

# IASF HERRAMIENTA DE OPTIMIZACIÓN EN FABRICACIÓN, TRANSPORTE Y EJECUCIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

### **JOSÉ RAMÓN ALBERT GARCÍA**

Pavasal Empresa Constructora, S.A.U.  
jralbert@pavasal.com

### **JOSÉ RAMÓN LÓPEZ MARCO**

Pavasal Empresa Constructora, S.A.U.  
jrlopez@pavasal.com

### **JESÚS FELIPO SANJUÁN**

Pavasal Empresa Constructora, S.A.U.  
jfelipo@pavasal.com

---

# IASF

## HERRAMIENTA DE OPTIMIZACIÓN EN FABRICACIÓN, TRANSPORTE Y EJECUCIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

---

### RESUMEN

La digitalización global en el ámbito de la construcción parecía una quimera debido a la alta variabilidad en las etapas constituyentes. La producción, transporte y ejecución de las mezclas asfálticas no es ajeno a esta problemática debido a la gran cantidad de variables que implican el proceso, todas ellas dependientes entre sí, lo que conlleva una evaluación de todas ellas en conjunto, lo que unido a la interdependencia asociada y la gran cantidad de datos, hace que un tratamiento tradicional no soluciona el problema. Esto es así hasta la llegada de la Inteligencia Artificial (IA).

La planificación de producción, transporte u fabricación normalmente se realiza en la jornada de antes a la jornada de la ejecución (día N-1). En ella, se calculan los viajes necesarios con el material adecuado para cada una de las obras a ejecutar en el día N. Con ello se planifica la producción en la planta y el transporte necesario, intentando obtener un ritmo de fabricación constante, minimizando el número de paradas posibles dentro de la fabricación. Sin embargo, cualquier pequeño cambio hace que el sistema planificado se desvíe de la previsión.

Por ello, se desarrolló una herramienta IA adaptada al proceso de la fabricación, transporte y ejecución de mezclas asfálticas para obtener óptimos en planificación durante la jornada N-1 y una digitalización de todo el proceso para poder actuar en la jornada N en tiempo real.

Se integraron los datos suministrados en el día N a través de herramientas de digitalización en tiempo

real para poder actuar con la mayor precisión posible, con la capacidad de replanificar en cuestión de segundos según se producían desviaciones respecto a lo planificado en el día N-1.

Para evaluar la herramienta, se identificaron diversos indicadores, tanto económicos como medioambientales, capaces de evaluar si la inclusión de la herramienta producía mejoras en los procesos de producción, transporte y ejecución de mezclas asfálticas, logrando mejoras en dichos indicadores respecto a los datos de partida.

**Palabras Clave:** Digitalización, logística en mezclas asfálticas, optimización de procesos.

### 1. INTRODUCCIÓN

El mundo de la construcción, y específicamente la ejecución de carreteras, históricamente no se han alineado con desarrollos que empleen Inteligencia Artificial (IA). Desde finales del siglo XIX y durante todo el siglo XX, se produjeron grandes avances en el campo de mecanización y automatización que llevaron al desarrollo de maquinaria específica y nuevos procedimientos de construcción que permitieron el desarrollo de las grandes infraestructuras que utiliza actualmente nuestra sociedad. Además, estos avances incrementaron la eficiencia de los recursos humanos y materiales, aumentando la seguridad durante la ejecución. Sin embargo, estos desarrollos aún están lejos de los alcanzados en otros campos dentro del sector industrial, a pesar de que en los últimos años se ha avanzado mucho en el campo de la IA. El campo que abarca la producción, transporte

y ejecución de las mezclas asfálticas no es ajeno a esta problemática.

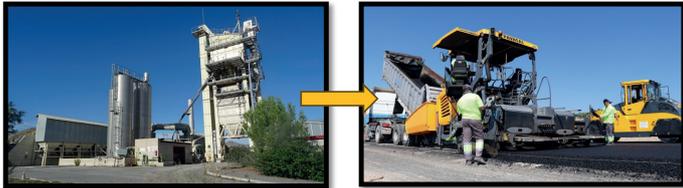


Figura 1. De la planta a la obra existen muchos pasos.

## 2. PROCESOS DENTRO DE LA MEZCLAS ASFÁLTICAS

El proceso se inicia con una planificación inicial de los trabajos a realizar (localización, distancia a la obra, producción horaria tanto de la planta de fabricación como del extendido de obra), la cual es una tarea que viene asociada a la volatilidad dentro del día a día. Existe una estimación, aproximadamente de carácter semanal de trabajos, pero que puede variar debido a factores externos al proceso interno que la pueden modificar dentro de jornada, como son obras que no han cumplido con la ejecución por parte externa, condiciones meteorológicas cambiantes, tráfico...

