

# BIM EN LA GESTIÓN DE LA CADENA DE VALOR DE LA EJECUCIÓN DE LA CARRETERA

### **JUAN PÉREZ ROMERO**

Departamento Proyectos e I+D+i de BECSA  
jperez@becsa.es

### **FRANCISCO JOSÉ VEA FOLCH**

Departamento Proyectos e I+D+i de BECSA  
jperez@becsa.es

# BIM EN LA GESTIÓN DE LA CADENA DE VALOR DE LA EJECUCIÓN DE LA CARRETERA

## RESUMEN

El proceso de diseño de infraestructuras y posterior ejecución dentro de una empresa constructora no se encuentran automatizados. La planificación se genera en base a la experiencia del jefe de obra replanificando “sobre la marcha”. BECSA, ante su estrategia de transformación digital, está desarrollando una plataforma software que conecta y transforma los flujos de información del diseño de la infraestructura con los procesos de planificación integrando a todos los actores de la cadena de suministro, y además permite capturar información del estado de ejecución real de la obra (conectando el mundo físico con el mundo digital), que sirve como input para los procesos de coordinación de la misma. En concreto, se ha desarrollado para la ejecución de firmes bituminosos. Se parte de un modelo BIM de diseño del que se capturan datos de forma automática y se transforman en información útil para procesos de planificación de obra y fabricación, como pedidos de materiales. Además, la monitorización en tiempo real de parámetros clave de la mezcla de asfalto durante su cadena de suministro (temperatura, tiempos, etc.) permite tomar decisiones en la propia obra y en la planta de asfaltos para replanificar actividades de acuerdo a necesidades y en tiempo real.

## 1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, en el sector de la construcción, los flujos de información del proceso de diseño de infraestructuras (estudio de arquitectura/ingeniería) y el proceso de ejecución de obra (empresa constructora con medios propios de construcción o capacidad para subcontratar algunas operaciones a especialistas) no se encuentran automatizados ni

siquiera integrados. La responsabilidad de generar la planificación y coordinación del proyecto de ejecución de la obra recae sobre la empresa constructora, y en última instancia, sobre la figura del jefe de obra, que suele ser una persona con una amplia experiencia en el mundo de la construcción y que, gracias a ello, posee la capacidad de planificar un calendario de operaciones en el orden secuencial más lógico y económico posible, así como de coordinarse con los diferentes actores de la cadena de suministro. El proceso de planificación de obra recibe los inputs del diseño de la infraestructura (que no contiene el nivel de detalle para la toma de decisiones), pero se genera en base a la experiencia y saber hacer individual del jefe de obra, responsable además de hacer frente a los imprevistos (información de diseño errónea, retrasos en entrega de materiales, problemas de calidad, etc.) replanificando “sobre la marcha” la ejecución de la obra y coordinando la ejecución de actividades, uso de recursos y suministro de materiales. Esta situación provoca retrasos, duplicidad de actividades y tiempos de espera, generando sobrecostes en la ejecución de la obra respecto de lo presupuestado.

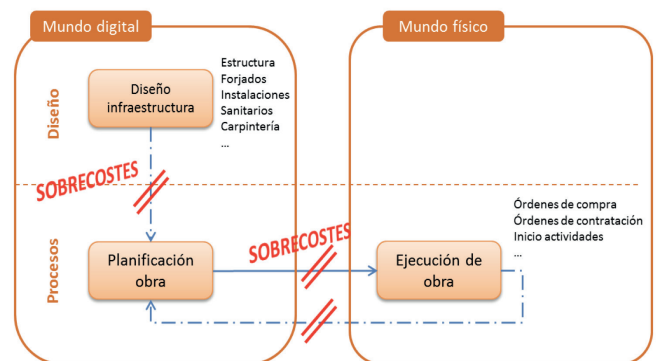


Fig. 1. Desconexión entre diferentes flujos de información. Fuente: Elaboración propia. (2018).

