

Industria conectada

Cemento 4.0



Industria conectada

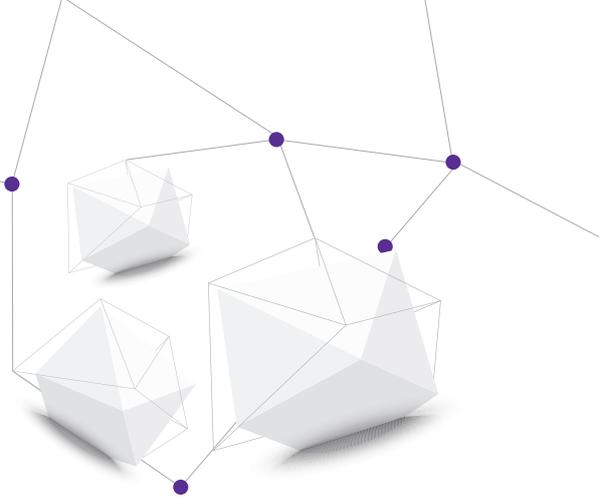
Cemento 4.0



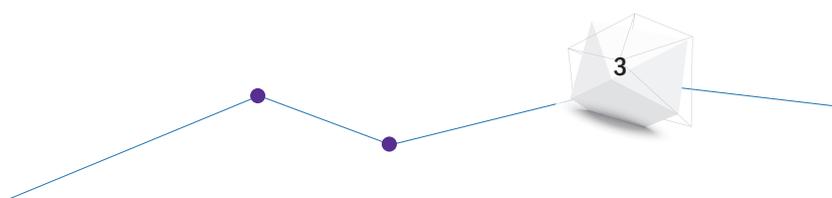


C/ José Abascal, 53 - 1º
28003 Madrid
Tel.: 91 441 16 88
info@oficemen.com

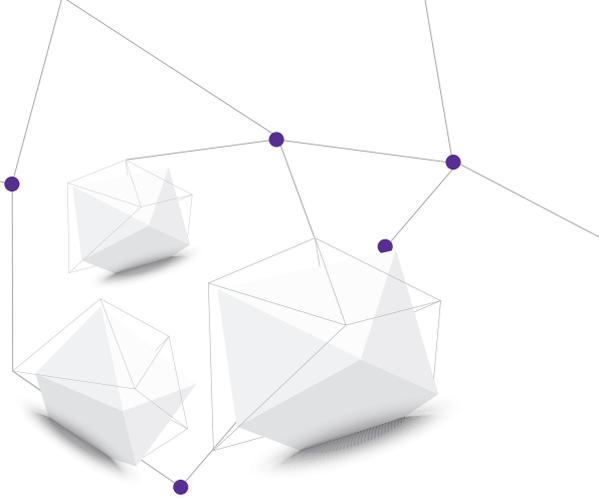
Índice



Presentación	5
1 Introducción.	6
2 Los motores del cambio	8
3 Ecosistema de la industria del cemento	13
4 Cemento 4.0	21
5 Los pilares de la industria conectada	23
6 Elementos de la cartera digital.	29
7 Modelos de evaluación	30
8 Proyecto piloto inicial y propuesta de objetivos.	32
9 Retos potenciales	35
10 Próximos pasos	38
Agradecimientos.	40



Presentación



La industria española del cemento es un sector en continuo cambio y evolución, que ha sabido encontrar en la profunda crisis de su mercado doméstico y en los resultados económicos adversos resultantes, las claves para elaborar su apuesta de futuro.

Obviamente, esta industria no es ajena a los nuevos desarrollos tecnológicos, a la digitalización y a la globalización, que desde el sector se abordan de manera decidida y con una clara visión a largo plazo. La industria del cemento quiere ser competitiva y sostenible a efectos de poder generar para nuestra sociedad los materiales de construcción de alta calidad y eficiencia que necesita y seguir creando empleo estable y de muy valiosa cualificación. Nuestro sector aspira a situarse a la vanguardia de la tecnología, con la innovación y la eficiencia como claves del modelo industrial sectorial. Aunque queda mucho por hacer, hace ya varios años que las empresas cementeras iniciaron su andadura para acometer la transformación digital y su integración global a lo largo de su cadena de valor, coordinando, conectando y optimizando la relación de todos los actores que componen su ecosistema industrial.



Jesús Ortiz Used
Presidente de OFICEMEN

Cemento 4.0 es una muestra de la capacidad y determinación del sector para afrontar el cambio de paradigma en nuestra industria, el cual, más allá de la transformación de los procesos productivos, servicios y productos generados para sus clientes y para la sociedad, también abarca la evolución de sus modelos de negocio, nuevas modalidades de relación con sus clientes y de creación de valor para estos últimos, así como las áreas de formación y capacitación de los recursos humanos.

Esta transformación de la industria cementera viene impulsada por el procesamiento de datos en masa, la capacidad de conexión en tiempo real, la producción personalizada bajo demanda y un referencial de fábricas inteligentes. Cemento 4.0 apunta a optimizar el uso de las materias primas y de la energía, al tiempo que a mejorar los flujos de información con una mayor eficiencia para generar soluciones para la construcción que respondan a las demandas de la sociedad del siglo XXI, con altas prestaciones y con un mayor valor añadido de prestaciones técnicas y contribución ambiental.

En colaboración con SIEMENS, S.A. (Cement Department), hemos querido recoger en este documento algunos de los ejemplos de digitalización ya existentes en la industria del cemento; así como las valiosas reflexiones sobre los retos a los que se enfrenta el sector, que podrá y deberá seguir adaptando sus procesos, productos y modelos de negocio a las nuevas tecnologías, en un entorno cada vez más competitivo y complejo; pero al mismo tiempo, con muchas nuevas oportunidades.

1 Introducción

Una industria centenaria como la del cemento ha sido protagonista de las revoluciones industriales anteriores, desde el uso de la energía de vapor, pasando por el de la energía eléctrica y la posterior incorporación de las tecnologías de la automatización y de la información.

Hoy en día, en un contexto de disrupción tecnológica permanente sin precedentes que constituye el germen de la actual revolución digital, la industria del cemento quiere mostrar su capacidad y disposición para acometer esta nueva transformación, acogiendo nuevos sistemas como el procesamiento de datos en masa, la capacidad de conexión en tiempo real, la producción personalizada bajo demanda y un referencial de fábricas inteligentes.

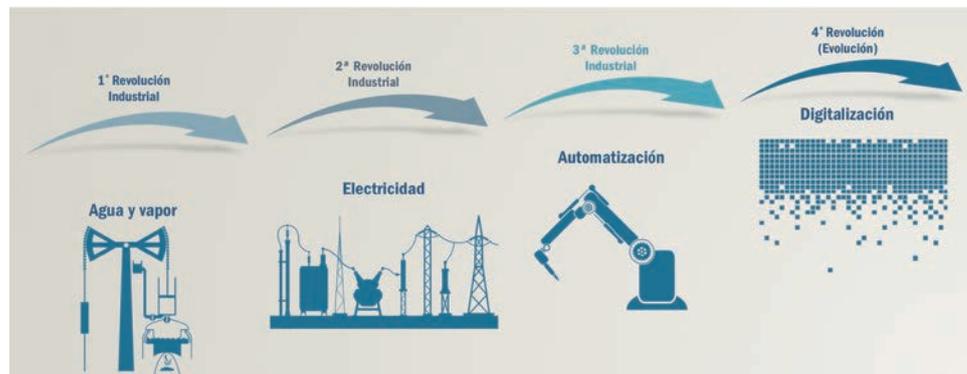
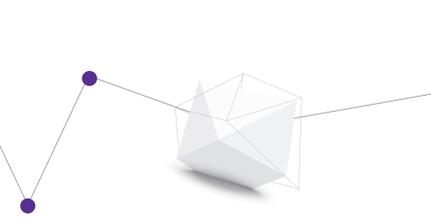


Figura 1. Las fases de la revolución industrial

Además, el mundo afronta retos de impacto global como el deterioro ambiental, la escasez de recursos naturales y los cambios demográficos, que nos afectan a todos y como no, también a la industria. Al mismo tiempo, la competencia aumenta en un mercado global imponiendo retos añadidos de mayor eficiencia y competitividad; tendencia de gran impacto sobre todo en Europa, donde contamos con unos costes de producción muy elevados que solo pueden superarse con un proceso de innovación permanente.



El presente y el futuro de nuestra sociedad está condicionado por cinco grandes indicadores de cambios de tendencia:

- Cambios demográficos y aumento de la población mundial.
- Cambio climático y fenómenos meteorológicos extremos.
- Necesidad de urbanización.
- Globalización.
- Transformación digital.

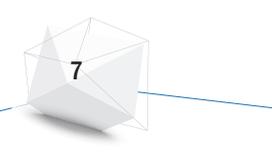


1 UN World Population Prospects (2015); 2 Met Office Hadley Centre observations (2014); 3 McKinsey Global Institute Cityscope (2011); 4 UNCTAD (2013); 5 Cisco: The Internet of Everything (2013); 6 IDC: The Digital Universe (2012)

Figura 2. Los cinco grandes indicadores de cambios de tendencia que marcan el presente y el futuro

La digitalización de los procesos de producción y comercialización jugará un papel clave en la búsqueda y desarrollo de soluciones a esos retos desde el punto de vista industrial. Representa por ello el medio más eficaz para mantener y expandir una base de producción sólida que ha empezado ya a acometer los retos de la industria conectada.

Retrasar la puesta en marcha de esta transformación podría tener muy graves consecuencias; más aun teniendo en cuenta que los principales indicadores anticipados proyectan un mundo muy diferente del actual, con unos cambios en los mercados que se están acelerando.



2 Los motores del cambio

La revolución digital desde el punto de vista de la industria cementera estará marcada por un gran número de cambios muy rápidos y que se apoyarán en cinco tecnologías singulares que condicionarán la transformación:

- La inteligencia artificial y la robótica.
- Internet de las cosas.
- Vehículos autónomos.
- Blockchain.
- Impresión 3D.

2.1. La inteligencia artificial y la robótica

La inteligencia artificial avanzará hacia un aprendizaje profundo (*deep learning*), en el que máquinas y robots aprendan y sean capaces de anticipar decisiones.

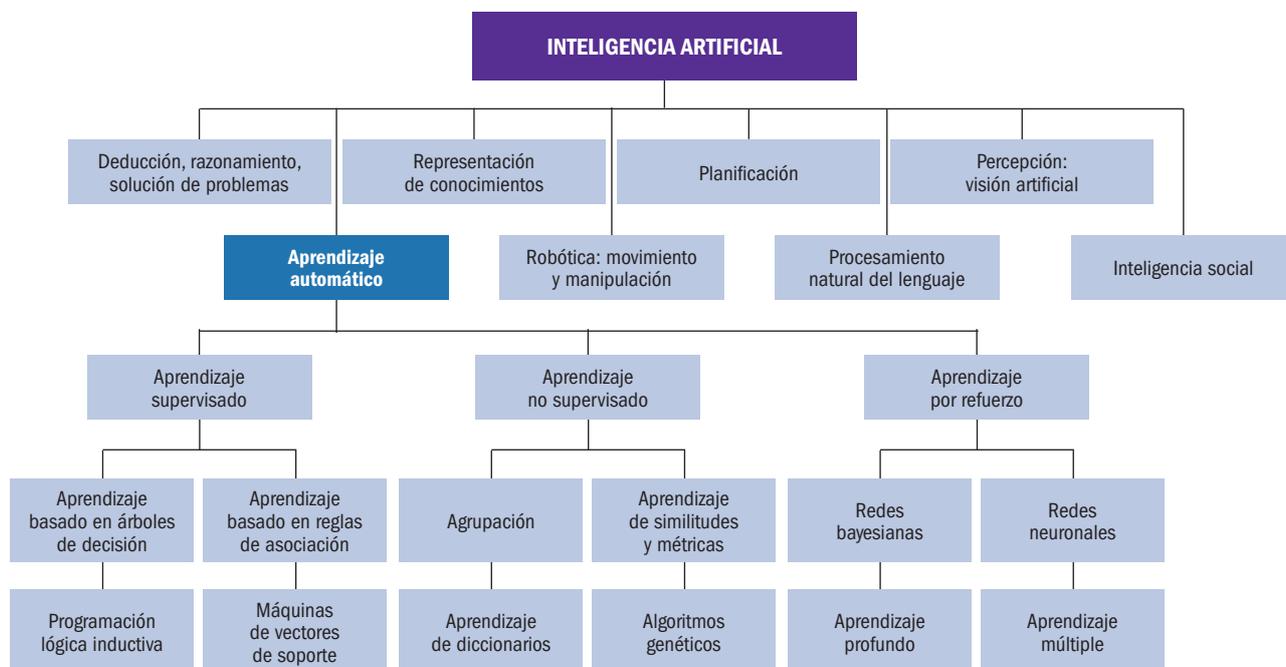
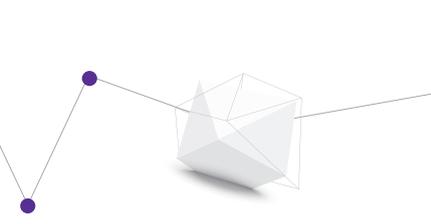


Figura 3. Variedades de Inteligencia Artificial¹

¹ Fuente Robeco. AI: Our savoir or Humanity's Final Invention? (2016)



Actualmente, tiene ya un impacto significativo en el mantenimiento preventivo de los equipos mediante la utilización de sensores conectados a la red, que analizan el estado de los activos en tiempo real dando información sobre su rendimiento y sus necesidades de conservación y sustitución.