La planificación de producción y transporte normalmente se realiza en la jornada de antes a la jornada de la ejecución (día N-1). En ella, se calculan los viajes necesarios con el material adecuado para cada una de las obras a ejecutar en el día N. Con ello se planifica la producción en la planta y el transporte necesario, intentando obtener un ritmo de fabricación constante, minimizando el número de paradas posibles dentro de la fabricación.

Durante la jornada N, en la planta de producción se fabrican las mezclas asfálticas siguiendo la planificación realizada en el día N-1, optimizando el proceso de fabricación para poder trabajar a régimen al inicio de la jornada. Una vez fabricada, se inicia el proceso de transporte a las obras, el cual se debe llevar en el mínimo tiempo posible, debido al carácter perecedero del material.

El transporte del material conlleva un proceso en el que el material fabricado en la planta asfáltica se lleva a la obra mediante camiones, con diver-

sas capacidades dependiendo de la tipología de la obra. Una vez finalizada la descarga en obra, el camión vuelve a la planta para volver a cargar material fabricado y reinicia el proceso hacia la misma obra. A este proceso se le denomina "ronda".

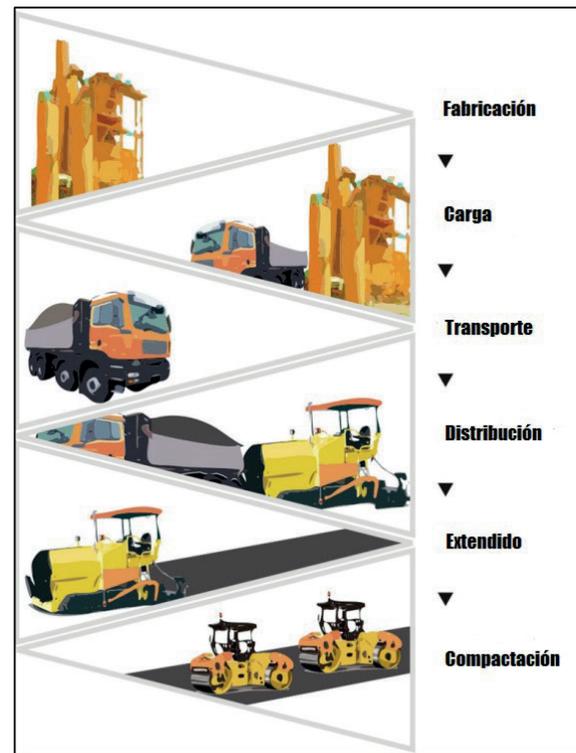


Figura 2. Diagrama proceso producción, transporte y ejecución de mezclas asfálticas.

Esto supone la necesidad de emplear transporte que realice varias rondas con un mismo recorrido (planta-obra asignada) como se puede observar en la Figura 3, para poder suministrar todo el material a obra. Teniendo en cuenta que cada obra está a una distancia determinada y el tiempo de empleo del material es variable, resulta complejo poder definir una secuencia de distribución óptima que permita reducir los tiempos empleados en cada una de las fases del proceso.

En estas rondas, existen paradas asociadas a diversos factores, como son:

- Obras no preparadas para recibir el material en el día de ejecución, que retrasan los inicios de las obras.

- Incidencias en el tráfico.
- Roturas de maquinaria o planta de producción.
- Retrasos en la ejecución.

El actuar por rondas y el desconocimiento de los tiempos de ejecución, ocasiona que existan periodos de parada dentro de la ejecución y fabricación de mezclas, debido a la falta de transporte necesario para llevar las mezclas y para poder fabricarlas. Además, la cantidad de variables y la falta de datos asociados hacen muy complejo el problema. Cuando se dispone de varias obras, existen periodos de espera debido a la falta de material, lo que conlleva una ineficiencia del proceso desde el punto de vista económico y medioambiental.