La plataforma AUTOPRO-2, desarrollada por BECSA con el apoyo de la Agència Valenciana de la Innovació (AVI), en colaboración con la empresa 2aCAD y el instituto AIDIMME, pretende abordar esta problemática general, mejorando la eficiencia del proceso de ejecución de obra de los proyectos de construcción (reducción de plazos, costes, y errores). El objeto de la plataforma es conectar y transformar los flujos de información del diseño de la infraestructura con los procesos de planificación integrando a todos los actores de la cadena de suministro (fabricantes de materiales, transporte, ejecución de obra, etc.), no solo en su etapa inicial, sino que además permita capturar información del estado de ejecución real de la obra (conectando el mundo físico con el mundo digital), de forma que sirva como input para los procesos de coordinación de la misma. El desarrollo de la plataforma se centra en el proceso de ejecución de firmes bituminosos. Actualmente la plataforma se encuentra en fase piloto en diferentes experiencias analizando el impacto directo en la eficiencia y rentabilidad directa en la gestión de la cadena de valor de la ejecución de carreteras. El proceso de ejecución de firmes bituminosos parte de un diseño de la infraestructura BIM donde se dispone de un conjunto de datos e información de diseño.

datos de entrada. El primer tipo de datos de entrada es un diseño de la infraestructura que es la expresión ordenada en el espacio de un conjunto de objetos definidos sin ambigüedades en tres dimensiones y que esté basado en la metodología BIM ("Building Information Model" o Modelo de Información de la Construcción) que tendrá una descripción geométrica tridimensional y las características de los materiales empleados para su fabricación, así como el conocimiento de operaciones y recursos necesarios para la construcción con respecto a las operaciones y procesos que a fecha de hoy no incorpora por el desarrollo de implantación del BIM en el sector. El segundo tipo de datos de entrada pretende conectar el mundo físico con el mundo digital al incorporar la información de ejecución real de la obra, que incluye tiempos (y retrasos de forma indirecta), errores, problemas de calidad, parámetros de proceso (temperatura, presión, etc.) que una vez procesada por la plataforma permite una coordinación dinámica de la ejecución de la obra.

## 2. EL SISTEMA DE PLANIFICACIÓN DEL PROCESO DE ASFALTOS

El sistema de planificación en una empresa constructora en los procesos de ejecución de firmes bituminosos, requiere combinar la planificación de actividades propias de obra con actividades de producción de aglomerado de forma sincronizada. En estas actividades tenemos recursos comunes a ambas actividades como son los vehículos de transporte (camiones) que entregan el aglomerado fabricado en las plantas a las diferentes obras, y recursos que son "consumidos" de forma exclusiva por cada una de las dos actividades (por ejemplo maquinaria en la obra, y áridos /betún en las plantas) cuya gestión afecta en la ejecución de la otra actividad. La plataforma AUTOPRO-2 para la planificación del proceso de asfaltos genera información y resultados de salida que ayuda a los responsables de BECSA a la toma de decisiones de forma dinámica:

- Programación: fechas de inicio y fin las obras.

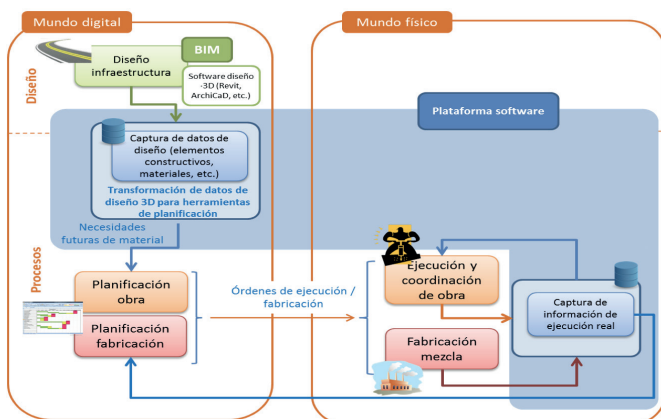


Fig. 2. Esbozo resultados del proyecto Fuente: Elaboración propia. (2018).

Para que sea posible este proceso inteligente, se necesita la existencia de dos tipologías de base de

- Previsión de cargas: cantidad de mezcla bituminosa necesarias por semana en cada planta de aglomerado y para cada obra.
- Planificación de adquisición de recursos: necesidades de material que se van a consumir (áridos y betunes).
- Informes de actividad: Reporte con estadísticos clave de cada día.
- Modelo BIM de ejecución: Los datos recogidos de la obra permitirán realimentar el diseño de la obra en el modelo BIM inicial, que refleje la ejecución real para su consulta en tiempo real.

