



LA INGENIERÍA Y LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN

DE LA LÓGICA CABLEADA A LA INDUSTRIA 4.0

Manuel V. Cadenas^(a) y Alicia Díaz Núñez^(b)

^aResponsable de Industria, Alimentación y Bebidas de Siemens España y ^bperiodista

Resumen

En las últimas décadas se ha intensificado el uso de las nuevas tecnologías en el sector agroalimentario. Así, han surgido tecnologías para tratamientos asépticos, conservación al vacío, atmósferas modificadas, altas presiones, microondas, envasado activo, biotecnología y un largo etcétera. Sin embargo, en comparación con otras industrias manufactureras igualmente importantes, como el automóvil, la industria farmacéutica o la química, la mayoría de la industria de alimentación y bebidas muestra claras evidencias de falta de estandarización e integración de software y hardware industrial de planta y presenta escasa definición y estandarización de su plataforma de automatización. Por tanto, uno de los retos pendientes que tienen los industriales del sector es entender mejor los sistemas de automatización y sistemas de gestión de la producción y energías, y analizar sus prestaciones y posibilidades para poder así plantear ratios de mediciones veraces en los ámbitos de trazabilidad, calidad, productividad, rendimiento de líneas, análisis e imputación de costes productivos y energéticos, etc., y alinearlos con los objetivos empresariales, al objeto de medir y actuar mediante acciones correctivas en un proceso de mejora continua. Nuestra importante industria alimentaria, en evolución e innovación constante, debe tener la suficiente amplitud de enfoque para priorizar la formación de sus cuadros directivos, ingenieros y técnicos, para entender y aplicar este concepto de fábrica digital y poder utilizar todas las ventajas que aporta y que nos hará más fuertes y competitivos en el complicado entorno global.

Abstract

The use of new technologies in the agrifood sector has intensified in recent decades. Thus, technologies have been launched for aseptic treatments, vacuum conservation, modified atmospheres, high pressures, microwaves, active packaging, biotechnology and a long etcetera. Nonetheless, compared to other manufacturing industries that are equally important, such as automobile, pharmaceutical and chemical, the majority of the food and beverage industry shows clear proof of lack of standardisation and integration of factory industrial software and hardware, as well as lacking definitions and standardisation on its automation platform. Therefore, one of the pending challenges of sector industrialists is to better understand automation systems and production and energy management systems. They should analyse their benefits and possibilities to be able to outline real measurement ratios in the areas of traceability, quality, productivity, line performance, analysis and allocation of production and energy costs, and so forth, aligning them with business targets in order to measure and take corrective actions in a continuous improvement process. Our important food industry, constantly evolving and innovating, must have enough breadth of focus to prioritise training its senior managers, engineers and technicians in order to understand and apply this concept of digital factory and be able to fully use all the advantages it provides and that will make us stronger and more competitive in the complex global environment.

1. Introducción histórica de la industrialización del sector de alimentos y bebidas

La Revolución Industrial que se vivió desde el siglo XIX tuvo una gran influencia en la industria alimentaria. Es en ese momento cuando empiezan a combinarse las actividades agrícolas y ganaderas que había hasta el momento, pero comienzan a aparecer nuevos factores industriales que cambian por completo el panorama del sector. ¿De qué manera?

En primer lugar, la Revolución Industrial estimula la investigación en el sector alimentario. Se desarrollan las ciencias agronómicas, que no son otra cosa que la aplicación de la química, la biología y otras ciencias a la agricultura. Además, esta aplicación se basa en una

experimentación bastante rigurosa. Es en el siglo XIX cuando muchos progresos científicos en el campo de la química, la biología, la microbiología o la mecánica comienzan a tener sus efectos en los alimentos: se mejoran las especies cultivadas a través de cruces y selección genética (herencia de Mendel); se empieza a hablar de nutrición (más allá de la alimentación básica); se desarrollan los campos de la higiene de los alimentos; y comienzan a mecanizarse algunas prácticas agrícolas.