2.2. Internet de las cosas

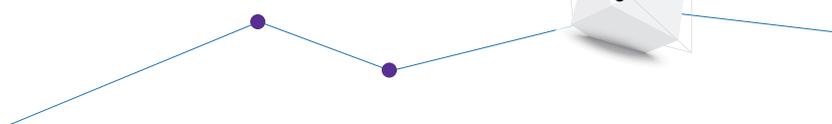
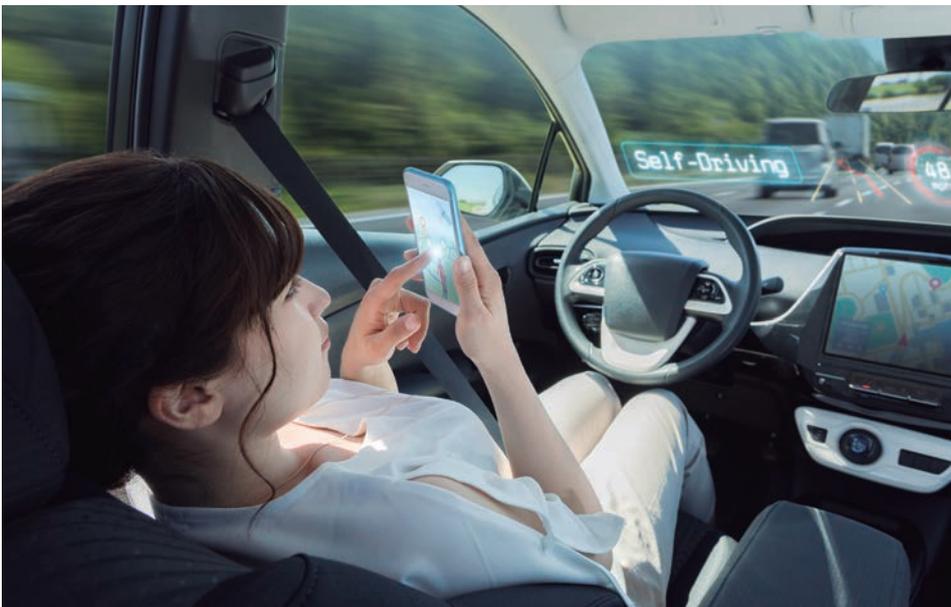
Es un concepto referido a la interconexión digital a través de Internet por la que los aparatos y equipos están comunicados entre sí. Se trata de una conexión avanzada de dispositivos, sistemas y servicios, que va más allá del tradicional M2M (máquina a máquina) y cubre una amplia variedad de protocolos, dominios y aplicaciones.

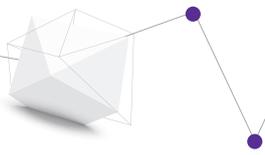
Gracias a esta tecnología se conseguirá una mayor optimización de la eficacia operativa de la producción industrial, haciéndola más flexible, rentable y sensible a los cambios del mercado. Además, contribuirá a la mejora de las ratios de seguridad y salud de los empleados; así como a la optimización de la gestión de los inventarios.

2.3. Vehículos autónomos

Los vehículos autónomos supondrán una revolución en la logística industrial y en la relación con los proveedores y clientes.

A pesar de que la automatización plena (nivel V según la Figura 4) no se espera para antes del año 2050, la evolución hacia vehículos cada vez más autónomos, como es el caso del “platooning” (también denominado “tren de carretera”), con el que un grupo de vehículos podrá circular de forma sincronizada y autónoma, optimizando el transporte de mercancías, al tiempo que se reducirán las emisiones. Esto supondrá también el incremento de la capacidad de transporte de las carreteras y una reducción de costes y de los plazos de entrega.

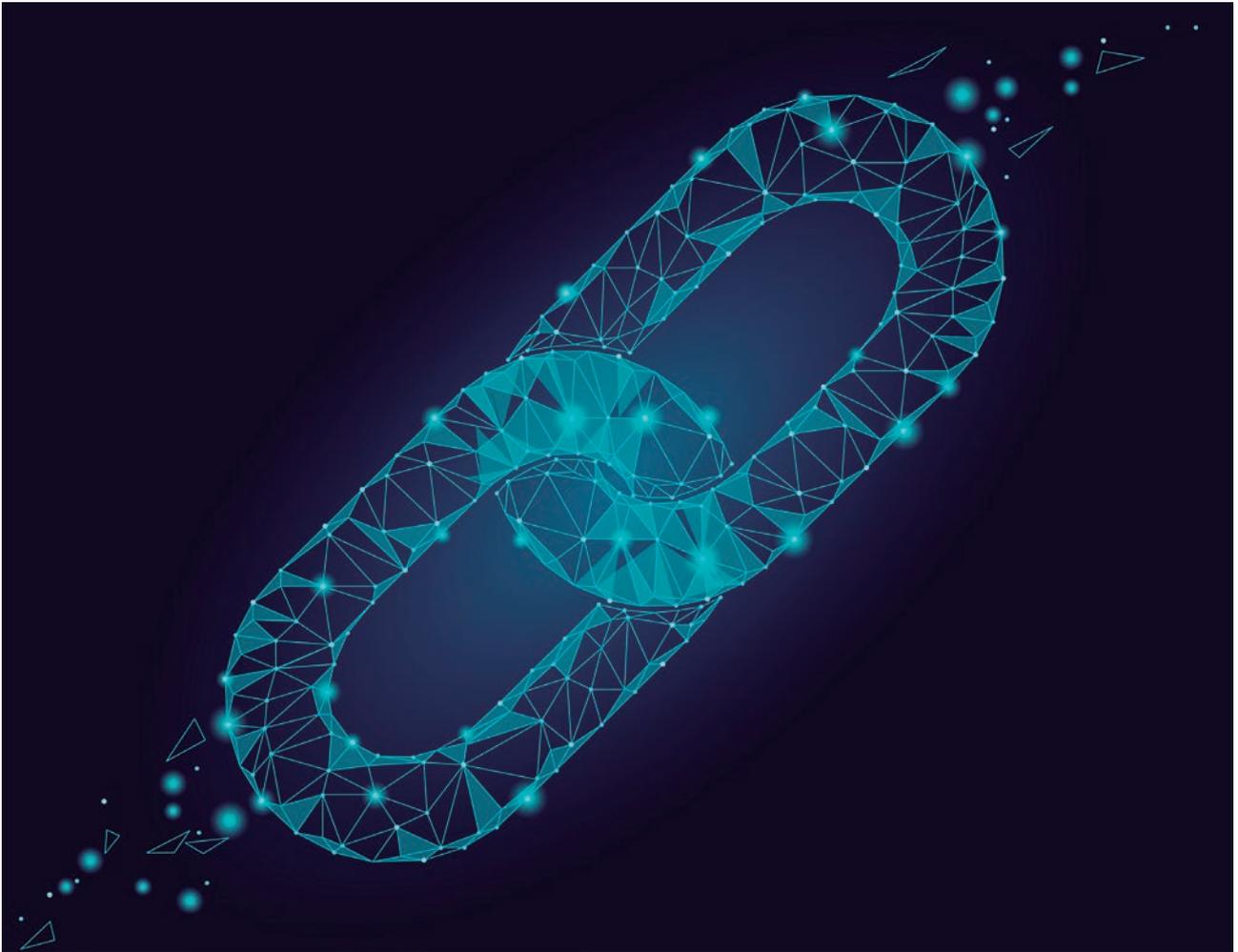
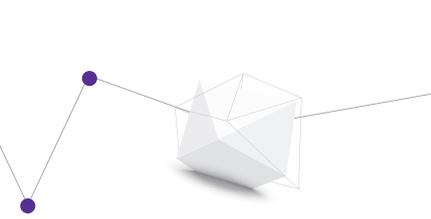




Nivel 0: No automatización	Nivel I: Asistencia en la conducción	Nivel II: Automatización parcial	Nivel III: Automatización condicionada	Nivel IV: Automatización alta	Nivel V: Automatización plena
<p>El humano controla todas las funciones clave de la conducción.</p>	<p>Automatización de funciones específicas de control, como regulador de velocidad, sistema de orientación de carriles y aparcamiento paralelo automatizado. Los conductores son responsables del control total del vehículo. Ya disponible en muchos coches.</p>	<p>Automatización combinada de funciones: automatización de múltiples funciones de control integradas. Los conductores deben estar disponibles para el control en todo momento, pero bajo ciertas condiciones pueden desacoplarse del funcionamiento del vehículo (modo "piloto automático").</p>	<p>Automatización de conducción limitada: los conductores pueden ceder todas las funciones críticas de seguridad bajo ciertas condiciones y confiar en el vehículo para monitorear cuándo las condiciones requerirían una transición hacia el control del conductor (por ejemplo, si el vehículo detecta niebla, bajo la que no parece operar bien).</p>	<p>Conducción autónoma bajo condiciones específicas: los vehículos pueden realizar todas las funciones de conducción bajo condiciones específicas.</p>	<p>Conducción autónoma completa: no hay volante, el sistema realiza todas las funciones de conducción en todos los tipos de carreteras, rangos de velocidad y condiciones ambientales. Destaca la conectividad en todo momento con la infraestructura y con otros vehículos para tener acceso continuado a toda la información útil disponible necesaria (generalmente en la nube) para el cumplimiento de sus funciones (anticipar riesgos de colisión, evitar congestiones, optimizar el consumo de combustible...).</p>

Figura 4. Niveles de automatización de la conducción²

Las ventajas de los vehículos autónomos se estiman en un impacto de hasta el 10% del PIB derivadas de mejoras de la productividad y de la reducción de costes directos asociados a una menor tasa de siniestralidad.



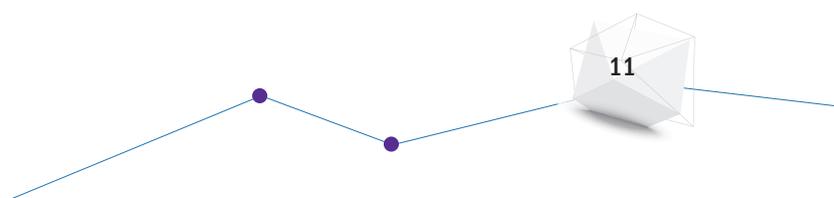
2.4. Blockchain

La generalización de estas tecnologías permitirá la gestión de contratos inteligentes de manera descentralizada, permitiendo verificar siempre cualquier tipo información al quedar registradas todas las transacciones sin posibilidad de que sean manipuladas.

Adicionalmente, esta tecnología será aplicable para garantizar la **trazabilidad** de procesos y productos lo que redundará en un incremento de la calidad industrial y reducirá los costes de verificación.

2.5. Impresión 3D

Lejos de alcanzar su madurez, esta tecnología permitirá, entre otras, alterar las líneas de la cadena de suministro actual, reduciendo la dependencia de la externalización o subcontratación (*outsourcing*) y de la mano de obra.





Además, supondrá un ahorro de energía y tiempo y la minimización de la generación de residuos.

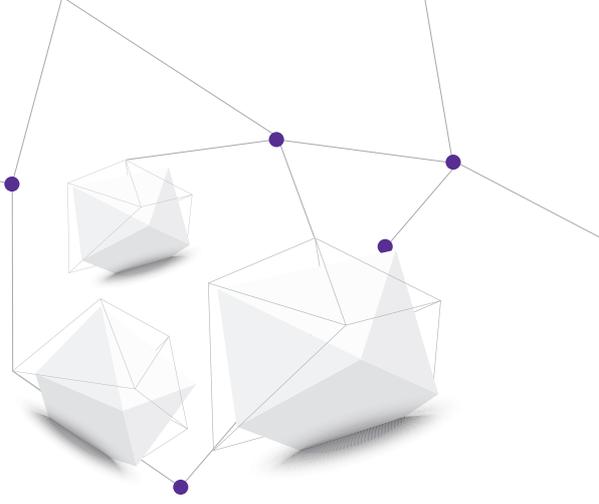
Un nuevo nivel de desarrollo añadirá el tiempo como cuarta dimensión (impresión 4D). Los avances en nanotecnología permitirán combinar la impresión 3D con materiales que cambien de forma y se puedan auto-ensamblar gracias a su memoria.

2.6. Conclusión

Los plazos de implantación plena de todas estas tecnologías a nivel industrial difieren de unas a otras. Según el ciclo de expectación de Gartner³, se espera que la inteligencia artificial y el internet de las cosas alcancen el nivel óptimo de productividad en un plazo de 2 a 5 años; de 5 a 10 años en el caso del blockchain; y en más de 10 años para los vehículos autónomos y la impresión 3D.

³ Gartner, INC: Informe Gartner (consultora tecnológica. Ciclo de expectación (Hype Cycle). (2017).