Esta información debe retroalimentarse en la plataforma en un proceso dinámico e iterativo de gestión necesitando:

- Estudio previo: camiones planificados, las toneladas a extender diariamente, la superficie total, el equipo adscrito, planta de asfaltado asociada.
- Partes diarios: informe del punto kilométrico (PK) de inicio y fin de asfaltado, así como temperatura del compuesto, el tiempo de actuación o la cantidad de toneladas de mezcla extendida.
- Albaranes de fábrica: cantidad de camiones y aglomerado utilizados.

### **3. ANÁLISIS DE ESTRUCTURA DE INFORMACIÓN DE UN PROYECTO BIM**

#### **3.1. Objeto del proyecto BIM en la plataforma**

Para poder aportar la información necesaria a la plataforma AUTOPRO-2, se hace necesario identificar la información contenida en el proyecto bajo la metodología BIM relacionadas con la estructura de información de los inputs de la plataforma, así como su vinculación con el análisis de la estructura de datos para la planificación y gestión del proyecto, con el objeto de que los flujos de trabajo

del diseño y de la ejecución sean fluidos y eficaces, mejorando la eficiencia del proceso de ejecución de obra de los proyectos de construcción (reducción de plazos, costes, y errores).

El proyecto BIM para infraestructuras, debe tener dos elementos principales, un entorno de colaboración (EdC) y un nivel de detalle o desarrollo adecuado (LOD). Para ello, la unidad BIM de BECSA ha desarrollado un nivel LOD para los proyectos de infraestructuras del negocio de asfaltos, que permita:

- Quede reflejada el tipo y espesor de la mezcla bituminosa o similar a ejecutar.
- Extensión de la ejecución.
- Planificación de la ejecución de la obra
- ...

Todos estos requerimientos quedan especificados en un BIM Execution Plan (BEP). Cada proyecto tendrá su entorno de colaboración (EdC) en un sistema integrado de gestión. La necesidad de cualquier empresa constructora para el uso proyectos desarrollados con modelos BIM y que pretende abordar la plataforma AUTOPRO-2 son:

- Herramienta que reduzca el proceso de estudio y solicitud de ofertas.
- Permite detectar errores significativos o carencias importantes a nivel estudio.
- Herramienta que permita una mejor comunicación con el cliente.
- Se busca la mejora de la planificación de las actividades de la obra.
- Mejorar el control del avance de las partidas de las obras.
- Conectar el avance con certificaciones
- Conectar ejecución de familias con proveedores. Plan de aprovisionamiento.

Actualmente, las organizaciones en proceso de implantación de BIM tienen carencias en cuanto

a la integración de información que permita un trabajo colaborativo entre los procesos de diseño de infraestructuras y los procesos de planificación ejecución de obra. Para ello se ha programado un desarrollo específico, para poder unificar de manera automática los principales softwares de diseño y revisión de proyectos BIM como son Autodesk Civil 3D y Navisworks, con la que de manera automática se crea una relación dinámica entre las fases de creación y diseño de proyectos con el control de la ejecución y planificación. De esta forma es posible obtener:

- Estimaciones de cantidades de mezclas con mayor precisión.
- Obtención de un registro histórico.
- Se evitan los errores en la cadena de elementos asociados al proyecto, como las plantas de aglomerado, que ahora se sabe con exactitud qué tipo de mezcla se va a extender, que día y en qué cantidad.

### 3.2. Estructura del proyecto BIM en la plataforma

Tras un análisis de los elementos principales del proceso de ejecución de firmes bituminosos, se identifican las necesidades del diseño de infraestructura que van ligadas a las diferentes actividades que recoge la plataforma. El análisis consiste en:

- Recapitulación de la información necesaria del Modelo BIM: tipo y espesor de firme especificado, volumen específico para cada material de extendido
- Creación de información de la planificación: actividades a desarrollar diariamente, definición de los PKs a ejecutar cada día, material de ejecución y programación de las tareas, rendimiento de los equipos de extendido
- Generación de información de la Plataforma digital de BECSA,
  - Partes diarios de la obra ejecutada,

- información extra que se desee que quede reflejada en el modelo para ese día de ejecución, como número de camiones, climatología, etc.