Precisamente, todos estos avances juegan un relevante papel en el aumento de la producción agrícola que se registra, sobre todo, en la segunda mitad del siglo XIX. Los beneficios que aportan estas nuevas técnicas y la fuerte motivación para producir (ligada a que, en esta época, la mayor parte de las explotaciones agrícolas son de carácter familiar) contribuyen al crecimiento (algo más lento al principio, pero acelerado ya en el siglo XX) de la producción alimentaria. Es en ese momento cuando los alimentos empiezan a perder su carácter artesanal y surgen las primeras industrias.

La industrialización de las actividades de transformación de materias primas alimentarias se logra gracias a la introducción de nuevas técnicas, como la conservación, la refrigeración o la sustitución de ingredientes, así como por un desplazamiento de las actividades, tanto agrícolas como domésticas, hacia las nuevas industrias alimentarias que empiezan a surgir. A principios del siglo XIX, Nicolas Appert desarrolla las técnicas de conservación y esterilización de alimentos. En España, la primera fábrica de conservas vegetales se abre en 1850 (Gutiérrez de la Concha, en La Rioja). Poco después, Pasteur proporciona una base científica para la esterilización y se empiezan a desarrollar más aplicaciones industriales. También a mediados del XIX se desarrolla la producción industrial de frío. Y, a partir de ahí, el proceso ya es imparable. Poco a poco, los productos agroindustriales comienzan a reemplazar a los agrícolas. Aparecen las primeras descremadoras para productos lácteos, máquinas de corte, prensas continuas para la industria oleícola y hasta el Sr. Kellogg descubre, de manera casual, eso sí, los cereales de desayuno, al olvidar maíz en un horno caliente.

Al mismo tiempo, la Revolución Industrial provoca un gran cambio en la distribución demográfica de muchos países, incluida España: se experimenta un importante éxodo rural. El desarrollo industrial demanda mano de obra y la población comienza a moverse hacia las ciudades. Esta tendencia fue enorme en países como el Reino Unido, pionero en el crecimiento industrial, y algo más lento en los países del sur de Europa. También influye en la revolución de los transportes. El siglo XIX vive el triunfo del ferrocarril, del barco de vapor y, ya en el siglo XX, el del automóvil. Esto deriva en el desarrollo de otros, como los transportes frigoríficos, que permiten recorrer grandes distancias con los alimentos, preservando su conservación, lo que sienta las bases de la creación de los primeros grandes mercados en las ciudades, donde se venden todo tipo de alimentos.

Ya a principios del siglo XX comienza a desarrollarse la ingeniería de procesos, lo que da lugar al auge de las tecnologías del procesado y la conservación de alimentos. Se amplía el conocimiento sobre enzimas, se desarrollan los sistemas de cierre de envases de hojalata; llega

la congelación rápida; comienzan a utilizarse gases en la conservación o la aplicación del frío a la deshidratación de alimentos. Y todo ello antes de 1950.

Las décadas de los 60 y los 70 traen consigo el comienzo de la incorporación de la mujer al mundo laboral y un cambio en las necesidades a la hora de cocinar. Y empiezan a aparecer los primeros productos semielaborados que facilitan las tareas en las cocinas domésticas.

A mediados de los 80, la entrada de España en la CEE marca un nuevo hito para la industria alimentaria en España. Se abren nuevos mercados y, con ellos, el horizonte de los negocios, por lo que se vive un notable esfuerzo por crecer e internacionalizarse.

Y conforme nos acercamos al siglo XXI, las nuevas tecnologías en el sector alimentario se multiplican. La explosión demográfica que se ha producido en los últimos 50 años hace necesario investigar en nuevas técnicas que garanticen el abastecimiento de alimentos a la población mundial. Pero no solo eso. Las demandas de los propios consumidores han ido aumentando con el paso del tiempo: productos más seguros, nutricionalmente mejores; con más información disponible (desde su origen hasta que está servido en su mesa); nuevos productos funcionales; con menor impacto ambiental y más sostenibles, etc. Son muchas exigencias que obligan a la industria alimentaria a mantenerse alerta para satisfacer todas estas demandas.