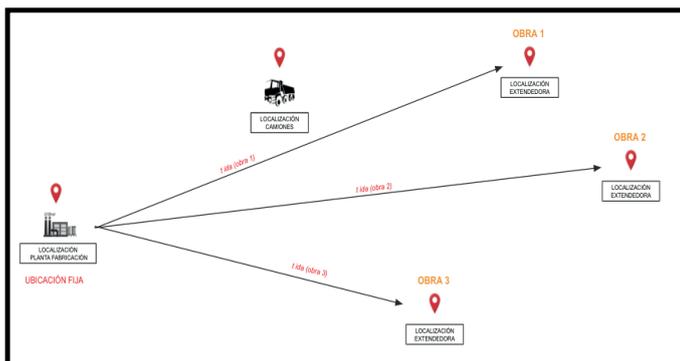


Figura 3. Diagrama de proceso actual por rondas (Elaboración propia).

Los principales problemas a mejorar son:

- Distribución de carga óptima de cada uno de los materiales para cada una de las obras previstas.
- Optimización del pago del transporte. Lograr una mejor distribución para reducir el coste por tonelada transportada y kilómetro.
- Redistribución del transporte si alguna de las variables varía con el tiempo (avería, retraso).

Y se muestran en la Figura 4:

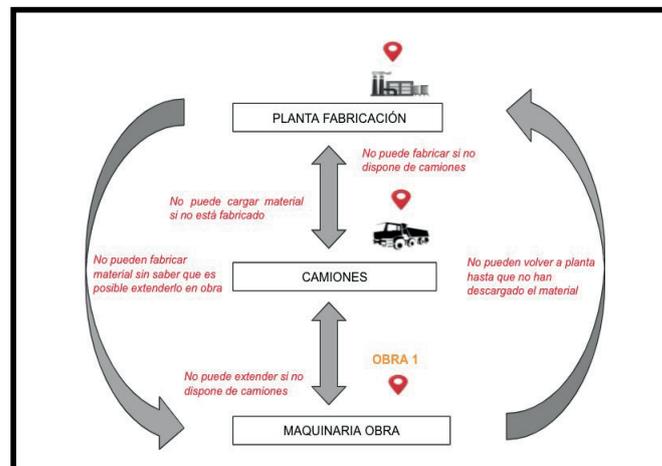


Figura 4. Restricciones con el modelo actual de trabajo (elaboración propia).

La mayoría de los procesos implicados normalmente se desarrollan de manera manual (fabricación en función de la toma de decisiones del jefe de planta, distribución del material por el transportista, ejecución del extendido de las mezclas bituminosas por el equipo de trabajo). Es por ello que el empleo de una herramienta que permita conocer los resultados de cada uno de los procesos (monitorización y sensores) así como una visión global de los mismos, mejora la toma de decisiones de cada uno de los implicados.

Los principales procesos que se realizan diariamente para poder desarrollar la ejecución de mezclas asfálticas son:

- 1. Fabricación del material y carga en la planta:** Debemos conocer con precisión el tipo de material necesario y la cantidad de cada uno de ellos. Es importante entender que, para poder fabricar material se necesita disponer de camiones sobre los que poder descargar el mismo.
- 2. Transporte y distribución del material:** El material se debe llevar hasta el punto en el que se sitúe la obra en cuestión. En este sentido afectarían las paradas reglamentarias de los transportistas, el estado del tráfico, así como la facilidad para acceder hasta la obra.
- 3. Extendido y compactación del material en obra:** Una vez se dispone de material

en obra, se procede al extendido del mismo en el mínimo tiempo posible por medio de la maquinaria pesada propia de la ejecución (extendedoras y compactadoras). La descarga del material no tiene por qué ser constante, ya que depende de la tipología de obra.

Estos pasos se repiten a lo largo del día hasta completar la ejecución de obra o la jornada laboral, por tanto, llegar a un equilibrio óptimo entre los medios materiales empleados y rendimiento obtenido resulta complejo. Para conseguir un mayor rendimiento en obra y planta, sería interesante tener un gran número de camiones, pero esto a su vez supone un coste desproporcionado y un consumo innecesario.

### 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Sin embargo, hay una solución al problema. Un estudio de viabilidad teórico previo realizado internamente nos muestra que los periodos de espera se pueden reducir en gran medida. Teniendo en cuenta una sistemática habitual en una jornada laboral, con tres obras suministradas con material desde una única planta y una ejecución dependiente del tiempo de transporte y producción, la disposición de los mismos sería la que se muestra en la Figura 5:

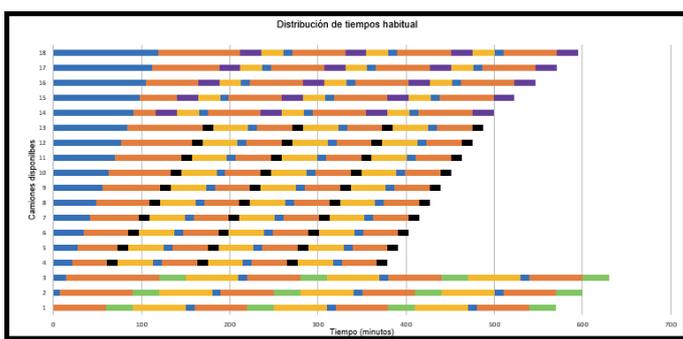


Figura 5. Distribución de tiempos habitual con tres obras de ejecución de mezclas asfálticas (Azul: tiempos de espera; naranja: tiempo ida obra ; verde: extendido obra 1; negro: tiempo extendido obra 2; morado: tiempo extendido obra 3; amarillo, tiempo vuelta a planta). (Elaboración propia).

Con esta disposición, la distribución de ejecución es muy desigual, siendo altamente ineficiente con un

gran número de paradas en una de las obras. Por ello se introduce un concepto nuevo, denominado **“ruptura de ronda”**. En él, el transporte no está asociado a una única obra, sino que está disponible para todas ellas. Si se introduce el concepto de **“ruptura de ronda”**, donde el transporte es enviado allí donde se produce el menor tiempo de espera global, se produce la disposición mostrada en la Figura 6:

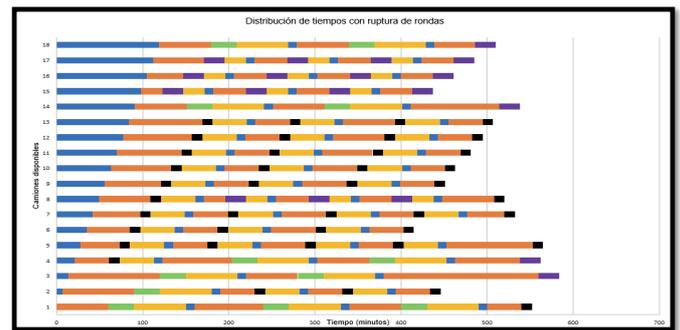


Figura 6. Distribución de tiempos con ruptura de rondas con tres obras de ejecución de mezclas asfálticas (Azul: tiempos de espera; naranja: tiempo ida obra ; verde: extendido obra 1; negro: tiempo extendido obra 2; morado: tiempo extendido obra 3 ;amarillo, tiempo vuelta a planta). (Elaboración propia).

Se observa que se puede obtener una mejor distribución de tiempos, minimizando el número de paradas en la ejecución de las obras, con una **reducción de un 15% del tiempo en ejecución**. Esta reducción también lleva asociado un menor tiempo en espera de los camiones que transportan el material y una mejor producción de la planta, reduciendo tiempos de fabricación. Todo ello, evaluado sin considerar incidencias que puedan ocurrir en el transcurso de la jornada y que en el mundo de la construcción son muy habituales (obras no preparadas, afecciones de tráfico, meteorología adversa con retrasos en inicio...).

**Por ello se desarrolló una herramienta denominada IASF, asociada a la introducción de algoritmos de IA adaptados al proceso de la fabricación, transporte y ejecución de mezclas asfálticas para obtener óptimos en planificación durante la jornada N-1 y una digitalización de todo el proceso para poder actuar en la jornada N en tiempo real debido a la gran variabilidad de condicionantes.**

Con los objetivos de:

- Incrementar la eficiencia del proceso fabricación-distribución, optimizando el rendimiento de fabricación y el tiempo de distribución a las obras de materiales según las prioridades, condiciones particulares y restricciones en cada caso, con el criterio de minimización del coste total de fabricación-distribución-ejecución.
- Reducir el consumo de combustibles fósiles empleados tanto en la fabricación de las mezclas como en el transporte de las mismas a la obra mediante el incremento del rendimiento en planta y en la distribución, mejorando la huella de carbono asociada a la construcción de infraestructuras viales debido a la mejor adecuación de dicha fabricación y transporte, minimizando los periodos de latencia que actualmente se asocian a este tipo de materiales.
- Desarrollar un sistema de digitalización que permite la trazabilidad del proceso de las mezclas asfálticas, obteniendo un sistema totalmente informatizado, teniendo control sobre el producto ejecutado, aumentando el control de calidad del mismo debido a su carácter perecedero.