3 Ecosistema de la industria del cemento



Al igual que el resto de las industrias, el sector cementero debe evolucionar para convertirse en un sector auto-organizado en un ‘ecosistema inteligente’. Los procesos lineales y las funciones aisladas se transformarán en clústeres interconectados que intercambiarán información en tiempo real.

Los principales motores de este cambio serán la digitalización y las tecnologías de la información (TICs), que utilizan un volumen ingente de datos que se almacenan en la “nube de valor”, así llamada porque actúa como un clúster virtual que envuelve el resto de los clústeres de valor. La “nube de valor” estará conectada a todos los integrantes de la cadena de valor (computación en la nube o servicio de nube), permitiendo la interoperabilidad dentro de y entre los clústeres de valor del ecosistema.

Sin embargo, la transformación de la industria hacia un ecosistema inteligente será gradual. La transición hacia una economía transversal no ha hecho más que empezar, por lo que nos encontramos en una etapa inicial en la que coexisten plantas y empresas con diferentes modelos de generación de valor, según sea su grado de adaptación al cambio. Si la adaptación no ha empezado, o está en sus inicios, se mantendrá una visión lineal de la cadena de valor. El proceso de adaptación hará que este modelo de generación de valor evolucione y que el ecosistema inteligente gane peso poco a poco.

Lo que sí es prioritario, aun en las etapas iniciales de la transformación, es **situar al cliente como eje central de la cadena de valor**, convirtiéndolo en el epicentro del ecosistema inteligente. Alrededor del cliente se situarán el resto de los portadores de valor de la industria: la materia prima, los proveedores, la producción, el mantenimiento y la logística.



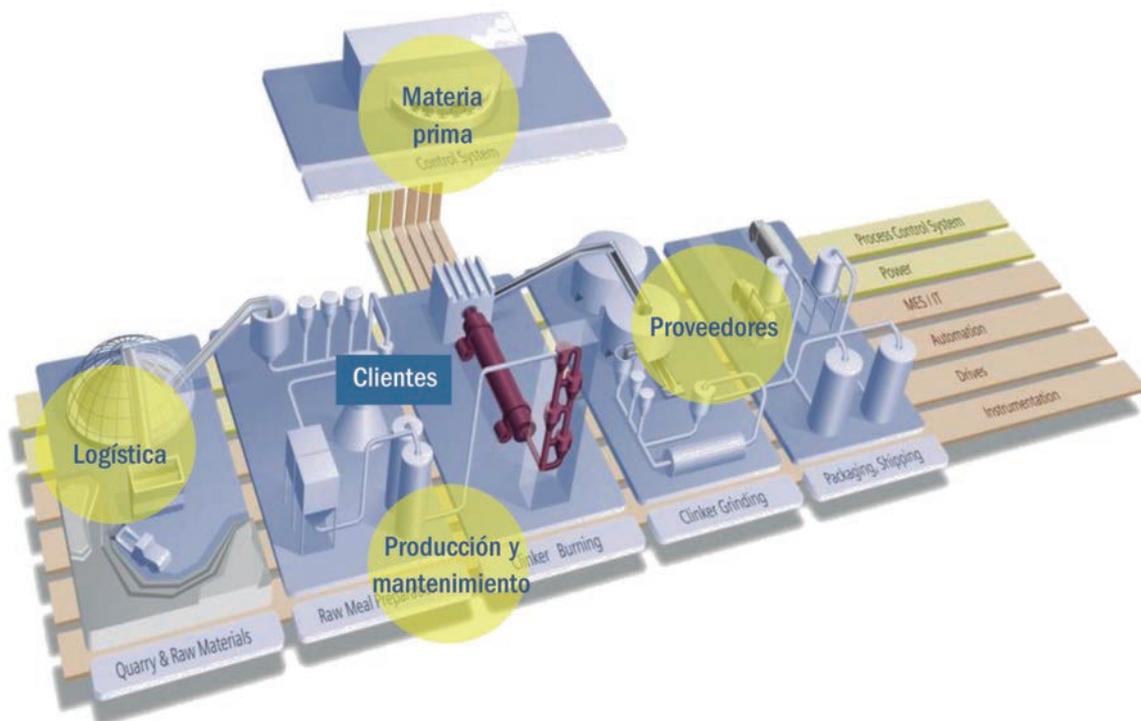
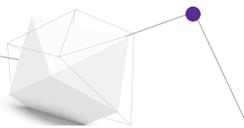


Figura 5. Portadores de valor para la definición de ecosistema inteligente en la industria del cemento con el cliente como epicentro

Considerando que la industria cementera española ya ha iniciado esta transformación hacia una industria conectada, en este documento se incluyen varios ejemplos existentes en los que se emplean elementos digitales a lo largo de toda la cadena de valor del cemento.

3.1. Materias primas

Se dispondría de información en tiempo real de los principales datos que se refieren a las materias primas: cantidad, condición y estado de las reservas de minerales.

Las canteras y las reservas de minerales podrían informar sobre la idoneidad de sus condiciones o emitir las señales oportunas en caso contrario. Esa información sería transmitida por el clúster a todos los nodos de cadena de valor en tiempo real y, como resultado, se adaptarían las fases involucradas del proceso de producción.



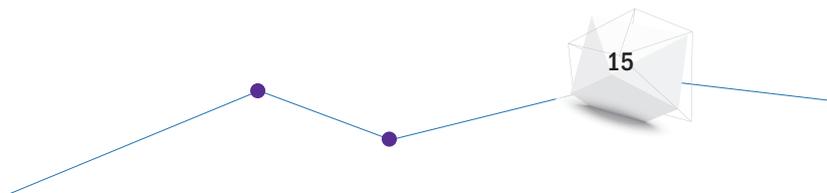


Actualmente, **LA INDUSTRIA DEL CEMENTO YA USA DRONES** para la medición de la existencia de materiales almacenados a la intemperie, el diseño de voladuras en canteras mediante perfilómetro 3D o fotogrametría y la inspección interior de silos para su limpieza y mantenimiento.

3.2. Proveedores

Los proveedores de materiales, servicios, productos, combustibles y materias primas alternativas utilizados en la fabricación de cementos de todo tipo podrán disponer de una conexión en tiempo real con sus clientes y fabricantes de cemento, y así ser capaces de responder sin demora a sus requerimientos. Podrán también monitorizar el proceso de producción de los cementos concernidos, conocer las previsiones de consumo e incluso las existencias de productos acabados y así detectar a tiempo la necesidad de reposición de sus suministros y posibles problemas de calidad de los mismos.

Esta capacidad de interconexión permitiría que el proveedor optimizase sus suministros sin que eso perjudicase la fabricación de cementos personalizados o con alto valor añadido. También podría el proveedor colaborar con el fabricante en la emisión de recomendaciones para mejorar la calidad del producto final mediante el análisis de datos del proceso o de previsibles exigencias futuras de los consumidores.



Gracias a esta interconectividad, el proveedor será capaz de proporcionar un cemento personalizado, aportar soluciones de valor añadido, así como recomendaciones para la mejora de la calidad del producto a través de los datos de producción o las necesidades futuras del cliente final.

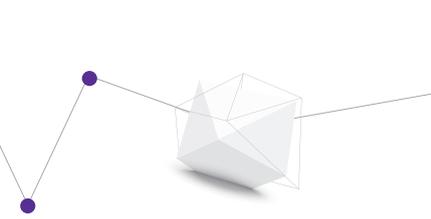


La industria cementera ha realizado una **INTEGRACIÓN ELECTRÓNICA DE DOCUMENTACIÓN ADMINISTRATIVA**, permitiendo reducir así los costes de gestión asociados a la validación y conciliación de documentos.

Al mismo tiempo, se ido implementando también **PROGRAMAS PARA LA FACTURACIÓN** en la nube y **SISTEMAS DE PAGO ON LINE**.

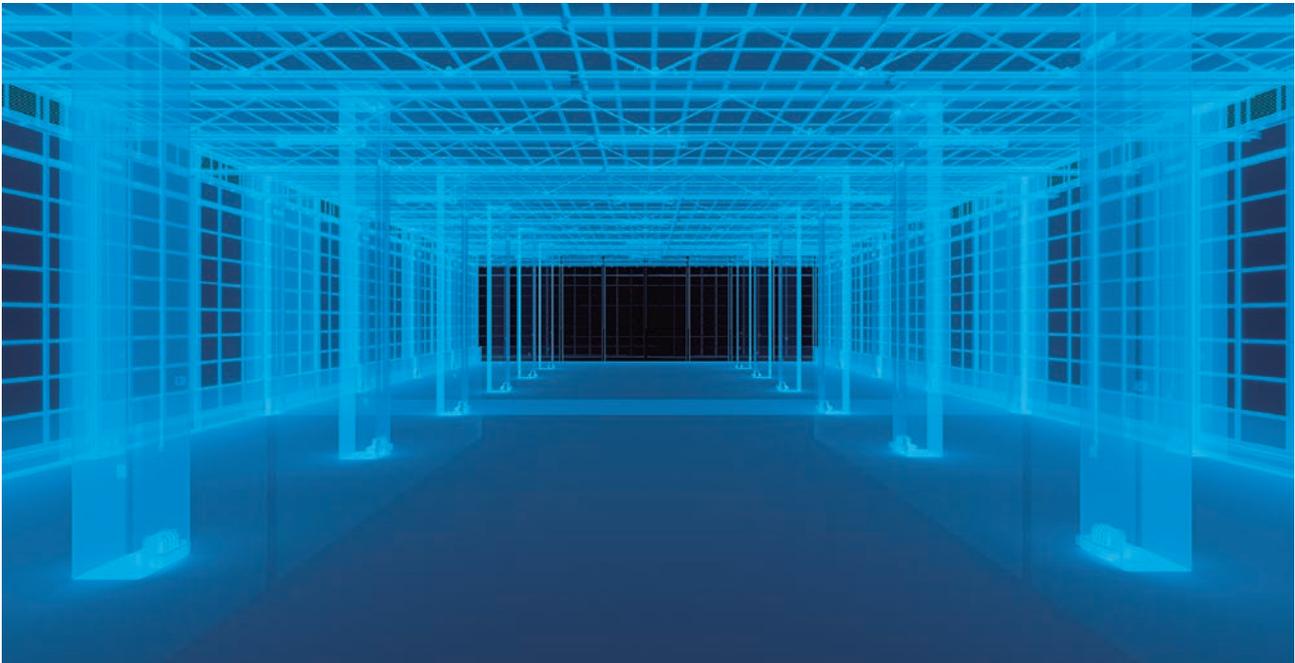
3.3. Producción y mantenimiento

Durante las fases de producción de cementos, las diferentes instalaciones y equipos podrán realizar la mayor parte de su tarea con intervención humana limitada o más específica. Se podrán centralizar muchas funciones y tareas de apoyo para hacerlas más analíticas, predictivas y proactivas, tales como las de planificación, mantenimiento y ventas. La producción sería optimizada en base a la información histórica y en tiempo real sobre



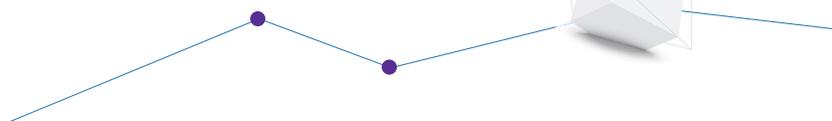
la oferta y la demanda, ofreciéndose completa transparencia de capacidades de producción, costes y necesidades del cliente. Se desarrollarían nuevos algoritmos de programación dinámica y optimización y se actualizarían constantemente los existentes, al contrastarlos con los datos que se fueran obteniendo en tiempo real.