Así, han surgido tecnologías para tratamientos asépticos, conservación al vacío, atmósferas modificadas, altas presiones, microondas, envasado activo, biotecnología, fluidos supercríticos, microencapsulación, recubrimientos alimentarios y un largo etcétera.

Pero, sin duda, el gran catalizador del progreso industrial del siglo XX ha sido la «automatización industrial».

Hasta ese momento, las máquinas dotadas de muy poca o casi ninguna capacidad de programación eran elementos productivos aislados y creados para ejecutar tareas con poca diversidad. La aparición de la automatización industrial permitió secuenciar y configurar distintos tipos de operaciones en la misma máquina o sistema, flexibilizando así la producción.

2. La automatización en la industria de alimentación y bebidas

Durante las décadas de los 50 y 60, la automatización se basaba, fundamentalmente, en los restrictivos y pocos flexibles sistemas de relés y lógica cableada. Es ya durante finales de los 70 y, principalmente, los 80 donde se evolucionó hacia un concepto de automatización industrial basada en microprocesadores, utilizando la incipiente tecnología TTL¹, que permitió la programación y ajustes de parámetros y variables en distintos soporte de memoria, como ROM² o EPROM³, para finalmente, y gracias al desarrollo de memorias programables sus-

¹ Lógica transistor a transistor.

² Memoria de solo lectura (*Read Only Memory*).

³ ROM borrable y programable (*Erasable Programmable ROM*).

ceptibles de borrado ultravioleta como EEPROM⁴, dar paso a la programación de las placas, siempre en complejo lenguaje sexagesimal y código máquina.

Esta tecnología permitió avanzar rápidamente en la automatización, tanto en las máquinas aisladas como en los primeros conceptos de aparatos integrados en líneas o células de producción. Si embargo, esta tecnología era entendible solo para unos pocos, por lo que era necesario un lenguaje de programación más accesible a ingenieros y procesistas.

De esta necesidad surgió el nacimiento de los autómatas programables durante la década de los 70, junto con el esplendor de la electrónica de automatización comercial basada en tecnología PLC⁵ con el empuje de la potente industria del automóvil.

Grandes fabricantes industriales invirtieron en el desarrollo de tecnología con electrónica comercial basada en el PLC y se crearon marcas comerciales como SIMATIC, de gran extensión en la industria, principalmente europea.

Las necesidades de automatización en las fábricas de alimentación y bebidas hicieron que sus equipos de ingeniería y mantenimiento empezaran a interesarse por plataformas de automatización abiertas, mucho más fáciles de mantener y con lenguajes de programación más asequibles, basados en el álgebra de Boole, que eran más accesibles a técnicos e ingenieros, quienes ya no necesitaban crear placas de regulación electrónica para cada nuevo control o elemento de campo que se tuviera que integrar en la planta.

En el ámbito docente, las ingenierías y escuelas técnicas empezaron a incorporar cátedras y clases de automatización basadas en esta tecnología, al existir ya una alta demanda de ingenieros y técnicos con esta especialidad en el mundo profesional.

El PLC se mostraba como la plataforma ideal para el crecimiento rápido de la industria, superando a la obsoleta electrónica de placa TTL, en la que hacía falta crear una placa nueva para cada uno de sus distintos desarrollos y prototipos.

Esta nueva tecnología permitió, tanto a los fabricantes de unidades de procesos, como a fabricantes de maquinaria de tecnología de envases y logística, acometer la automatización de plantas cada vez más productivas, seguras y flexibles.