Para la máxima automatización de los procesos, se usan los mismos códigos en el modelo BIM que en la plataforma de BECSA, para así, poder dotar de total integración entre las partes.

### 3.3. Fase de estudio de proyecto

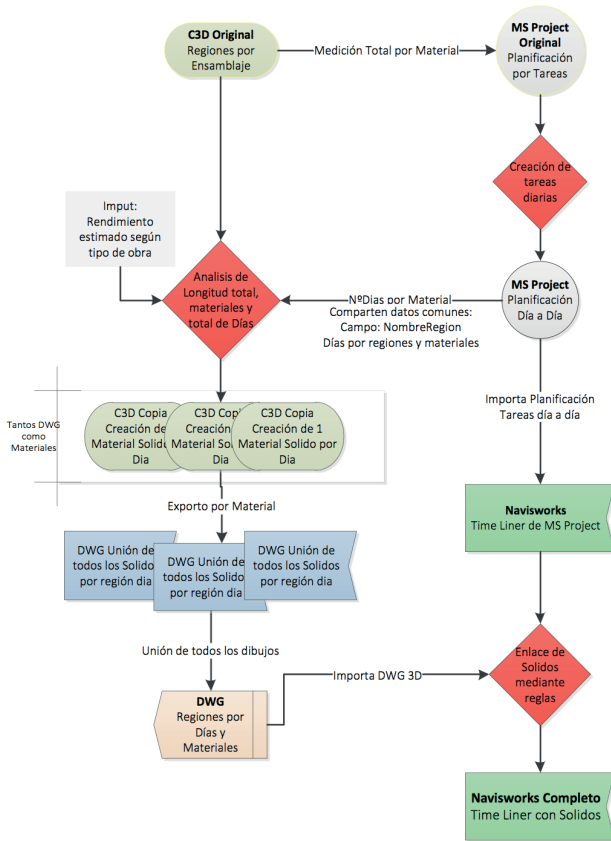
En la fase de estudio de proyecto se prepara el modelo para su posible construcción, evaluando las diferentes alternativas de construcción obteniendo:

- Una evaluación de alternativas constructivas al proyecto antes de la ejecución.
- Un estudio previo que se actualiza de manera automática con la información de Proyecto.
- Evaluación de las necesidades de plantas de aglomerado.
- Mayor agilidad para planificar semanalmente las obras a ejecutar, eliminando las estimaciones o información sin contrastar.

El proyecto se inicia con un modelo BIM de la obra u obras a ejecutar, que contiene toda la información necesaria y el nivel de detalle adecuado para las necesidades de la ejecución en obra. Al final de esta fase se obtiene:

- La planificación de la obra distribuida de diariamente es el primer Input con el que se inicia la programación del Modelo BIM.
- Análisis de la planificación, según materiales a ejecutar y longitud de la obra.
- Vinculación de todos los materiales de la obra en un solo modelo en 3D, que contiene elementos sólidos de cada capa de material y cada uno de ellos estará dividido en tantas partes como días estimados de ejecución se hayan planificado.

- En Navisworks se unen los sólidos (diseño BIM) con la planificación estimada permitiendo evaluar de manera conjunta y en 4 dimensiones la futura construcción de la obra, de forma que es posible evaluar diferentes alternativas de ejecución.