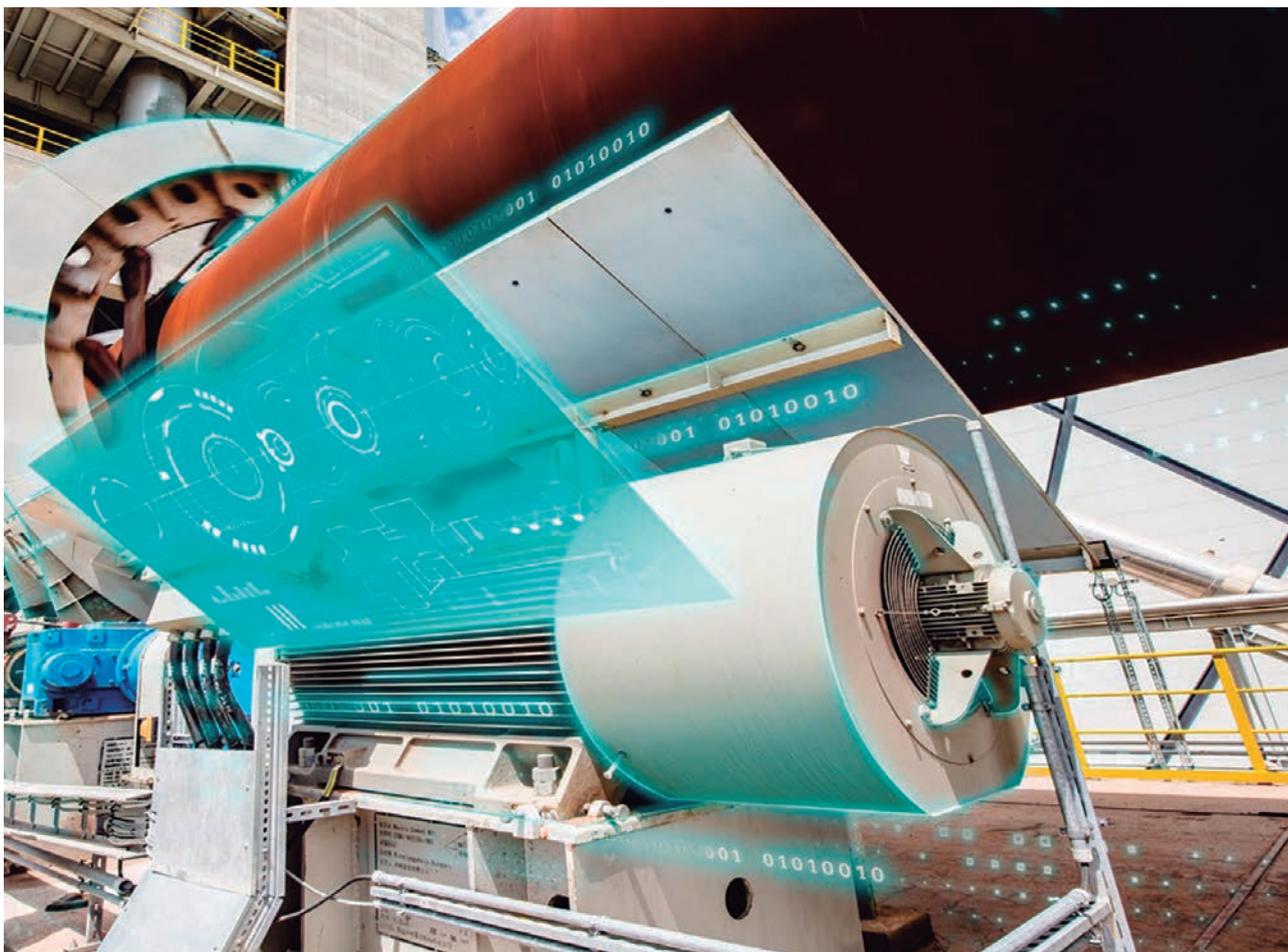
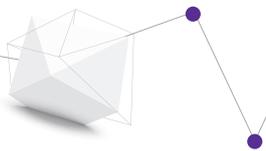
La nueva tecnología de digitalización permitirá la centralización de un mantenimiento especializado por control remoto. De esta forma, la práctica de un mantenimiento reactivo daría paso a análisis estadísticos de fiabilidad y predicción de fallos que disminuirían los tiempos de parada, aumentarían la eficacia de las tareas y desembocarían en un cambio de modelo con el establecimiento de un **mantenimiento preventivo** de coste mínimo.



Se usa ya el KM (Knowledge Management), herramienta informática que permite ver en tiempo real y desde cualquier receptor conectado a internet los datos de producción de toda la fábrica (producción y consumos) y del laboratorio.

Se cuenta ya con algunos sistemas expertos de gestión de equipos (PXP), instalados, entre otros, en hornos y en los molinos de cemento que permiten optimizar el proceso en base a parámetros de consumo y otros.



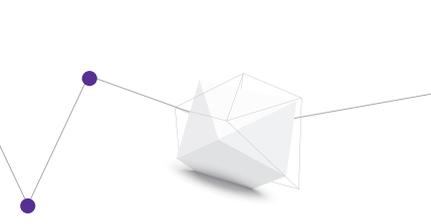


Contamos ya con el **DESARROLLO DE SOLUCIONES DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO**, integrando todas las fuentes de datos (mediciones puntuales, historial de accidentes e incidentes...) que permiten optimizar los mantenimientos programados sobre la base de los resultados del análisis predictivo, reduciendo así los costes de mantenimiento.

3.4. Logística

La logística puede llegar a ser auto-organizada y más flexible al estar basada en información en tiempo real sobre peticiones de envío. Como resultado, habrá una mejor distribución de capacidades y asignación de funciones, tasas de llenado mayores, aumento de la exactitud de los envíos y, por ende, un menor número de reclamaciones. Además, se puede mejorar aún más la planificación de rutas por la información en tiempo real sobre las condiciones de los lugares de recepción y descarga.





La **CARGA AUTOMATIZADA DE CEMENTO** permite operar durante todo el día. Los conductores descargan el cemento utilizando tarjetas digitales. Los datos son procesados automáticamente.

CONEXIÓN ON LINE CON LOS SILOS de cemento ubicados en el puerto o en otras localizaciones: permite conocer su grado de llenado y realizar la descarga desde la fábrica.

CONTROL DE LA FLOTA DE HORMIGONERAS MEDIANTE SISTEMAS GPS mejorando la trazabilidad y servicio.

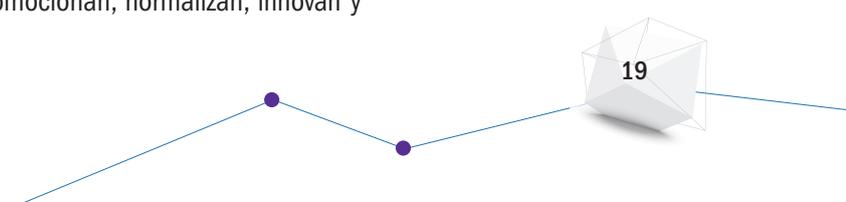
PROCESO DE ENTREGA “PAPERLESS”, ALBARÁN Y FIRMA DIGITAL.

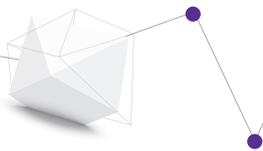
EVALUACIÓN DE SERVICIO ON LINE, con análisis de causa raíz.

Adicionalmente, la planificación de rutas puede ser optimizada basándose en la información disponible en tiempo real de las condiciones en los lugares de recogida y de entrega.

3.5. Clientes

Los clientes son una parte esencial del ecosistema inteligente para la industria, eslabón de cierre de la cadena de valor y dinamizador del modelo de negocio. Palabra que se utiliza en sentido amplio para abarcar los consumidores, agentes, instituciones, universidades, asociaciones, administraciones y otros, sean públicos o privados que compran, utilizan, investigan, descubren nuevas aplicaciones, promocionan, normalizan, innovan y





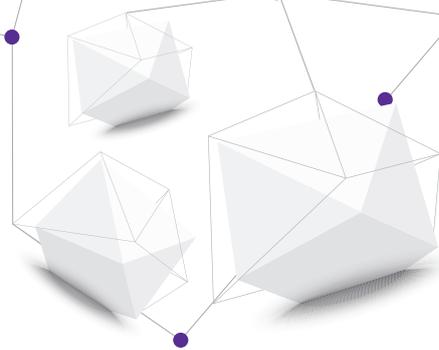
toman decisiones con el resultado de activar el consumo de cemento y mejorar su percepción como material de construcción.

En sentido estricto, se distinguirán dos tipos de clientes en cuanto a su grado de interacción con el ecosistema: el de consumidores finales y el de impulsores de demanda; el primero formado por los agentes que realizan pedidos y el segundo por el resto de los colectivos mencionados antes. Tan importantes son los unos como los otros para el devenir de la industria.

Los clientes podrán acceder a información en tiempo real sobre la oferta y la demanda. La comunicación directa y abierta entre consumidores finales, otros clientes, productores de cemento y distribuidores permitirá una mejor planificación y cumplimiento de los pedidos con los requisitos señalados.

Todos los nodos del clúster de valor recibirán información sobre nuevos pedidos y sobre las variaciones de los que están en curso de fabricación, haciendo posible a los responsables de todos los eslabones de la cadena de valor la toma de decisiones para ajustar debidamente la producción y el suministro. En el nodo correspondiente al cliente, existirá, además, información actualizada sobre recomendaciones de uso de los productos, aplicaciones diversas y desarrollo de nuevos productos y aplicaciones. Asimismo, se dispondrá de información actualizada sobre normas, reglamentos, códigos y certificados de conformidad de los cementos del oferente.

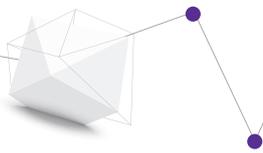
4 Cemento 4.0



Cemento 4.0 es una muestra de la capacidad y disposición del sector para afrontar un cambio de paradigma, una auténtica transformación del modelo productivo que no solo contempla procesos, servicios y productos, sino también modelos de negocio, formación y capacitación de los recursos humanos.

La iniciativa Cemento 4.0 tiene como objeto incentivar el uso y la explotación de la mejor tecnología disponible y de la digitalización para aprovechar el potencial de mejora en términos de eficiencia y flexibilidad por un posicionamiento estratégico en el mercado.





Para la elaboración de una hoja de ruta de Cemento 4.0, sincronizada con los pasos que hay que dar hasta que el factor digitalización esté generalizado a nivel industria, se propone seguir el método de “5 valores - 5 pilares - 12 componentes de la cartera digital” y someterse a una evaluación con una herramienta externa con la que la industria del cemento pueda cotejar sus resultados:

- **5 Portadores de valor:** en el futuro, la industria cementera será caracterizada como un **ecosistema** auto-organizado e inteligente.
- **5 Pilares:** que combinados permitirán a las empresas aprovechar el potencial de mejora en eficiencia y flexibilidad para un mejor posicionamiento en el mercado que el de sus competidores.
- **12 Componentes de la cartera digital:** aspectos clave en el proceso de digitalización de las empresas de la industria de cemento.

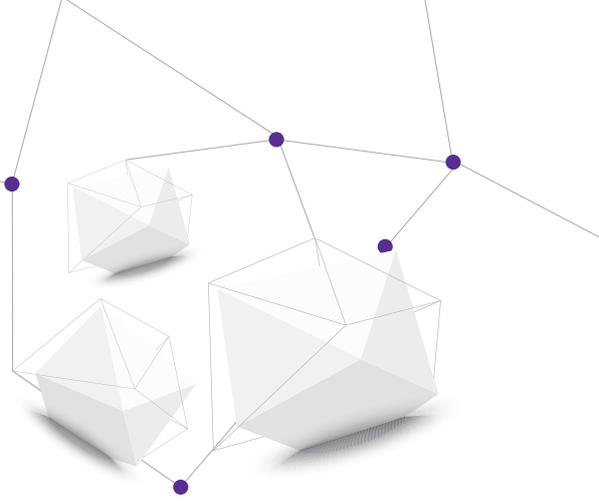
Una vez definidos los elementos del **programa de digitalización 5-5-12** será necesario evaluar la madurez digital de la industria del cemento y establecer un conjunto de objetivos para los cinco años siguientes. Muchas instalaciones de la industria han comenzado ya la digitalización de sus negocios, pero en algunos casos, el proceso se ha llevado a cabo con una mentalidad compartimentada más que con un enfoque holístico. La industria del cemento debe tomarse el tiempo necesario para evaluar la madurez digital antes referida en todas las materias cubiertas por Cemento 4.0. De esa forma podrá aprovechar sus fortalezas y conocer qué sistemas/procesos debería integrar en soluciones futuras.

Por otro lado, la herramienta avanzada HADA⁴ del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad MINECO, de autodiagnóstico digital, cumple los requisitos suficientes para iniciar el proceso de evaluación.

4 <https://hada.industriaconectada40.gob.es/hada/>



5 Los pilares de la industria conectada



Los pilares de la digitalización forman el conjunto de inversiones que las empresas deben acometer para desarrollar al máximo su potencial, así como para ocupar una posición estratégica en el mercado por encima de sus competidores.

Cemento 4.0 descansa en cinco pilares que, una vez desarrollados bajo una estrategia integrada, permitirán a las compañías aprovechar completamente los beneficios de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) desarrolladas en las dos últimas décadas.

Esos cinco pilares son los equipos inteligentes, el trabajo en red y la conectividad, la integración de la cadena de valor, los productos inteligentes y el análisis de datos.