Sin duda, el PLC es la gran aportación tecnológica, ya que supuso el inicio de la automatización industrial en el sector de alimentación y bebidas, permitiendo el desarrollo rápido de prototipos y plantas enteras automatizadas.

⁴ *Electrically EPROM.*

⁵ *Programmable Logic Controller.*

3. Siglo XX: la era de la automatización

Como hemos visto en la anterior introducción histórica, el cambio de modelo social y productivo de finales del siglo XX, donde el tiempo dedicado a la compra diaria prácticamente desapareció, dio origen igualmente a un cambio en los hábitos de consumo de la sociedad.

En las grandes ciudades, se empiezan a producir cambios en la manera de comprar, pasando del granel y el envase retornable —en los mercados y tiendas de barrio cercanas al domicilio—, a la necesidad de una única compra semanal o quincenal, principalmente en las grandes superficies.

Estos cambios influyeron también en las exigencias tecnológicas de las fábricas de producción de alimentos, donde la automatización industrial permitió grandes avances.

A modo de ejemplo, recordemos cómo en los años 80, en tecnología de envasado se produjeron grandes avances. Empresas españolas de origen familiar apostaron claramente por la tecnología y unificaron esfuerzos con los proveedores de *packaging* para desarrollar un envase que permitiera, al menos, tres meses de almacenamiento sin necesidad de frío.

Otro ejemplo remarcable de los avances que permitió la automatización fue la mejora, de manera decisiva, de la logística de producción, incrementando la eficiencia y precisión de los almacenes automáticos de ubicación caótica. Esto aportó inestimables ventajas, como la posibilidad de realizar cuarentenas, mantener *stocks* de seguridad, tener controlados los lotes o almacenar y distribuir varias marcas comerciales de manera ordenada, a tres turnos y siete días por semana.

A principios de los 90, la evolución de la automatización del final de línea y, sobre todo, el nacimiento del almacén automático, en todas sus vertientes, se convierten en el perfecto eslabón regulador entre producción y consumidor. El almacén automático se empieza a convertir en el colector que permite centralizar las pequeñas fábricas locales en grandes centros productivos y de distribución. Este concepto de «macrofábrica» se ubica en zonas estratégicas, acortando tremendamente los tiempos de distribución y aprovechando la notable mejora de las infraestructuras de transporte en España.

4. El «diálogo» con las máquinas

Igualmente, con el desarrollo del PLC nace la necesidad de crear un entorno de vigilancia del proceso, ya que, si bien el PLC nos permite crear algoritmos de regulación y secuencias lógicas, como adiciones, mezclas, cocimientos y limpiezas de líneas, etc., se hace necesaria la visualización de los estados del proceso, que permita al operario supervisar y atender las alarmas que se generan durante la producción, anticipándose al problema.

Los primeros pasos a la hora de informar visualmente del estado del proceso se realizan mediante sencillos sinópticos con *leds*, que iluminan sus distintos estados.

Pero, a medida que crece el número de variables y la complejidad del proceso, se hace necesaria la aplicación de *software* de visualización. Es entonces cuando nacen los sistemas SCADA⁶, coincidiendo con la evolución de plataformas de programación gráfica, como Visual Basic. Este *software* de visualización permitió establecer el diálogo entre el operador y el sistema de automatización y, por tanto, comunicarse con las máquinas.

El SCADA como *software* de visualización se hace cada vez más avanzado, permitiendo informar sobre variables de estado, tendencias de proceso, estado de las regulaciones, etc. y, sobre todo, permite crear recetas según secuencias y parámetros.

Ya en este entorno, los responsables de calidad final del producto (como son, a título de ejemplo, los «maestros» queseros o cerveceros) pueden crear su receta de producción y confiar en que el sistema los va a reproducir, exactamente y con la misma calidad, en todo el lote, de acuerdo a las pautas de su creación.

