | € 3.330.458 | € 3.485.368 | € 3.623.898 | € 3.748.370 | € 3.860.223 |
| € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - |
| € 2.243.082 | € 2.504.974 | € 2.745.202 | € 2.961.912 | € 3.156.976 | € 3.330.458 | € 3.485.368 | € 3.623.898 | € 3.748.370 | € 3.860.223 |
| € 10.540.367 | € 13.045.341 | € 15.790.544 | € 18.752.456 | € 21.909.432 | € 25.239.889 | € 28.725.257 | € 32.349.155 | € 36.097.525 | € 39.957.748 |

**5) Flujo de
fondos**

| Año | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------------------------------------|---|----------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Flujo de Fondos | - | € 66.353 | € 131.105 | € 234.314 | € 382.349 | € 577.662 | € 814.286 | € 1.084.197 | € 1.373.713 | € 1.670.208 | € 1.963.099 |
| Flujo de Fondos Actualizado | - | € 63.000 | € 118.191 | € 200.558 | € 310.730 | € 445.736 | € 596.571 | € 754.179 | € 907.284 | € 1.047.367 | € 1.168.830 |
| Flujo de Fondos Actualizado Acumulado | - | € 63.000 | € 181.190 | € 381.749 | € 692.479 | € 1.138.215 | € 1.734.786 | € 2.488.966 | € 3.396.249 | € 4.443.616 | € 5.612.445 |

| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| € 2.243.082 | € 2.504.974 | € 2.745.202 | € 2.961.912 | € 3.156.976 | € 3.330.458 | € 3.485.368 | € 3.623.898 | € 3.748.370 | € 3.860.223 |
| € 1.268.046 | € 1.344.541 | € 1.399.027 | € 1.433.194 | € 1.450.390 | € 1.452.775 | € 1.443.524 | € 1.425.057 | € 1.399.521 | € 1.368.455 |
| € 6.880.492 | € 8.225.033 | € 9.624.060 | € 11.057.253 | € 12.507.643 | € 13.960.418 | € 15.403.942 | € 16.828.999 | € 18.228.520 | € 19.596.975 |

9.3. SISTEMA LIDAR

1) Captación de mercado

| Año | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Factor por Inflación | 1,0000 | 1,0123 | 1,0248 | 1,0375 | 1,0503 | 1,0632 | 1,0764 | 1,0896 | 1,1031 | 1,1167 |
| Factor de crecimiento de Monitorizaciones | 150% | 120% | 96% | 77% | 61% | 49% | 39% | 31% | 25% | 20% |
| Taludes Monitorizados | | 83 | 162 | 286 | 461 | 688 | 958 | 1.260 | 1.577 | 1.894 |
| Nuevos Taludes Monitorizados | | 83 | 79 | 124 | 175 | 227 | 270 | 302 | 317 | 317 |
| % Captación | | 1,00% | 1,96% | 3,47% | 5,59% | 8,34% | 11,63% | 15,28% | 19,13% | 22,98% |

| 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1,1305 | 1,1444 | 1,1586 | 1,1729 | 1,1873 | 1,2020 | 1,2168 | 1,2318 | 1,2470 | 1,2624 | 1,2780 |
| 16% | 13% | 10% | 8% | 7% | 5% | 4% | 3% | 3% | 2% | 2% |
| 2.199 | 2.482 | 2.738 | 2.964 | 3.159 | 3.326 | 3.466 | 3.583 | 3.680 | 3.760 | 3.825 |
| 305 | 283 | 256 | 226 | 195 | 167 | 140 | 117 | 97 | 80 | 65 |
| 26,68% | 30,12% | 33,22% | 35,96% | 38,33% | 40,36% | 42,06% | 43,48% | 44,66% | 45,62% | 46,41% |

2) Previsión de Ingresos

| Año | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------|---|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Beneficios | | € 488.399,32 | € 965.024,56 | € 1.724.708,81 | € 2.814.343,30 | € 4.251.977,74 | € 5.993.692,39 | € 7.980.422,48 | € 10.111.449,77 | € 12.293.855,59 | € 14.449.730,91 |
| Beneficios totales | | € 488.399,32 | € 965.024,56 | € 1.724.708,81 | € 2.814.343,30 | € 4.251.977,74 | € 5.993.692,39 | € 7.980.422,48 | € 10.111.449,77 | € 12.293.855,59 | € 14.449.730,91 |

| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| € | € | € | € | € | € | € | € | € | € |



| | | | | | | | | | |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 16.510.594,24 | 18.438.295,39 | 20.206.538,42 | 21.801.669,15 | 23.237.465,66 | 24.514.411,49 | 25.654.651,45 | 26.674.330,41 | 27.590.524,07 | 28.413.840,72 |
| € | € | € | € | € | € | € | € | € | € |
| 16.510.594,24 | 18.438.295,39 | 20.206.538,42 | 21.801.669,15 | 23.237.465,66 | 24.514.411,49 | 25.654.651,45 | 26.674.330,41 | 27.590.524,07 | 28.413.840,72 |