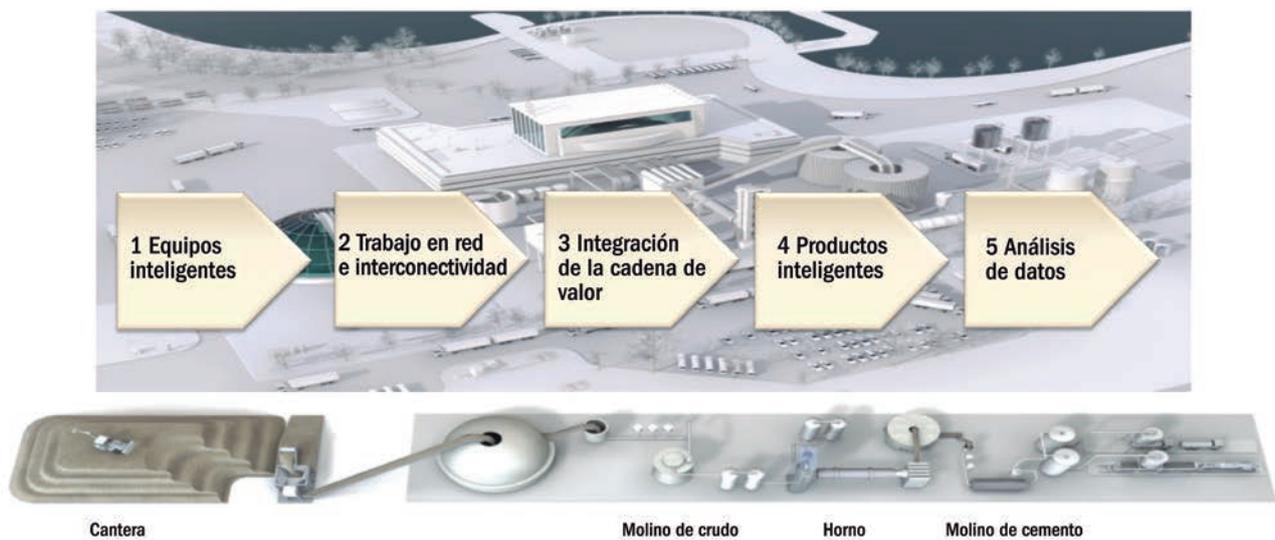
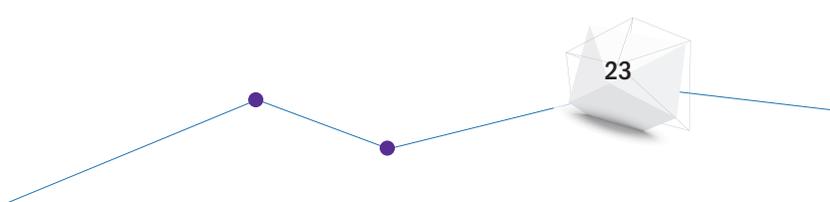
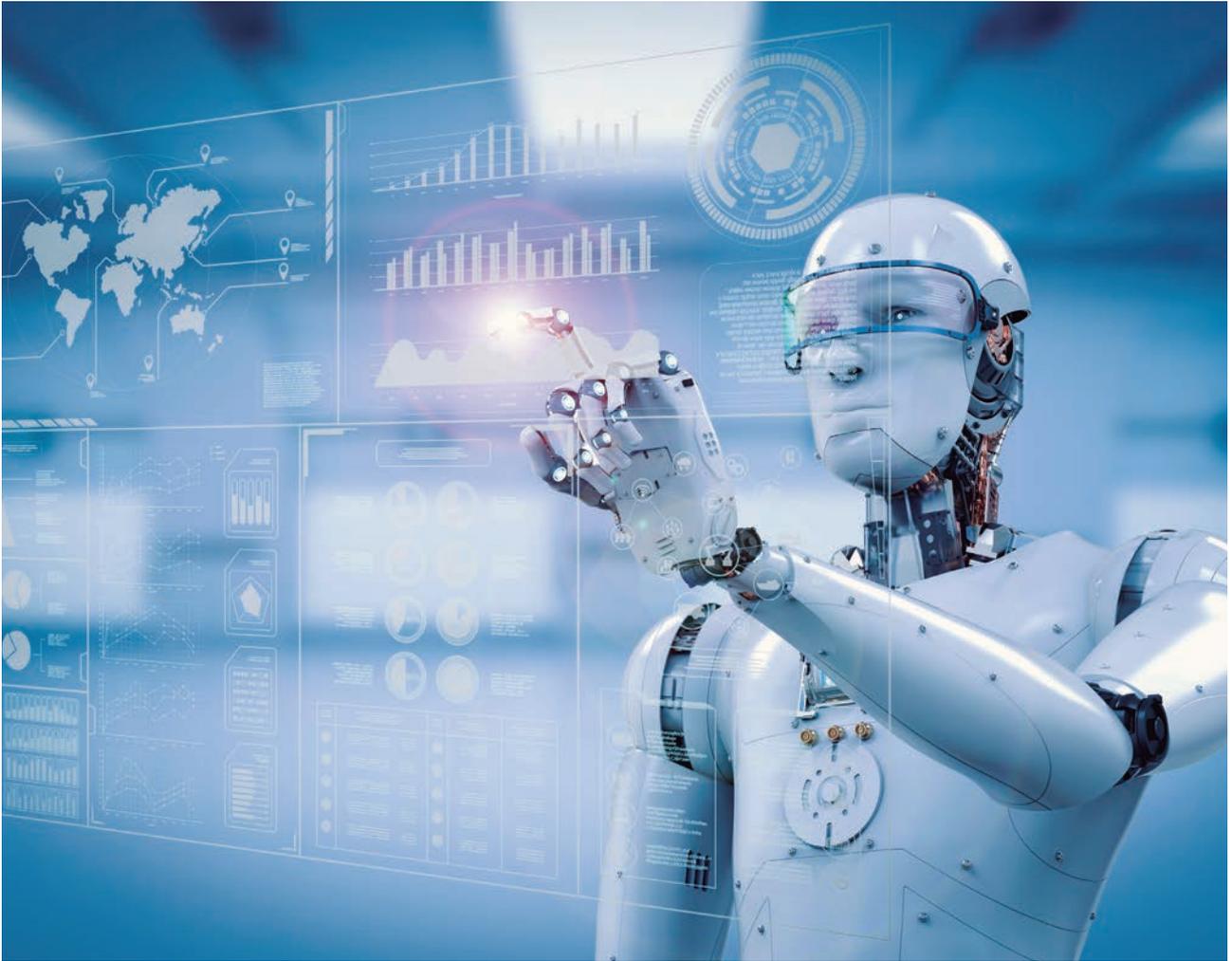


Figura 6. Los cinco pilares de la tecnología de la información

5.1. Equipos inteligentes

Los equipos inteligentes son activos fijos del proceso de fabricación, autónomos y capaces de interactuar con su entorno, a menudo con la ayuda de sensores que activan acciones de respuesta.

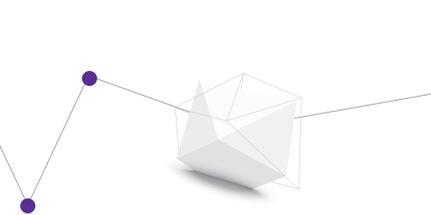




La automatización de los procesos y los equipos inteligentes son las piedras angulares de Cemento 4.0. Aunque se ha avanzado mucho, el auge del **Internet de las cosas** ofrece un abanico de posibilidades enorme cuyo límite está por descubrir.

Las plantas del futuro se dedicarán a producir con equipos inteligentes autónomos, capaces de interactuar con su entorno mediante sensores flexibles y de adaptarse a escenarios no previstos. Dichos equipos podrán, además, comunicarse entre ellos y con operadores humanos.

Todos los recursos de una planta cementera, materiales y humanos, estarán conectados vía internet, generándose entre ellos una novedosa interacción técnico-social. En breve, no solo los equipos sino también los productos serán inteligentes, gestionando por sí mismos el proceso de producción y dando instrucciones a las máquinas sobre las siguientes acciones que se deben realizar o las características especiales que hay que conseguir.



Uso de códigos QR (Bidi) en fábricas de cemento:

- Códigos QR en cascos de trabajadores para el control de capacitación y permisos de trabajo de los distintos equipos (seguridad).
- Códigos QR en productos químicos para visualización in situ de ficha de datos de seguridad y ficha técnica de los productos.
- Códigos QR en equipos para visualización in situ de procedimientos de trabajo, características del equipo y repuesto.

5.2. Trabajo en red y conectividad

El trabajo en red y la conectividad están basados en **sistemas TIC descentralizados** que cubren todos los aspectos de la producción, forman el hábitat de un ecosistema para la integración de nuevas aplicaciones y equipos y pueden crear una visión virtual de la producción.



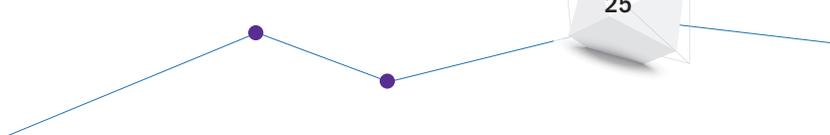
Figura 7. Integración de la cadena de valor

Para aprovechar la disponibilidad creciente de información que traerá la digitalización de los procesos de producción de cemento, es esencial conectar todos los niveles funcionales de cada empresa mediante un único sistema TIC descentralizado. De arriba abajo estarán conectados los niveles de empresa, dirección, operación, control y nivel de campo. En el clúster de valor de cada planta la conexión será completa y cubrirá todos los aspectos de las operaciones allí realizadas: desde la logística de recepción hasta la de distribución, pasando por la ingeniería de producto y la fabricación.

El papel de un sistema como el descrito es el de salvar la distancia entre el mundo físico y el digital. De ahí su nombre: **sistema ciber-físico**.

5.3. Integración de la cadena de valor

La integración de la cadena de valor será consecuencia de la integración de los sistemas TIC. Las operaciones que se llevan a cabo a diario en una empresa estarán mejor coordinadas cuando se haya producido la integración de la cadena de valor en el conjunto de métodos y variables de decisión y esta se produzca de forma optimizada, en muchas ocasiones automática. La conexión completa y en tiempo real de todos los eslabones de la cadena, que provocarán los clústeres de valor y la automatización, serán los factores integradores de toda la cadena de valor.

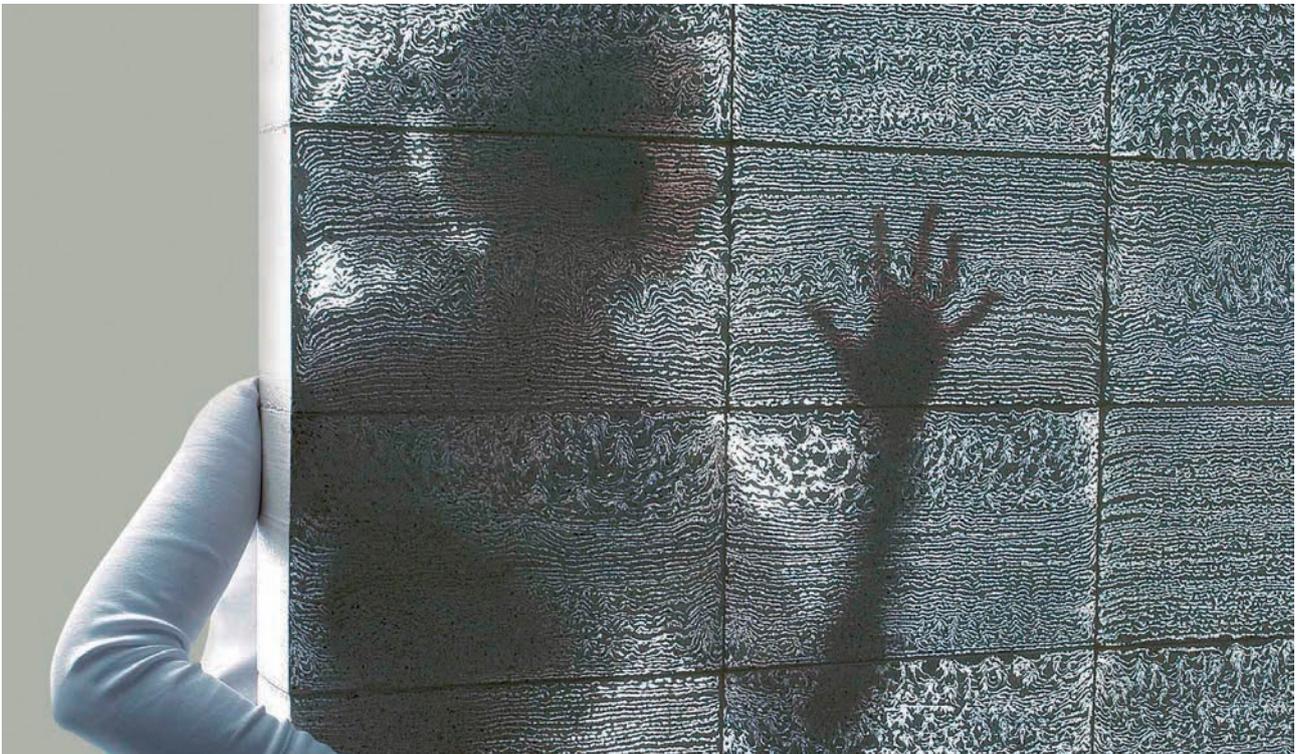


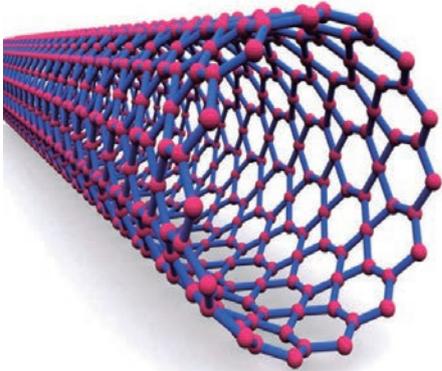
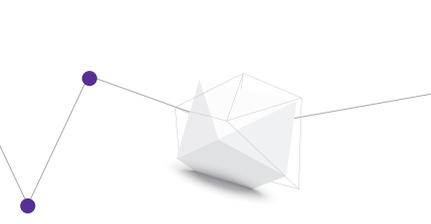
La potencia de los mecanismos de decisión que añade dicha integración es enorme por serlo también la información disponible en tiempo real que, convenientemente procesada y resumida, es una base sólida para la dirección de los procesos. Los cambios en la oferta y en la demanda serán directos y automáticamente suministrados al proceso productivo, de modo que las empresas podrán reaccionar rápida y eficientemente a fases de mayor volatilidad en el mercado. Esto hará que las empresas sean significativamente más ágiles y puedan evolucionar desde modelos estáticos de producción a modelos dinámicos y orientados al mercado.