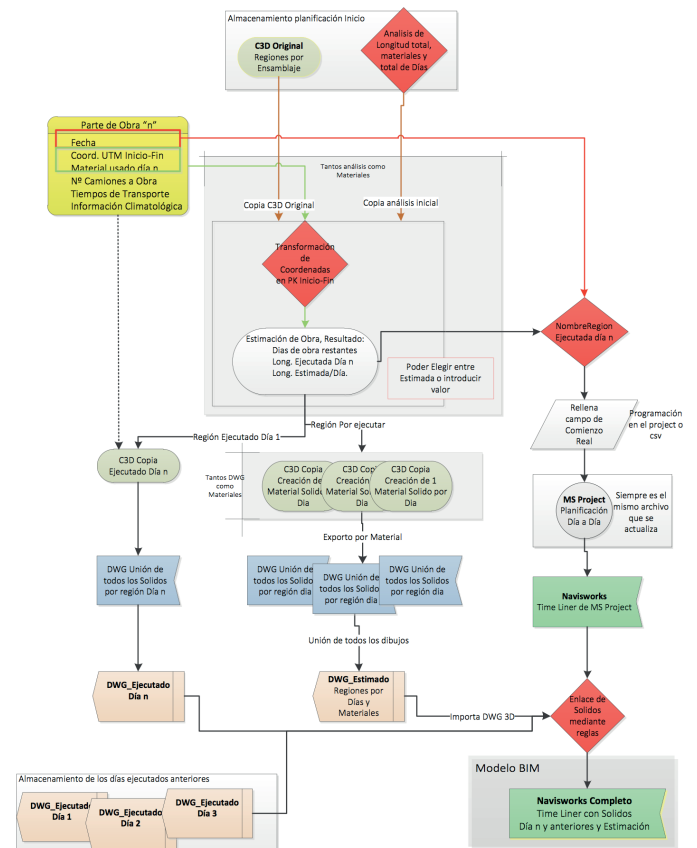
Esquema 1. Flujo de trabajo en fase de inicio de proyecto. Fuente: Elaboración Propia. (2018).

### 3.4. Fase de inicio de ejecución

Una vez iniciada la obra, la información de planificación realizada debe actualizarse con datos reales procedente de los partes de obra de la ejecución real (mundo físico), añadiendo esa información al modelo, estimando rendimientos y avances para los días siguientes. De esta forma, la obra se reprograma en función de lo ejecutado cada día, actualizando por ejemplo las fechas de finalización. El proyecto se inicia con la información del modelo BIM, completando la información

con datos reales con la siguiente secuencia:

- El primer día de obra real, al finalizar los trabajos, el Jefe de obra, envía (como sucede actualmente) un parte de obra, que resume las actuaciones del día.
- Con la información del Parte, material extendido ese día y avance de la obra (PK final de la ejecución), la solución se estima entre otros datos:
  - Días de obra restantes (en comparación con los estimados) para el rendimiento de ese día.
  - Longitud de extendido de ese día.
  - Longitud de extendido para los días siguientes.



Esquema 2. Flujo de trabajo en fase de ejecución y cierre. Fuente: Elaboración Propia. (2018).

- Con esa información se procede a realizar dos acciones:
  - Obra ejecutada: Para ese día, queda en el modelo registrado aquello que se ejecutado en obra.
  - Obra por ejecutar: se repite el proceso de estimación para los días siguientes, mediante corrección de estimaciones al tener información real de rendimientos.
- Como resultado obtenemos un modelo BIM en el que tenemos la información de lo que ha sucedido a diario en la obra, con estimaciones para los días posteriores, analizando desviaciones entre lo estimado y lo realizado, etc.
- Sobre este modelo, las demás aplicaciones de BECSA pueden recoger información del proyecto, para poder estimar diversas previsiones, como de acopios en las plantas de aglomerados, previsiones de cargas, etc.

### 3.5 Fase de ejecución y finalización

A partir del análisis anterior, donde van quedado registrados todos los inputs del día a día de la obra en el Modelo se pueden extraer conclusiones a escala macro, coordinándose con varios proyectos para poder saber las estimaciones mensuales o semanales, establecer acopios, rendimientos, etc. En esta fase el proyecto continúa ejecutándose, de forma similar al punto anterior, solo que en esta fase, se definen nuevos parámetros que mejora las previsiones de programación y se dispone de la información de lo realizado hasta ese momento, y de la restante para terminar la obra.