3) Gastos de Explotación

| Año | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------------------------------|---|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| Equipos | | 4 | 8 | 13 | 21 | 31 | 43 | 56 | 70 | 84 | 98 |
| Equipos Nuevos | | 4 | 4 | 5 | 8 | 10 | 16 | 17 | 19 | 22 | 24 |
| Gastos por Equipamiento | | € 319.080,00 | € 319.080,00 | € 398.850,00 | € 638.160,00 | € 797.700,00 | € 1.276.320,00 | € 1.356.090,00 | € 1.515.630,00 | € 1.754.940,00 | € 1.914.480,00 |
| Gastos por Servicio de Monitoreo | | € 369.958,18 | € 730.997,60 | € 1.306.451,72 | € 2.131.840,24 | € 3.220.835,66 | € 4.540.169,16 | € 6.045.099,69 | € 7.659.334,08 | € 9.312.487,26 | € 10.945.543,80 |
| Gastos totales | | € 689.038,18 | € 1.050.077,60 | € 1.705.301,72 | € 2.770.000,24 | € 4.018.535,66 | € 5.816.489,16 | € 7.401.189,69 | € 9.174.964,08 | € 11.067.427,26 | € 12.860.023,80 |

| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 110 | 122 | 132 | 141 | 148 | 154 | 159 | 164 | 167 | 170 |
| 28 | 29 | 29 | 31 | 31 | 34 | 34 | 34 | 34 | 34 |
| € 2.233.560,00 | € 2.313.330,00 | € 2.313.330,00 | € 2.472.870,00 | € 2.472.870,00 | € 2.712.180,00 | € 2.712.180,00 | € 2.712.180,00 | € 2.712.180,00 | € 2.712.180,00 |
| € 12.506.629,62 | € 13.966.846,25 | € 15.306.274,76 | € 16.514.572,23 | € 17.602.175,43 | € 18.569.450,64 | € 19.433.172,36 | € 20.205.570,18 | € 20.899.578,81 | € 21.523.233,91 |
| € 14.740.189,62 | € 16.280.176,25 | € 17.619.604,76 | € 18.987.442,23 | € 20.075.045,43 | € 21.281.630,64 | € 22.145.352,36 | € 22.917.750,18 | € 23.611.758,81 | € 24.235.413,91 |

4) Flujo de caja

| Año | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------------|---|-------------------|------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| Flujo neto de caja (FNC) | | € - 200.638,86 | € - 85.053,04 | € 19.407,09 | € 44.343,05 | € 233.442,08 | € 177.203,23 | € 579.232,79 | € 936.485,69 | € 1.226.428,34 | € 1.589.707,10 |

| | | | | | | | | | | |
|-----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|--------------|--------------|
| Aportación de Capital | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Tesorería Anual | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Tesorería Acumulada | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 200.638,86 | 85.053,04 | 19.407,09 | 44.343,05 | 233.442,08 | 177.203,23 | 579.232,79 | 936.485,69 | 1.226.428,34 | 1.589.707,10 |
| | 200.638,86 | 285.691,90 | 266.284,81 | 221.941,76 | 11.500,32 | 188.703,55 | 767.936,34 | 1.704.422,03 | 2.930.850,37 | 4.520.557,47 |

| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| € | € | € | € | € | € | € | € | € | € |
| 1.770.404,62 | 2.158.119,14 | 2.586.933,66 | 2.814.226,92 | 3.162.420,23 | 3.232.780,85 | 3.509.299,09 | 3.756.580,23 | 3.978.765,26 | 4.178.426,81 |
| - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 1.770.404,62 | 2.158.119,14 | 2.586.933,66 | 2.814.226,92 | 3.162.420,23 | 3.232.780,85 | 3.509.299,09 | 3.756.580,23 | 3.978.765,26 | 4.178.426,81 |
| 6.290.962,09 | 8.449.081,24 | 11.036.014,90 | 13.850.241,82 | 17.012.662,05 | 20.245.442,90 | 23.754.742,00 | 27.511.322,22 | 31.490.087,49 | 35.668.514,29 |