5. Alimentación y bebidas: un sector híbrido

Antes de continuar es necesario realizar una breve explicación del porqué de esta definición desde la perspectiva de la automatización, ya que es clave para entender la conexión de planta a negocio.

Bajo la clasificación de «sector híbrido», entendemos a la fábrica de alimentación como un entorno de automatización disociado pero convergente, en el sentido de que la planta debe responder a las exigencias de dos áreas de visualización, control y flujo de informaciones interconectadas, pero con distinto tratamiento y análisis. Estas dos áreas se definen como área de transformación primaria y área secundaria.

- *Área de transformación primaria.* Realmente, es el inicio del proceso productivo en la fábrica. Normalmente, se trata de un proceso continuo y comprende, principalmente, desde la recepción de las materias primas, llenado de tanques o silos de abastecimiento y procesado de las órdenes de producción, hasta que se deja a disposición del área de llenado o empaquetado, para pasar, posteriormente, al final de línea y la logística.

Esta área es un ejemplo típico de industria de proceso continuo y comparte características análogas con la industria química y farmacéutica, en la medida en que se deben controlar los lazos de regulación de manera absolutamente segura y trazada.

En esta área de transformación, el sistema de automatización debe controlar las distintas etapas del proceso, mediante unas secuencias y parámetros definidos en el sistema SCADA en forma de recetas, también llamado proceso «Batch»⁷.

⁶ *Supervisory Control And Data Acquisition.*

⁷ *Batch processing.* Es la ejecución de un programa repetitivo sin que sea necesario el control directo del usuario.

Es en este entorno donde se crean las mezclas y el procesado, permitiendo a través de las mismas que los responsables de desarrollo de producto puedan crear su producto y, después de ser validado por los distintos departamentos implicados, como calidad, *marketing*, etc., pueda ser liberado y enviado a producción.

Esta área tiene unas exigencias muy específicas, como por ejemplo, la de garantizar la seguridad del proceso del lote, entendida como «trazabilidad de producción».

Es fácil imaginar el desastre que ocurriría si mezclamos producto de un tanque de leche con el ácido o sosa del sistema de limpieza de tuberías, por lo que se prioriza absolutamente la seguridad y estado de los elementos de campo, como válvulas, intercambiadores, etc. Por tanto, se hace necesario disponer de sistemas de trazabilidad en continuo y sistemas de control de calidad alineados con la producción que sean, en algunos casos, predictivos para reaccionar antes de que ocurra el problema.

Además, estamos en el entorno de «la cocina de la fábrica», donde la trazabilidad es fundamental. Es necesario registrar en continuo todas las variables de calidad y seguridad de proceso, y lograr que puedan ser «historiadas» en una base de datos para poder ser puestas a disposición de la autoridad en caso de alarma alimentaria, tal y como recoge la UNE 178/2002.

- *Area secundaria (llenado y paletizado)*. Es en este área donde se realizan los procesos de producción de llenado y conformado de producto. Aquí se ejecuta el paletizado, almacenado y carga de producto en camiones. Por ejemplo, en las industrias de bebidas más punteras, esta es un área completamente automatizada, hasta el punto de que la carga de camiones también se realiza de manera automática.

Estamos en el campo de la automatización «discreta», entendiendo este término como la ejecución de la tarea autónoma de cada unidad productiva, pero enlazada con la siguiente unidad. Es decir, que las llenadoras, empaquetadoras, paletizadores, etc. terminan totalmente su tarea antes de entregarla a la siguiente unidad productiva.

Aquí los requerimientos son distintos, ya que las líneas necesitan rapidez y eficiencia, que debe medirse en indicadores para, evidentemente, poder mejorar.

Por tanto, se trata de dos áreas muy conectadas pero con distinto tratamiento, cuyos ratios deben analizarse y medirse en una misma capa de análisis que conecte el mundo de planta (PLC y SCADAS) con la capa de Gestión de Negocio (ERP⁸).