#### 4. SOLUCIÓN

La complejidad de nuestro objetivo obligó a la realización de un proyecto que, con ayuda del Internet de las Cosas (IoT) y algoritmos IA, nos permitiese conocer una solución óptima que englobara todos los aspectos que intervienen en el procedimiento productivo. Es decir, se requería de una solución que permitiese el adecuado tratamiento del “Big Data” generado gracias a la toma de datos mediante la digitalización total de nuestro proceso.

Podría parecer que el problema se basaba en un problema de gestión de flotas, pero no era así ya que las condiciones específicas lo hacían incompatible con las soluciones existentes:

- La localización es fija. No se debe encontrar el óptimo respecto a la menor distancia recorrida (caso del algoritmo del viajero).

- El transporte debe volver a un punto fijo para la vuelta a la carga. No se distribuye todo el material en un único viaje (no es válido el algoritmo de reparto de mercancías o VRP).
- El material a ejecutar no siempre es el mismo, por lo que las condiciones de fabricación pueden variar para una única obra, ampliándose o reduciéndose los tiempos de fabricación y por tanto de transporte y ejecución.
- Dependiendo de la planta, se puede tener silos capaces de producir material y almacenarlo hasta la llegada del transporte, minimizando el tiempo de producción.
- El proceso de ejecución no es constante, por lo que hay que evaluar todos los posibles parámetros y condiciones de ejecución para obtener un algoritmo válido.

El desarrollo del algoritmo de IA es una innovación en este proceso. Por ello, se desarrolló un algoritmo hecho a medida para las características mencionadas.

Sin embargo, este algoritmo, por sí solo, únicamente sería capaz de proveer de una solución óptima en la jornada N-1 de planificación. **Para ser una herramienta útil se integraron los datos suministrados en el día N a través de herramientas de digitalización (localización GPS del transporte, indicación de inicio-fin extendido, llegada de transporte a obra y planta...) en tiempo real para poder actuar con la mayor precisión posible, dentro de unas tolerancias, para ser un elemento disruptor dentro del proceso, con la capacidad de replanificar en cuestión de segundos según se producían desviaciones respecto a lo planificado en el día N-1, como son:**

- Variaciones de la producción
- Redistribución del transporte a otras obras si se averiaban equipos o camiones
- Redistribución de trabajos si se producían retrasos o no iniciaban los planificados

Los procesos de fabricación, transporte y ejecución son controlados y visualizados a través de cuadros de mandos como se puede observar en la Figura 7, con la información necesaria para cada uno de los

HERRAMIENTA DE OPTIMIZACIÓN EN FABRICACIÓN, TRANSPORTE Y EJECUCIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

usuarios implicados (jefes de obra, jefes de plantas, encargados de obras y transporte), localizando desviaciones respecto a lo planificado. Toda la in-

formación es almacenada y tratada para posteriores evaluaciones para realizar procesos de mejora continua.

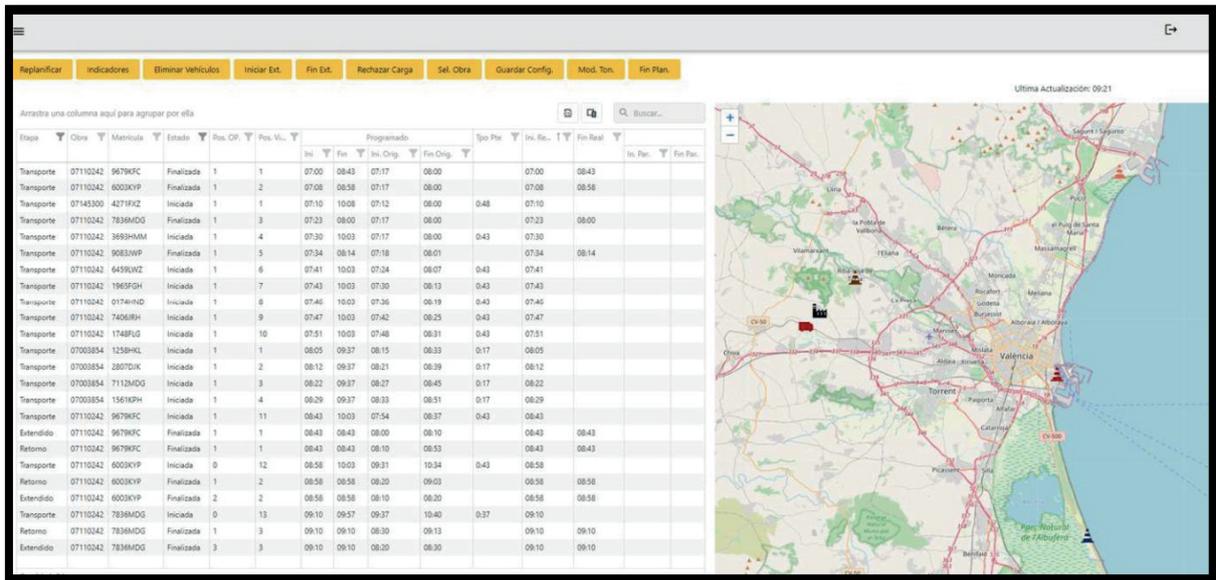


Figura 7. Pestaña de seguimiento durante el día N.