5.4. Productos inteligentes

Son productos inteligentes aquellos que participan en el proceso de producción proporcionando datos a los equipos sobre los siguientes pasos a dar, especificaciones, requisitos, etc. Tienen la capacidad de interactuar con los clientes y proporcionar **beneficios y servicios adicionales a los de su función inmediata.**

Si una empresa es capaz de combinar e integrar los cuatro pilares descritos hasta ahora en sus procesos y actividades, podrá identificar nuevas necesidades de los clientes rápidamente, incluso intuirlos, y reaccionar en plazos más cortos que los actuales. Además, la empresa será capaz de identificar nuevas líneas de negocio que hoy no tiene en cartera, tales como contratos de producción o activos compartidos, servicios de nube o transferencia de conocimientos y aptitudes.





NANOTUBOS DE CARBONO EN EL HORMIGÓN. Un nanotubo es el material resultante de agrupar una lámina de carbono en forma de cilindro. Su adición en pequeñas proporciones al hormigón confiere a este material un aumento de la resistencia de hasta 50 veces y la adquisición de propiedades piezorresistivas. De este modo se podrían obtener elementos estructurales autosensitivos, es decir, elementos estructurales que por sí mismos nos proporcionarían información cifrada sobre su estado tenso-deformacional, sobre su estado de conservación y sobre posibles necesidades de actuación preventiva.

SENSORES MAGNÉTICOS Y “HORMIGÓN INTELIGENTE”: Los trazadores magnéticos embebidos en el cemento, capaces de emitir una señal única identificable, permitirán el desarrollo de cementos inteligentes que aporten al usuario información en tiempo real sobre su tipología, procedencia y prestaciones.

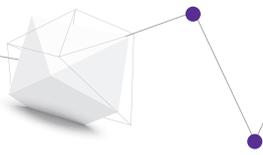
La utilización de hormigones con estos materiales de cambio de fase PCMs en edificación con el objetivo de almacenar energía, en combinación con sistemas de gestión basados en la inteligencia artificial, TICs y Big Data que tengan en cuenta la disponibilidad de energías renovables, el coste de dicha energía, la predicción meteorológica y el comportamiento del usuario, permitirá gestionar la demanda del edificio utilizando estrictamente energías renovables y estabilizar la red eléctrica, minimizando la necesidad de nuevas inversiones en materia de generación.

Su empleo en otros campos dentro del propio hormigón permitirá detectar cualquier anomalía en el mecanismo de trabajo del elemento en que se encuentre embebidos.

BIM o *Building Information Modeling* es una metodología de trabajo colaborativa para la creación y gestión de un proyecto de construcción. Su objetivo es centralizar toda la información del proyecto en un modelo de información digital creado por todos sus agentes. BIM supone la evolución de los sistemas de diseño tradicionales basados en el plano, ya que incorpora información geométrica, de plazos, de costes, ambiental y de mantenimiento (7D). BIM.

El uso de BIM incluye las fases de diseño y ejecución del proyecto y se extiende a lo largo del ciclo de vida del edificio o unidad, permitiendo su gestión y reduciendo los costes de operación. El potencial que presenta para mejorar el conocimiento real del comportamiento del hormigón es muy prometedor.





5.5. Análisis de datos

Las herramientas estadísticas para el análisis de datos que hoy se poseen son formidables y más aún cuando la muestra móvil es superabundante en periodos muy cortos, casi instantáneos. Con frecuencia, los análisis serán de tipo predictivo y sus resultados se utilizarán para mejorar las actividades de mantenimiento y producción. Las muestras de datos que usarán provendrán del procesamiento de grandes cantidades de señales emitidas en tiempo real, normalmente almacenadas en la nube de valor.

Para aprovechar plenamente las oportunidades que generará la inversión en los cuatro primeros pilares de la digitalización, las empresas deberán desarrollar o adquirir herramientas de análisis de datos. La aplicación de algoritmos estadísticos a las series temporales de datos multidimensionales obtenidos en tiempo real permitirá aprovecharlos al máximo por la enorme cantidad de datos que proporcionará Cemento 4.0. Los beneficios potenciales del análisis de datos, en un escenario estadístico tan favorable, van desde el ahorro de costes por un mantenimiento preventivo y una práctica eliminación de existencias almacenadas (por un análisis predictivo de cuellos de botella previsibles), hasta la optimización de los activos ligados a la producción y la mejora de la estrategia empresarial (por estar basada en una mejor información y en una mayor posibilidad de acción).

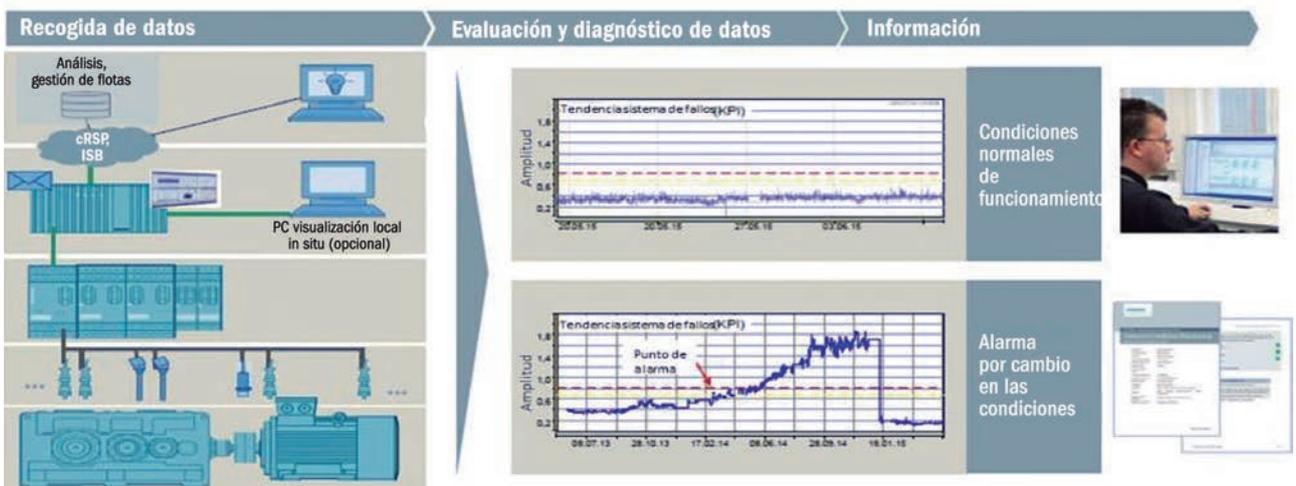


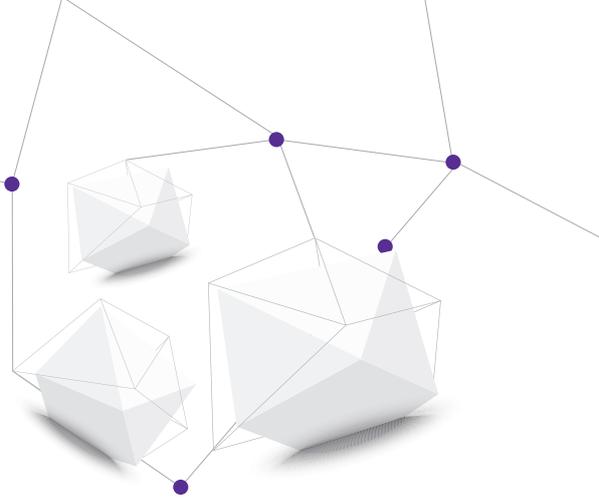
Figura 8. Análisis de datos

Estos cinco portadores de valor referidos, deberían coexistir en una integración horizontal, vertical y de ciclo de vida del producto.



Figura 9. Esquema de triple integración

6 Elementos de la cartera digital



Los elementos de la cartera digital de Cemento 4.0 son:

1. Automatización fiable del proceso de fabricación del cemento.
2. Ahorro de energía sistemático.
3. Control de proceso avanzado.
4. Seguridad de la información y de la red.
5. Estructura de información de la industria (IT).
6. Tecnología de sensores y equipos inteligentes.
7. Control y diagnóstico de estado.
8. Gestión de fabricación inteligente.
9. Gemelo digital y simulación.
10. Análisis "MindSphere" de los datos de fábrica.
11. Diseño del ciclo de vida de la fábrica.
12. Funcionamiento autónomo.

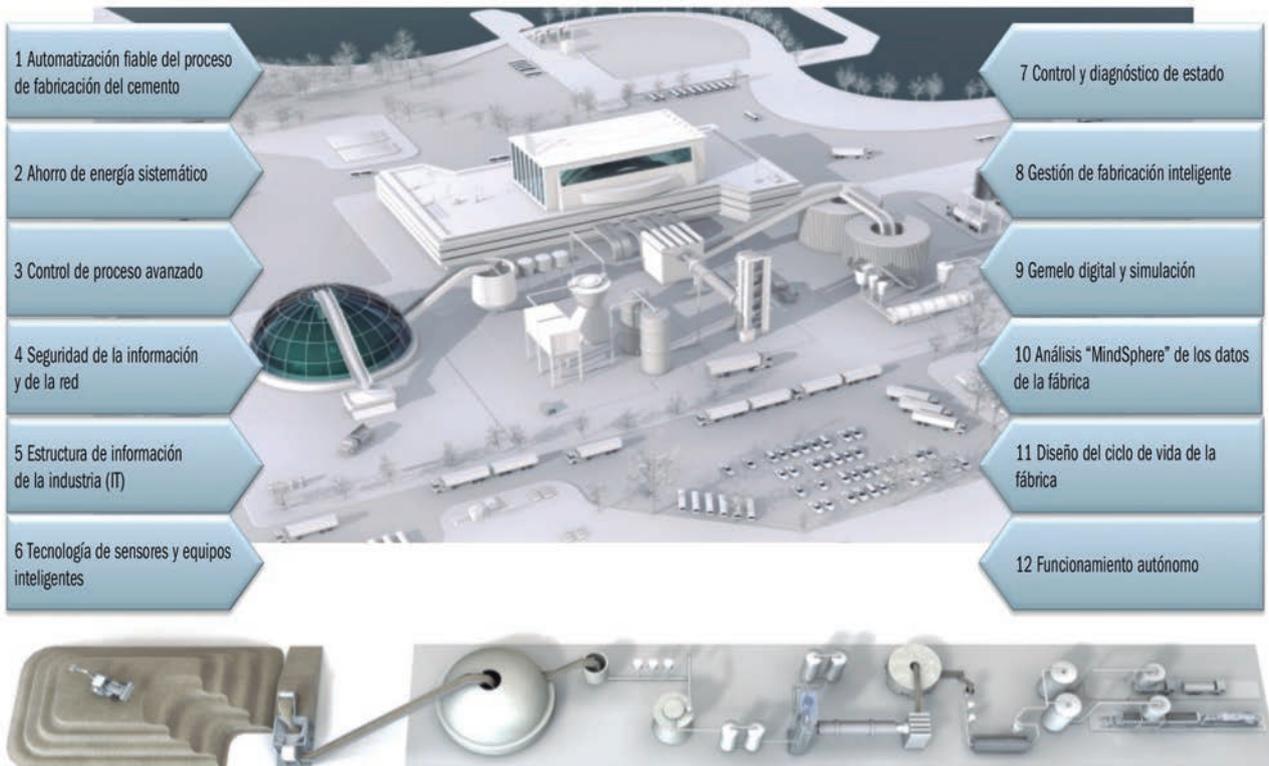


Figura 10. Elementos de la cartera digital de Cemento 4.0

7 Modelos de evaluación

Muchas instalaciones de la industria han comenzado ya la digitalización de sus negocios, pero el proceso se ha llevado a cabo en muchos casos con una mentalidad compartimentada más que con un enfoque holístico. Será necesario dedicar un tiempo para evaluar el nivel de madurez digital en las áreas cubiertas por Cemento 4.0 como punto de partida. De esa forma se podrá saber en qué áreas es posible continuar el proceso, perfeccionando lo ya comenzado y qué otras áreas deberán acometer su digitalización en un futuro próximo. Este proceso de evaluación inicial debería ser aprovechado a los niveles de planta, empresa, e industria como envolvente, para valorar el recorrido necesario hasta que Cemento 4.0 fuera plenamente operativo.

Para acometer esa tarea de evaluación inicial se propone un “modelo de madurez” como herramienta que podría acelerarla. Otras herramientas posibles son “Digital IQ Benchmark 5” y la anteriormente citada HADA del (MINECO).