## 4. OUTPUTS BIM DE EJECUCIÓN DE OBRA HACIA LA PLANIFICACIÓN

### 4.1. Retroalimentación de la planificación de obra BIM

La información facilitada por el encargado de obra mediante el registro del parte diario, sirve para generar la retroalimentación de la obra del modelo

BIM real de ejecución actualizando la planificación inicial de la obra. El sistema recoge diariamente la información en forma de coordenadas del punto kilométrico (PK) de inicio y el punto de fin del proceso de asfaltado de un día concreto, así como las toneladas extendidas, lo que permite definir el modelo digital para comprobar la evolución diaria de la obra. El modelo de ejecución real almacena también datos como la temperatura del asfalto que se genera o el material de cada una de las capas de asfaltado, permitiendo así la revisión de la ejecución en cualquier momento.

### 4.2. Retroalimentación de la previsión de cargas

Las desviaciones registradas en el parte diario deben de realimentar la previsión de cargas en la medida que implican un consumo menor de toneladas día, o retrasos en la ejecución de las obras. En concreto la localización, el equipo y planta asignada, el material a extender y las toneladas reales extendidas. Con el dato de toneladas reales extendidas se puede llevar a cabo una revisión de las necesidades de fabricación futuras y modificar la fecha de finalización de una obra o la toneladas/día a fabricar en una determinada planta.

## 5. PRUEBA PILOTO DE LA PLATAFORMA EN EJECUCIÓN REAL DE OBRA

### 5.1. Introducción

La plataforma AUTOPRO-2, mediante prueba piloto, actualmente está siendo testada. A continuación se remarcan aquellos aspectos relacionados con la metodología BIM, así como la experiencia de usuarios encargados de generar los diferentes outputs de la plataforma.

### 5.2. Documentación inicial del diseño del proyecto

El contenido de la documentación inicial del diseño del proyecto es:

- Modelo BIM en Civil 3D, este modelo contiene toda la información necesaria y el ni-



vel de detalle adecuado para las necesidades de la ejecución en obra.

- Creación de una planificación de ejecución diaria; según los rendimientos y otros factores, las distancias a ejecutar cada día, de forma que se crean unos PKs de finalización para cada material y día.

### 5.3. Ejecución automática de la solución

La ejecución automática de la solución consiste en:

- Análisis mediante programación de las características de la Obra.
- Análisis de la planificación, según materiales a ejecutar y longitud de la obra.
- Archivos discretizados por días.
- Este modelo BIM se exporta para poder realizar las conexiones necesarias entre materiales, mediante un desarrollo programado.
- Archivos de planificación
- Finalmente se obtiene un archivo de gestión de la planificación a partir de:
  - Unión en un solo archivo de integración con Navisworks.

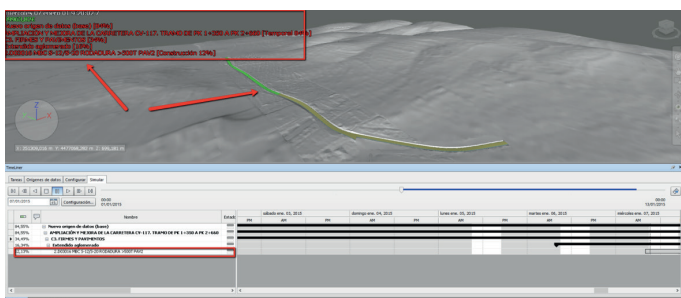


Fig. 3 Modelo BIM 5D, preconstrucción. Fuente: Elaboración Propia. (2018).

- Vinculación de sólidos (obra que se va a ejecutar) con la planificación.
- Obtención de un modelo 3D con la Planificación.

### 5.4. Programación 20/30 días

La programación a 20/30 días vista se realiza de forma semanal, y en ella se asigna fecha de inicio a nuevas obras. Esta programación se genera a partir de la información del estudio previo y de la planificación previa. Con ello los usuarios consiguen una visualización conjunta y secuenciada en el tiempo de todas las obras a las que se les asigna una fecha de inicio. Además se puede identificar el volumen de carga de trabajo asignado a cada equipo evitando saturaciones y la toma de decisiones ágiles con el ahorro de tiempo en la generación de la programación de la organización.