Al realizar todo el proceso de digitalización, se obtienen una gran cantidad de datos, desde la cuna hasta la tumba del proceso. Esta gran cantidad de información permite realizar una trazabilidad inequívoca de un producto perecedero como son las mezclas asfálticas, siendo dicha información muy útil para:

- La empresa, ya que permite la mejora continua del proceso de calidad de forma interna, ayudando a la toma de decisiones para la mejora del mismo.
- Los clientes, tanto públicos como privados, que poseen una trazabilidad del producto que han adquirido.
- Mejora de la eficiencia de todo el proceso y optimización económica y ambiental.

5. TEST DE VALIDACIÓN

Para la evaluación del producto, se identificaron diversos indicadores, tanto económicos como medioambientales, capaces de evaluar si la inclusión del sistema producía mejoras en los procesos

de producción, transporte y ejecución de mezclas asfálticas. Estos indicadores son:

- Desde el punto de vista económico:
  - €/tonelada global.
  - €/tonelada transportada por kilómetro.
  - Toneladas extendidas/hora trabajada.

Una vez marcados los indicadores de control, se marcaron unos objetivos económicos a lograr:

- Incrementar la ratio tonelada extendida por hora trabajada a lo largo de un año.
- Reducir el coste €/tonelada global a lo largo de un año.
- Reducir el coste asociado al transporte a lo largo de un año.

- Desde el punto de vista medioambiental:
  - kg CO<sub>2</sub> producidos en planta/tonelada.
  - kg CO<sub>2</sub> producidos en maquinaria/tonelada.
  - kWh/tonelada.

Los datos de los indicadores a comparar se recogieron durante un periodo previo de 3 años, con

el fin de minimizar divergencias en cuestiones de producción.

Los resultados obtenidos se muestran la Tabla 1, mostrando las diferencias entre el periodo de evaluación con respecto al periodo de análisis:

Tabla 1. Resultado de objetivos económicos y medioambiental.

	Coste transporte	Coste total	Ratio tonelada/hora trabajada	Consumo energético	Emisiones kgCO <sub>2</sub> eq maquinaria
Diferencia respecto referen	-9.1 %	- 1.1 %	+4.3 %	- 8 %	-17 %

Con los resultados obtenidos, se puede indicar que el desarrollo de algoritmos para las etapas de fabricación, transporte y ejecución de mezclas asfálticas tiene un impacto positivo desde el punto de vista económico en todos los indicadores marcados y desde el punto de vista medioambiental desde el punto de vista de la maquinaria, ya que se optimiza el proceso, lo que aporta un menor consumo de combustible a la hora de ejecutar las obras.

## 6. CONCLUSIONES

El mundo de la construcción, y en especial el mundo de la construcción de infraestructuras viales, se ha considerado desde siempre un modelo de

negocio tradicional, reacio a la introducción de innovaciones. Sin embargo, la tendencia está cambiando rápidamente debido al desarrollo de la IA, donde el sector ha visto un potencial de desarrollo inmenso con inversiones asumibles, asociado a los diferentes campos que integran el negocio. La IA ha irrumpido en el mundo de la construcción de infraestructuras viales para mejorar en gran medida temas relacionados con:

- Producción
- Logística
- Conservación
- Seguridad de operarios y usuarios

Por ello, las empresas nos debemos incorporar a este viaje de forma inmediata y fruto de ello ha sido la creación **de IASF, una herramienta capaz de digitalizar completamente uno de los principales procesos productivos dentro de la empresa: la fabricación, transporte y extendido de mezclas bituminosas a todas las obras en las que opera la empresa, que permite mejorar la toma de decisiones, empleando para ello una plataforma que integra analítica avanzada mediante Inteligencia Artificial y visualización de datos en tiempo real con el desarrollo de una herramienta tecnológica que permite obtener el mejor resultado tanto económico como medioambiental.**