El proceso de transformación se recoge de manera sintética en la siguiente tabla:

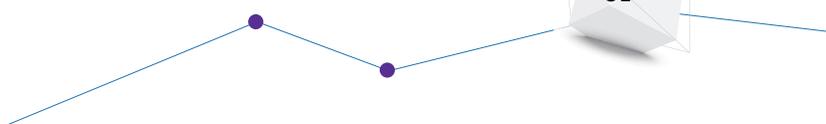
	1. Principiante digital	2. Integrador vertical	3. Colaborador horizontal	4. Líder digital
Digitalización de los modelos de negocio y del acceso de clientes	Primeras soluciones digitales y aplicaciones aisladas.	Cartera digital de productos y servicios con software, red (M2M) e información como diferenciadores clave.	Soluciones integradas para los clientes en el perímetro de la cadena logística; colaboración con socios externos.	Desarrollo de nuevos modelos de negocio alternativos con portafolio de productos y servicios innovadores.
Digitalización de las ofertas de productos y servicios	Presencia “en línea” separada de los canales tradicionales. “enfoque producto” en lugar de “enfoque cliente”.	Distribución multicanal con uso integrado de los canales “en línea” y tradicionales.	“Enfoque cliente” individualizado e interacción con los participantes en la cadena de valor. Interfaces integradas y compartidas.	Gestión integrada del ciclo de compra del cliente en todos los canales digitales de marketing y ventas, con empatía del cliente y metodología CRM.

Figura 11. Capacidades que hay que desarrollar a través de siete dimensiones y cuatro etapas de Cemento 4.0



	1. Principiante digital	2. Integrador vertical	3. Colaborador horizontal	4. Líder digital
Digitalización e integración de las cadenas de valor (vertical y horizontal)	Subprocesos digitalizados y automatizados. Integración parcial de los procesos de producción o de las relaciones internas y externas con otros participantes. Procesos normalizados de colaboración parcialmente implementados.	Digitalización vertical. Procesos internos y flujo de datos dentro de la empresa. Integración limitada con participantes externos.	Integración horizontal de los procesos y de los flujos de datos con los clientes y otros participantes externos. Uso intensivo de datos por la integración completa de los clústeres de valor.	Ecosistema EIC 4.0 completado. Totalmente digitalizado e integrado. Accesible para todos los participantes. Procesos optimizados y visualizados en realidad virtual. Foco en la competencia básica. Autonomía descentralizada. Acceso, prácticamente en tiempo real, a una cantidad extensa de información relevante.
Datos y su análisis como capacidad clave	Capacidad para analizar resúmenes de datos agrupados de forma casi manual. Procesamiento de datos y control de procesos en áreas seleccionadas. No se utiliza la gestión de eventos.	Capacidades analíticas soportadas por un sistema de inteligencia de negocio central (BI). Opera de forma aislada y facilita sistemas de decisión no normalizados.	El sistema central de inteligencia de negocios (BI) ha consolidado todas las fuentes de información relevantes, internas y externas. Se realizan algunos análisis predictivos con los datos. Se utilizan modelos de análisis que soportan métodos de decisión específicos y gestión de eventos.	Uso del análisis predictivo centralizado para la optimización en tiempo real y para la gestión automatizada de eventos, con bases de datos inteligentes y algoritmos autodidácticos que permiten un análisis de impactos y sirven de apoyo a la toma de decisiones.
Arquitectura TIC	Arquitectura TIC propia y fragmentada.	Arquitectura TIC propia y homogénea. Conexión entre cubos de datos diferentes en desarrollo.	Arquitecturas TIC comunes de los participantes en la red. Se ha formado un lago de datos único para todos ellos con capacidad de interconexión de alto rendimiento.	El entorno único de datos compartidos incorpora funcionalidades para la integración de datos externos y está dotado de una organización flexible. El servicio de mensajería en la nube para gestionar la interconexión entre los participantes. Intercambio de datos seguro.
Conformidad, seguridad, legalidad e impuestos	Estructuras tradicionales. La digitalización no es una prioridad.	Retos digitales reconocidos pero no abordados integralmente.	Riesgos jurídicos abordados de forma consistente con la colaboración de todos los participantes.	Optimización del clúster de valor respecto de la conformidad con las especificaciones, la ciberseguridad, los aspectos legales y la tributación.
Organización, empleados y cultura digital	Foco operativo en departamentos aislados.	Colaboración interdepartamental, aunque no estructurada coherentemente.	Colaboración que traspasa el perímetro de la empresa; cultura y fomento del intercambio.	Colaboración como factor clave de impulso.

Figura 11. Capacidades que hay que desarrollar a través de siete dimensiones y cuatro etapas de Cemento 4.0 (cont.)



8 Proyecto piloto inicial y propuesta de objetivos

8.1. Proyecto piloto inicial

Se recomienda seleccionar un ámbito limitado para el desarrollo de los proyectos piloto, pero teniendo siempre presente el objetivo final de Cemento 4.0. Una opción posible es la de incluir la integración vertical dentro de una o dos plantas de fabricación, añadiendo una planificación de la producción con ingeniería y datos en tiempo real integrados. Otra opción es la de reducir el ámbito del proyecto poniendo el foco en la integración horizontal con proveedores y distribuidores clave, por ejemplo mediante la instalación de dispositivos de seguimiento y ubicación de las expediciones que ayudan a tener una visibilidad integral de las mismas.

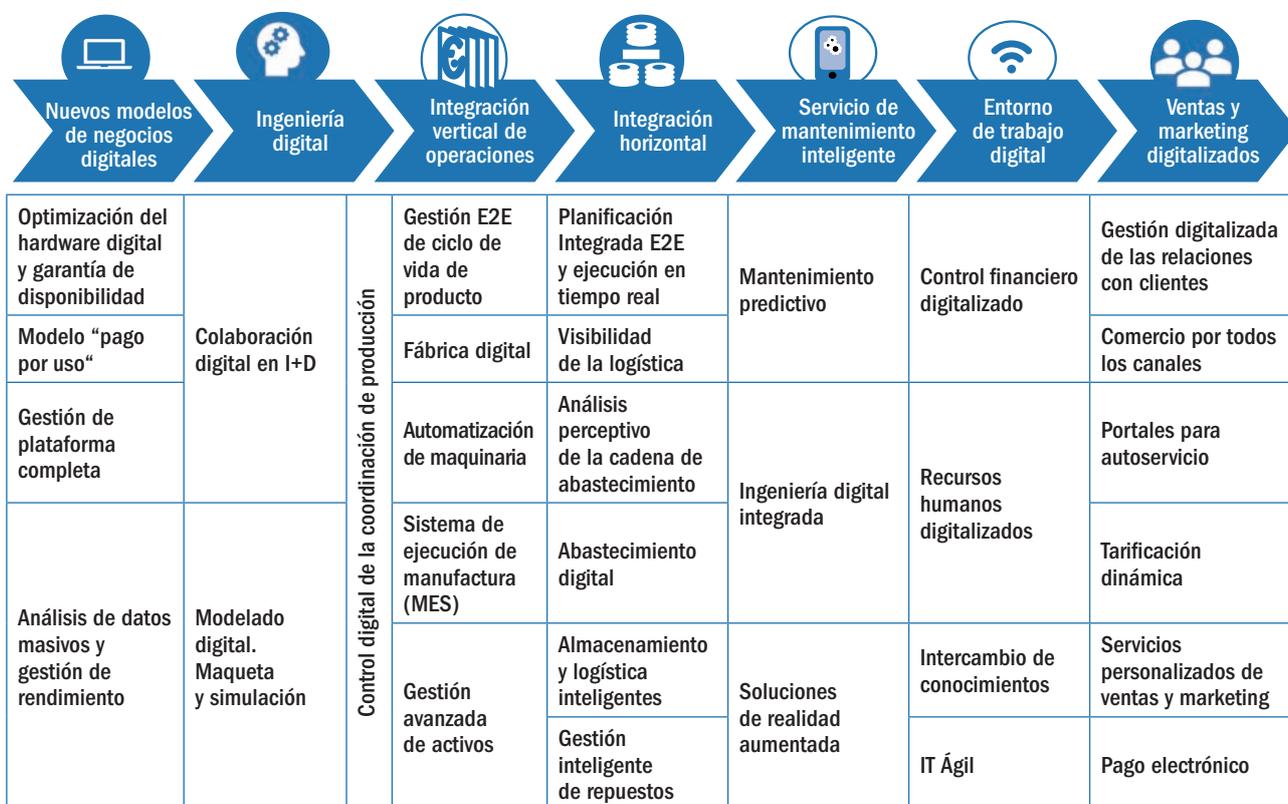
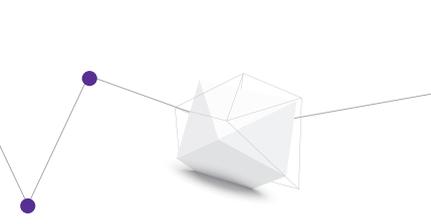


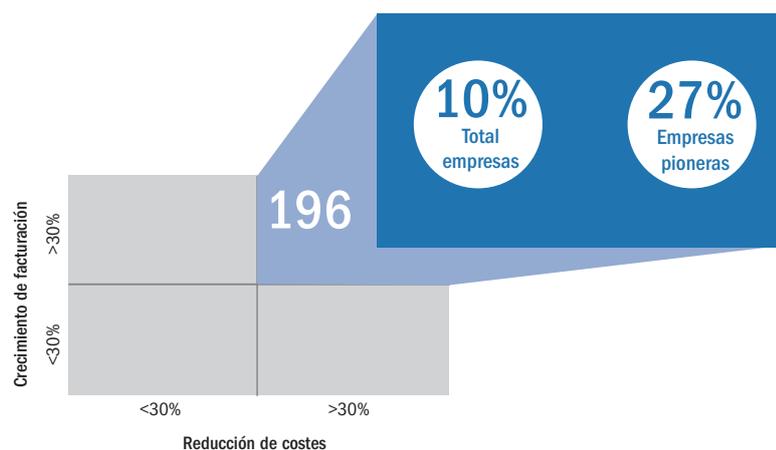
Figura 12. Cuadro de oportunidades para los proyectos piloto de Cemento 4.0 en las dimensiones vertical y horizontal de la cadena de valor



También se podría considerar la instalación de sensores y activadores en equipos críticos de fabricación y el uso del análisis de datos para explorar soluciones de mantenimiento predictivo. El cuadro de la Figura 12 muestra un resumen de áreas de actuación posibles en proyectos piloto.

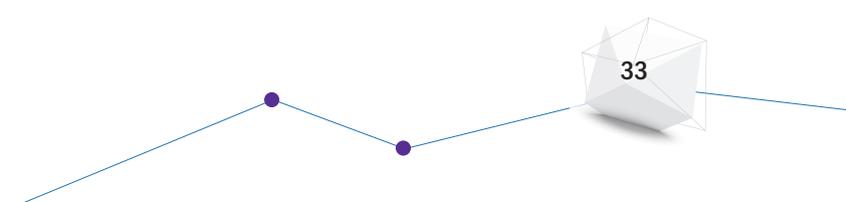
8.2. Propuesta de objetivos

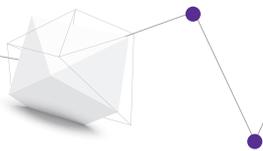
Es sabido que las empresas pioneras son, en promedio, tres veces más exitosas, combinando altos incrementos de facturación con beneficios adicionales por reducción de costes.



P: ¿Qué beneficios acumulativos de la digitalización esperan en los próximos cinco años? Menores costes, mayores ingresos

Figura 13. Menores costes y mayores ingresos son los dos beneficios más buscados por las empresas





Por el lado de los costes, las principales oportunidades que proporciona Cemento 4.0 surgen de **procesos optimizados y del uso eficiente de recursos disponibles utilizados con la mejor tecnología disponible**. Esto será posible tanto por disponer de equipos inteligentes como por la capacidad de analizar grandes cantidades de datos.

Las empresas se harán más flexibles frente a las circunstancias cambiantes del mercado y a las necesidades de los consumidores. Esa meta se alcanzará eliminando barreras entre los diferentes participantes de la cadena de valor y mejorando el flujo de información entre ellos.