### 5.5. Previsión de cargas

La programación de cargas se realiza por parte de la empresa de forma semanal, indicando las cantidades a ejecutar en obra y fabricar en planta. Esta programación se genera a partir de la información del estudio previo de cada obra, la asignación que se había hecho a plantas, y la fecha de inicio registrada en la programación a 20/30 días.

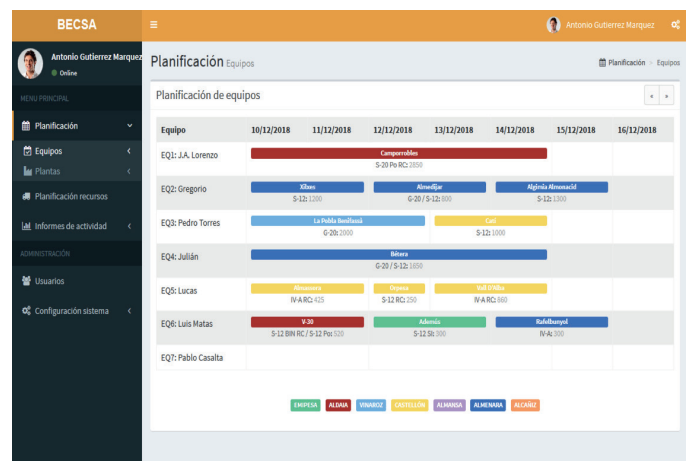


Fig4 . Frontend de la previsión de cargas. Fuente: Elaboración Propia. (2018).

### 5.6. Captura de datos en obra

La captura de datos en obra se realiza a partir de una APP. El Jefe de equipo o la persona responsable realiza esta acción a la finalización de la jornada indicando la posición exacta del fin del asfaltado para ese día. Esta información se queda



disponible en la plataforma completando el ciclo y la retroalimentación con el sistema BIM.

### 5.7. Retroalimentación del modelo BIM de planificación/ejecución de una obra

En esta fase, se cierra el proceso de planificación uniendo la ejecución real con la planificada, uniendo el mundo digital de un diseño asistido por ordenador con la realidad de la construcción. Todo, de la recepción de partes de obra de la ejecución real (mundo físico), y se añade esa información al modelo y se estiman rendimientos y avances para los días siguientes. Con esta información se pueden extraer conclusiones a escala macro, de varios proyectos para poder saber las estimaciones mensuales o semanales, establecer acopios, rendimientos, etc. Además, el Modelo contiene toda la información actualizada de lo sucedido cada día de obra.

## CONCLUSIONES

La empresa BECSA está desarrollando un nuevo sistema para mejorar la eficiencia de los proyectos de construcción mediante la monitorización y automatización de procesos productivos. Se trata de una innovadora plataforma de software, que permite rebajar los plazos y costes en los proyectos de construcción, reduciendo a la mínima expresión los posibles errores. Actualmente, el proceso de construcción genera sobrecostes en la ejecución de la obra respecto de lo presupuestado, debido a los retrasos, duplicidad de actividades, tiempos de espera y en general en una deficiente concepción entre la idea de proyecto y la construcción.

El objetivo general del proyecto se centra en esta problemática general, mejorando la eficiencia del proceso de ejecución de obra de los proyectos de construcción (reducción de plazos, costes, y errores).

Con esta iniciativa, BECSA conecta en la plataforma los flujos de información del diseño de la infraestructura con la fase de planificación, integrando a todos los actores de la cadena de suministro, desde fabricantes de materiales a transpor-

tistas, así como la captura de datos del estado de ejecución real de la obra, lo que representa una valiosa fuente de información para optimizar la coordinación de los trabajos.

## 11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- **BECSA (2018)**. AVI Programa Consolidación de la cadena de Valor empresarial. "AUTOPRO-2, Desarrollo de un sistema para la monitorización y automatización de los procesos productivos en la construcción".
- **COMISIÓN es.BIM**. Implantación de BIM en España. <<http://www.esbim.es/>> [Consulta: 8 de enero de 2018].
- **INFRAESTRUCTURES.CAT**. GUBIMCLASS. Sistema de classificació BIM d'elements "per funció". <<http://infraestructures.gen-cat.cat/?page=bim>> [Consulta: 15 de enero de 2018].