5) Flujos de fondo

| Año | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------------------------------------|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|
| Flujo de Fondos | € | -€ | -€ | € | € | € | € | € | € | € | € |
| | - | 200.639 | 85.053 | 19.407 | 44.343 | 233.442 | 177.203 | 579.233 | 936.486 | 1.226.428 | 1.589.707 |
| Flujo de Fondos Actualizado | € | -€ | -€ | € | € | € | € | € | € | € | € |
| | - | 190.500 | 76.675 | 16.611 | 36.037 | 180.129 | 129.825 | 402.921 | 618.512 | 769.078 | 946.512 |
| Flujo de Fondos Actualizado Acumulado | € | -€ | -€ | -€ | -€ | -€ | € | € | € | € | € |
| | - | 190.500 | 267.175 | 250.564 | 214.527 | 34.398 | 95.427 | 498.347 | 1.116.860 | 1.885.938 | 2.832.450 |

| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| € | € | € | € | € | € | € | € | € | € |
| 1.770.405 | 2.158.119 | 2.586.934 | 2.814.227 | 3.162.420 | 3.232.781 | 3.509.299 | 3.756.580 | 3.978.765 | 4.178.427 |
| € | € | € | € | € | € | € | € | € | € |
| 1.000.835 | 1.158.367 | 1.318.369 | 1.361.732 | 1.452.891 | 1.410.168 | 1.453.435 | 1.477.233 | 1.485.544 | 1.481.258 |
| € | € | € | € | € | € | € | € | € | € |
| 3.833.285 | 4.991.652 | 6.310.021 | 7.671.753 | 9.124.645 | 10.534.812 | 11.988.247 | 13.465.480 | 14.951.024 | 16.432.282 |

9.4. SISTEMA FOTOGRAMÉTRICO

1) Captación de mercado

| Año | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Factor por Inflación | 1,0000 | 1,0123 | 1,0248 | 1,0375 | 1,0503 | 1,0632 | 1,0764 | 1,0896 | 1,1031 | 1,1167 | 1,1305 |
| Factor de crecimiento taludes monitorizados | 150% | 120% | 96% | 77% | 61% | 49% | 39% | 31% | 25% | 20% | 16% |
| Taludes monitorizados | | 83 | 162 | 286 | 461 | 688 | 958 | 1.260 | 1.577 | 1.894 | 2.199 |
| Nuevos Taludes monitorizados | | 83 | 79 | 124 | 175 | 227 | 270 | 302 | 317 | 317 | 305 |
| % Captación | | 1,00% | 1,96% | 3,47% | 5,59% | 8,34% | 11,63% | 15,28% | 19,13% | 22,98% | 26,68% |

| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1,1444 | 1,1586 | 1,1729 | 1,1873 | 1,2020 | 1,2168 | 1,2318 | 1,2470 | 1,2624 | 1,2780 |
| 13% | 10% | 8% | 7% | 5% | 4% | 3% | 3% | 2% | 2% |
| 2.482 | 2.738 | 2.964 | 3.159 | 3.326 | 3.466 | 3.583 | 3.680 | 3.760 | 3.825 |
| 283 | 256 | 226 | 195 | 167 | 140 | 117 | 97 | 80 | 65 |
| 30,12% | 33,22% | 35,96% | 38,33% | 40,36% | 42,06% | 43,48% | 44,66% | 45,62% | 46,41% |

2) Previsión de Ingresos

| Año | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------|---|--------------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Beneficios | | € 488.399 | € 965.025 | € 1.724.709 | € 2.814.343 | € 4.251.978 | € 5.993.692 | € 7.980.422 | € 10.111.450 | € 12.293.856 | € 14.449.731 |
| Beneficios totales | | € 488.399 | € 965.025 | € 1.724.709 | € 2.814.343 | € 4.251.978 | € 5.993.692 | € 7.980.422 | € 10.111.450 | € 12.293.856 | € 14.449.731 |

| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| € 16.510.594 | € 18.438.295 | € 20.206.538 | € 21.801.669 | € 23.237.466 | € 24.514.411 | € 25.654.651 | € 26.674.330 | € 27.590.524 | € 28.413.841 |
| € 16.510.594 | € 18.438.295 | € 20.206.538 | € 21.801.669 | € 23.237.466 | € 24.514.411 | € 25.654.651 | € 26.674.330 | € 27.590.524 | € 28.413.841 |

3) Gastos de Explotación

| Año | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------------------------------|---|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| Equipos | | 4 | 8 | 13 | 21 | 31 | 43 | 56 | 70 | 84 | 98 |
| Equipos Nuevos | | 4 | 4 | 5 | 8 | 10 | 16 | 17 | 19 | 22 | 24 |
| Gastos por Equipamiento | | € 36.680,00 | € 36.680,00 | € 45.850,00 | € 73.360,00 | € 91.700,00 | € 146.720,00 | € 155.890,00 | € 174.230,00 | € 201.740,00 | € 220.080,00 |
| Gastos por Servicio de Monitoreo | | € 408.147,19 | € 806.454,98 | € 1.441.310,47 | € 2.351.899,88 | € 3.553.307,08 | € 5.008.829,04 | € 6.669.106,34 | € 8.449.970,40 | € 10.273.770,64 | € 12.075.399,79 |
| Gastos totales | | € 444.827,19 | € 843.134,98 | € 1.487.160,47 | € 2.425.259,88 | € 3.645.007,08 | € 5.155.549,04 | € 6.824.996,34 | € 8.624.200,40 | € 10.475.510,64 | € 12.295.479,79 |

| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 110 | 122 | 132 | 141 | 148 | 154 | 159 | 164 | 167 | 170 |
| 28 | 29 | 29 | 31 | 31 | 34 | 34 | 34 | 34 | 34 |
| € 256.760,00 | € 265.930,00 | € 265.930,00 | € 284.270,00 | € 284.270,00 | € 311.780,00 | € 311.780,00 | € 311.780,00 | € 311.780,00 | € 311.780,00 |
| € 13.797.629,00 | € 15.408.576,78 | € 16.886.268,08 | € 18.219.292,30 | € 19.419.163,56 | € 20.486.285,95 | € 21.439.165,52 | € 22.291.294,27 | € 23.056.942,07 | € 23.744.974,10 |
| € 14.054.389,00 | € 15.674.506,78 | € 17.152.198,08 | € 18.503.562,30 | € 19.703.433,56 | € 20.798.065,95 | € 21.750.945,52 | € 22.603.074,27 | € 23.368.722,07 | € 24.056.754,10 |

4) Flujo de caja

| Año | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------------|--------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Flujo neto de caja (FNC) | | € 43.572,13 | € 121.889,59 | € 237.548,34 | € 389.083,41 | € 606.970,66 | € 838.143,35 | € 1.155.426,15 | € 1.487.249,37 | € 1.818.344,95 | € 2.154.251,12 |
| Aportación de Capital | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - | € - |
| Tesorería Anual | € - | € 43.572,13 | € 121.889,59 | € 237.548,34 | € 389.083,41 | € 606.970,66 | € 838.143,35 | € 1.155.426,15 | € 1.487.249,37 | € 1.818.344,95 | € 2.154.251,12 |
| Tesorería Acumulada | € - | € 43.572,13 | € 165.461,72 | € 403.010,06 | € 792.093,47 | € 1.399.064,14 | € 2.237.207,48 | € 3.392.633,63 | € 4.879.883,01 | € 6.698.227,95 | € 8.852.479,07 |

| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| € 2.456.205,24 | € 2.763.788,60 | € 3.054.340,34 | € 3.298.106,85 | € 3.534.032,10 | € 3.716.345,54 | € 3.903.705,93 | € 4.071.256,14 | € 4.221.802,00 | € 4.357.086,62 |
| € - |
| € 2.456.205,24 | € 2.763.788,60 | € 3.054.340,34 | € 3.298.106,85 | € 3.534.032,10 | € 3.716.345,54 | € 3.903.705,93 | € 4.071.256,14 | € 4.221.802,00 | € 4.357.086,62 |
| € 11.308.684,32 | € 14.072.472,92 | € 17.126.813,26 | € 20.424.920,12 | € 23.958.952,22 | € 27.675.297,75 | € 31.579.003,68 | € 35.650.259,83 | € 39.872.061,82 | € 44.229.148,44 |

5) Flujos de fondo

| Año | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-----------------------------|---|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Flujo de Fondos | - | 43.572,13 | 121.889,59 | 237.548,34 | 389.083,41 | 606.970,66 | 838.143,35 | 1.155.426,15 | 1.487.249,37 | 1.818.344,95 | 2.154.251,12 |
| Flujo de Fondos Actualizado | - | 41.370,40 | 109.882,47 | 203.326,84 | 316.203,25 | 468.351,82 | 614.049,97 | 803.726,91 | 982.270,30 | 1.140.261,33 | 1.282.641,69 |



| | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|---|-----------|------------|------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Flujo de Fondos Actualizado Acumulado | - | 41.370,40 | 151.252,87 | 354.579,71 | 670.782,96 | 1.139.134,78 | 1.753.184,75 | 2.556.911,66 | 3.539.181,96 | 4.679.443,30 | 5.962.084,99 |
|---------------------------------------|---|-----------|------------|------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|

| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 2.456.205,24 | 2.763.788,60 | 3.054.340,34 | 3.298.106,85 | 3.534.032,10 | 3.716.345,54 | 3.903.705,93 | 4.071.256,14 | 4.221.802,00 | 4.357.086,62 |
| 1.388.527,81 | 1.483.459,35 | 1.556.571,81 | 1.595.869,44 | 1.623.618,64 | 1.621.102,69 | 1.616.785,62 | 1.600.975,45 | 1.576.285,97 | 1.544.593,65 |
| 7.350.612,80 | 8.834.072,15 | 10.390.643,96 | 11.986.513,40 | 13.610.132,03 | 15.231.234,72 | 16.848.020,34 | 18.448.995,79 | 20.025.281,75 | 21.569.875,40 |