Los objetivos propuestos para la reducción de costes en el ecosistema inteligente de la industria de cemento se muestran en la siguiente figura, con estimaciones para cada materia de la cartera digital de Cemento 4.0:

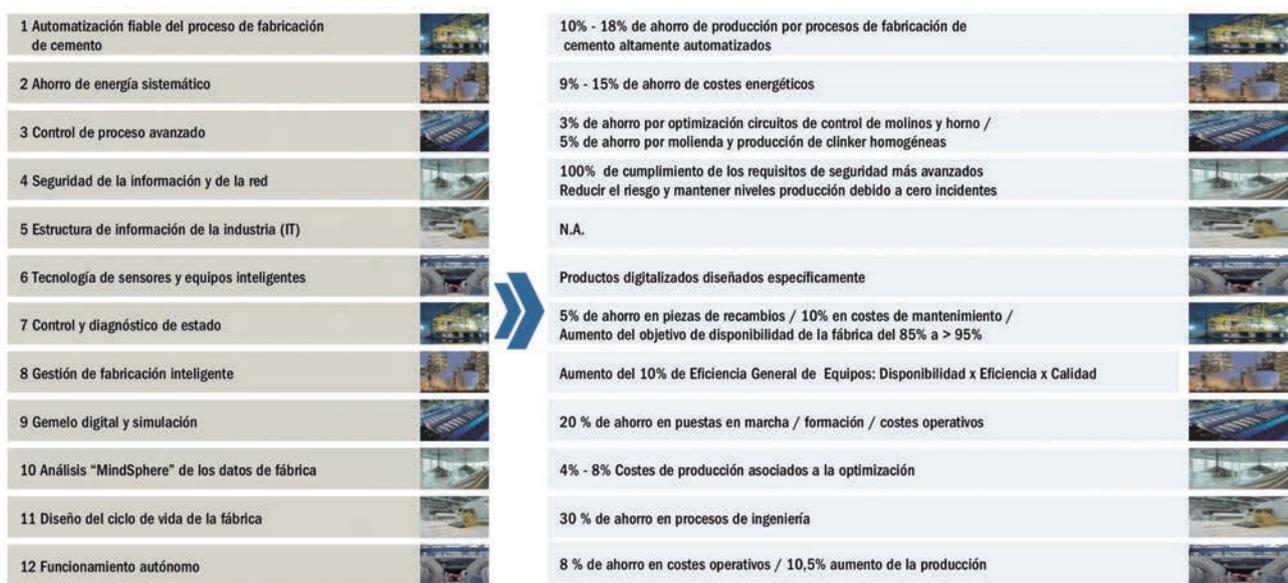
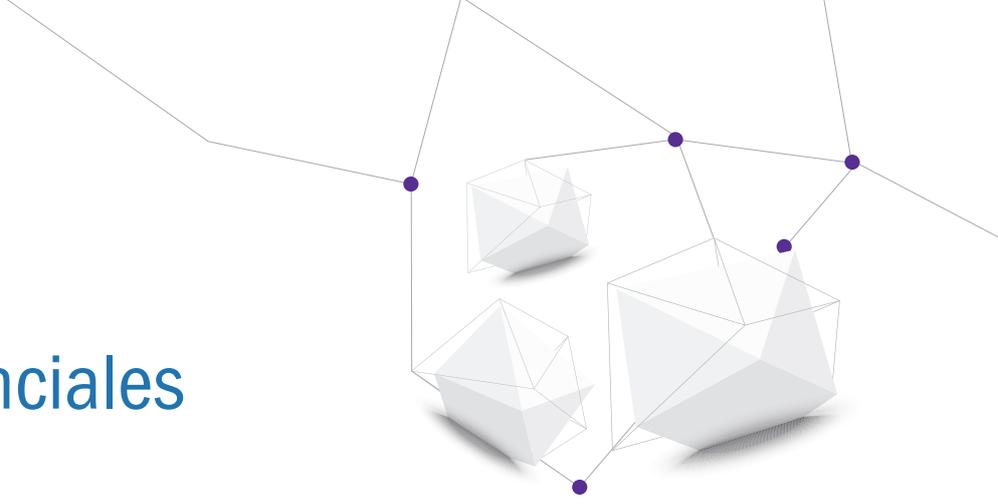


Figura 14. Componentes de la cartera digital de Cemento 4.0 y resultados estimados de su implementación



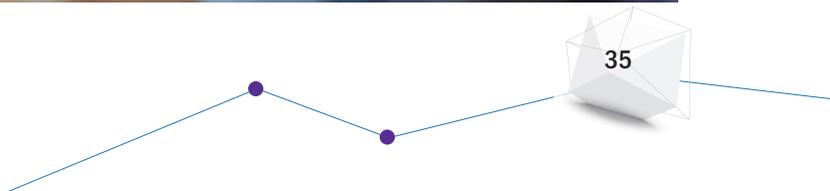
9 Retos potenciales



Existen no pocas dificultades que hay que vencer antes de que Cemento 4.0 pueda ser implementado de forma generalizada. El primer obstáculo, y el más importante, podría ser la falta de concienciación general acerca de los beneficios potenciales que conlleva Cemento 4.0, aunque también se deberán abordar los siguientes aspectos:

9.1. Normas

La aplicación de normas comunes aceptadas internacionalmente facilita la creación de valor añadido global por la interconexión entre personas, máquinas y sistemas, a través de la red. En tal contexto, la normalización de interfaces es especialmente relevante, pero la mayor agilidad de conexión podría ser vista como una ventaja competitiva.



9.2. Aspectos legales

La privacidad de los datos y la protección de la propiedad intelectual son temas no resueltos por el momento. La eficiencia de una red de valor global aumentaría significativamente si los datos pudieran compartirse y analizarse conjuntamente por los participantes en la red. Sin embargo, esta práctica colisiona con la comprensión actual y la regulación de la protección de datos.

9.3. Aspectos organizativos

Unas capacidades de investigación y desarrollo potenciadas y una gestión proactiva en innovación son requisitos básicos para iniciar y desarrollar Cemento 4.0 con garantías de éxito en una empresa. También son necesarias una cultura con visión de futuro, un ánimo de apertura a los cambios y una formación permanente para conducir el proceso de cambio.

9.4. Costes

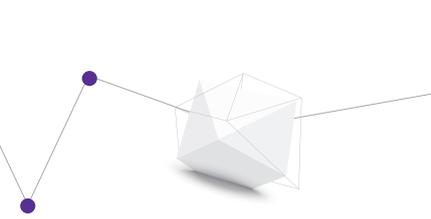
Los elevados costes de la inversión para modernizar la maquinaria dificultan la transición hacia sistemas de producción vinculados. Resulta necesario por ello obtener financiación suficiente para implementar los proyectos en innovación y para invertir en activos digitalizados. La dificultad para estimar el retorno de estas inversiones representa un obstáculo adicional para las decisiones de inversión en Cemento 4.0.

9.5. TIC: Seguridad de la tecnología de la información

Uno de los prerequisites para el éxito sostenible de Cemento 4.0 es el de la seguridad de la información y de las redes. Actualmente, disponer de una infraestructura TIC segura es específico del emplazamiento, pero en el horizonte que dibuja Cemento 4.0 debe ser claro que cuanto mayor sea el número de clústeres de valor interconectados, más crítico será el riesgo de ciberataques de impacto general.

Aparte de los ciberataques, existen otros riesgos potenciales del sistema de seguridad de la información, como el espionaje industrial, la suplantación de identidad, redes de zombis, trojanos y hackers. Esos riesgos, además de otros virus o software malicioso inyectados a través del correo electrónico, lápices USB o internet, representan una amenaza a las operaciones de las empresas y a la propiedad intelectual. Al mismo tiempo, el uso de sistemas de seguridad de las TIC inadecuados puede generar inquietud sobre los riesgos potenciales asociados al uso de tecnologías avanzadas, bloqueando de esa forma la adopción e implementación de Cemento 4.0.

Aún más, la implantación de Cemento 4.0 requiere una infraestructura tecnológica avanzada y estable. El sistema incluye numerosos componentes de hardware y software, sensores, infraestructura de redes y sistemas de control de procesos, de gestión de datos y de soluciones de redundancia.



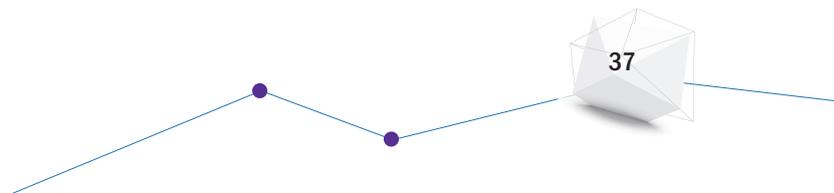
Los requisitos de infraestructura de la red y de ancho de banda, junto con la estabilidad y fiabilidad de los algoritmos utilizados, son aspectos que también se deben considerar. La tecnología utilizada tiene que cumplir los requisitos técnicos avanzados de Cemento 4.0 y asegurar la continuidad de las operaciones interconectadas.

Finalmente, el desarrollo y mantenimiento de la infraestructura TIC que necesita Cemento 4.0 requiere una asignación de recursos adecuada. Es esencial la coordinación centralizada y exhaustiva de la infraestructura TIC, de las actividades de automatización en todos los sistemas, de los emplazamientos y de las redes. Además, todo el conocimiento debe ser transferido a lo largo de la cadena de valor.

9.6. Aspectos sociales

Aunque históricamente la irrupción tecnológica ha favorecido el trabajo frente al capital, reduciendo las desigualdades sociales, los cambios repentinos pueden provocar reducciones de empleo temporales y localizados en determinados sectores, que, si bien darán lugar a otros empleos diferentes en el medio y largo plazo, pudieran generar tensiones sociales transitorias en la industria en cuestión.

Cemento 4.0 apuesta por un plan de formación digital que ayude a mitigar los factores sociales negativos y que sea capaz de responder adecuadamente a las demandas asociadas al rápido avance tecnológico. La formación continua será esencial para alcanzar el máximo beneficio.



10 Próximos pasos

La industria del cemento aún está en la fase inicial de desarrollo y participación que corresponden a la iniciativa Cemento 4.0. Sin embargo, existen casos prometedores de empresas que están dando sus primeros pasos en línea con dicha iniciativa que abren un abanico de oportunidades clave para el futuro.

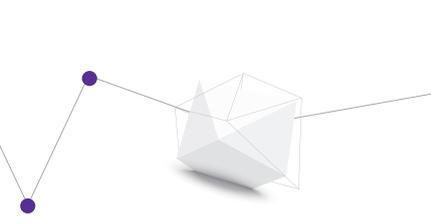
Las empresas embarcadas en alguno de los proyectos piloto de Cemento 4.0 deberían proseguir su desarrollo y buscar nuevas formas de desarrollo y despliegue de las experiencias y capacidades acumuladas. La industria debería compartir unas estrategias de desarrollo de Cemento 4.0 tanto a nivel de empresa como a nivel de cadena de valor, con los objetivos propios de cada caso.

La industria del cemento puede estudiar, aprender y sacar conclusiones de lo que estén realizando otras industrias en el campo de la digitalización y explorar cómo aplicar esas experiencias a sus propias actividades. La comunicación y las relaciones con otras industrias ayudarán a la industria del cemento a aprender, sea por conferencias, proyectos piloto similares o a través de intercambios informales.

En cualquier caso, una evaluación de Digitalización@Cemento 4.0 es un activador de la digitalización:



Figura 15. Evaluación de Digitalización@Cemento 4.0 como activador de la digitalización

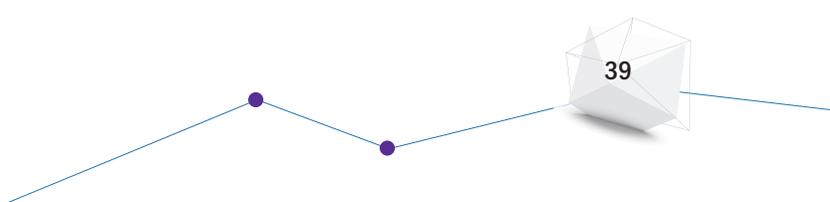


Adicionalmente, las empresas pueden mejorar la cohesión industrial y fortalecer las relaciones con los clientes mediante la planificación, desarrollo y financiación conjuntas de algunos proyectos piloto.

La industria tendría que intensificar su colaboración con los proveedores, distribuidores e interlocutores varios, que deberían sentirse motivados por el objetivo ambicioso de preparar una estrategia común para confluir en Cemento 4.0.

El desarrollo de Cemento 4.0 no ocurrirá por su propio impulso. Se necesitará una financiación elevada, en parte con el apoyo de las Administraciones. Las recientes iniciativas de la Comisión Europea y de los estados miembros sobre la industria conectada pueden ayudar a que ese desarrollo siga adelante.

El proceso de digitalización debe comenzar con la gestión del ciclo de vida del producto y todo ello con el objetivo de, por un lado, incrementar la productividad, y por el otro, abrir un gran abanico de nuevas oportunidades de negocio. Pero debe existir el convencimiento de todas las partes y la conciencia de que esta Digitalización@Cemento 4.0 será un proceso no inmediato y con dificultades de adaptación e implementación, pero al que le espera un brillante futuro.





Agradecimientos

Este documento no habría sido posible sin la participación de las empresas asociadas a OFICEMEN y sin la colaboración de SIEMENS, S.A. (Cement Department), que a mediados de 2017 constituyeron un grupo de trabajo específico para la elaboración de una hoja de ruta hacia una industria conectada en el sector del cemento.

Como primer paso, los nueve grupos cementeros que constituyen OFICEMEN cumplieron la herramienta de auto diagnóstico digital avanzada (HADA), del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, para evaluar el grado de madurez de las empresas para afrontar los retos de la Industria 4.0.

Con esta información, se elaboró un primer borrador que se completó con las aportaciones por parte de las empresas asociadas a OFICEMEN. Aportaciones que consistieron básicamente en ejemplos de digitalización ya existentes en la industria del cemento (laboratorios robotizados, uso de drones, modelos de analíticas predictivas, uso de “big data”...); así como valiosas reflexiones sobre la integración de este reto digital en toda la cadena de valor del sector cementero.

Finalmente, el documento se concluyó con las aportaciones de D. Juan Carlos López Agüí desde su experiencia de más de 30 años en el sector del cemento.

Esta amplia participación permite hoy presentar este documento básico para la digitalización completa del sector del cemento.



C/ José Abascal, 53 - 1º
28003 Madrid
Tel.: 91 441 16 88
info@oficemen.com