⁸ ERP (*Enterprise Resource Planning*), son sistemas de información que integran áreas de la gestión del negocio, y entre ellas las operaciones de producción y distribución de los bienes producidos.

6. Claves para mejorar y explotar la automatización de fábrica

Sin embargo, pese a su relevancia, la automatización industrial dentro del conglomerado industrial de una fábrica ha sido la gran desconocida para la mayoría de las direcciones generales y financieras de las empresas de este sector. Ellas han estado muy centradas en el proceso y en el negocio, y son grandes conocedores de los actores y métodos necesarios para elaborar, por ejemplo, excelentes productos, venderlos y distribuirlos consiguiendo beneficios, pero, tradicionalmente, han considerado a la electrónica industrial como un «mal necesario», cuyos elementos son desconocidos y suelen estar en el interior de los armarios que acompañan a las máquinas e instalaciones de su fábrica.

Así, vemos que una de las particularidades de la mayoría de fábricas de nuestro sector es la falta de integración de sistemas *hardware* y *software* industrial de planta.

En comparación con otras industrias manufactureras igualmente importantes, como el Automóvil, la Industria Farmacéutica o la Química, la mayoría de la industria de Alimentación y Bebidas muestra claras evidencias de falta de estandarización e integración de *software* y *hardware* industrial de planta y presenta escasa definición y estandarización de su plataforma de automatización.

A eso hay que añadir, además, una evidente falta de conexión de planta a Tecnología Informática (IT) a través de sistemas de Gestión de Producción MES⁹ y *software* de gestión de energías SGE¹⁰.

Quizá haya sido debido, en parte, a estas características de invisibilidad, lo que ha hecho a la automatización poco atractiva e interesante, comparada con la presencia física de tanques y *racks* de tuberías de acero inoxidable o, por ejemplo, con la cinemática de brazos robotizados o *Deltapickers*¹¹.

Cuestiones estéticas al margen, y ya dentro de una perspectiva puramente financiera, es relativamente sencillo justificar la inversión en un activo industrial, como una carretilla láser guiada, o una nueva línea de envasado, ya que los costes y el retorno de la inversión son, evidentemente, más tangibles, en ratios de incremento de productividad. Sin embargo, y aún siendo mucho más estratégica y beneficiosa, existe mayor complejidad en justificar un retorno de inversión en una estandarización e integración de sistemas de automatización, o en una plataforma MES para la gestión de la producción.

Entre otras razones, estas medidas forman parte de los sistemas que se centran en paliar los «costes ocultos» durante la operación (OPEX)¹² y existe bastante complejidad financiera para imputarlos como costes de inversión o de capital (CAPEX¹³).

⁹ MES (*Manufacturing Execution System*). Sistemas que dirigen las tareas de los procesos de producción en la planta de fabricación.

¹⁰ *Software* de Gestión Energética.

¹¹ Robot clasificador tridimensional, comúnmente denominado «araña».

¹² *Operating Expense*.

¹³ *Capital Expenditures*.

Paradójicamente, en las reuniones interdepartamentales, los responsables saben que es beneficioso para la empresa, pero aún así resulta complicado demostrarlo, por lo que la inversión no se aprueba. Sin duda, esta presión de encaje financiero es uno de los grandes lastres en la toma de decisión de inversiones estratégicas.

Hay que añadir, además, la evidencia de que los departamentos técnicos son cada vez más reducidos y cuentan con menos recursos, por lo que es fundamental incrementar la formación de los mismos, enfocada en Automatización Integrada y comunicaciones industriales, con el fin de que dispongan del conocimiento necesario para especificar plataformas de automatización estandarizadas e integradas y sistemas de diagnóstico eficientes.

Paradójicamente, sí existen potentes departamentos IT, donde las necesidades ofimáticas y administrativas conectadas a sistemas ERP han evolucionado durante años, bajo la atenta mirada de la dirección financiera, que sí entendía perfectamente, por ejemplo, los ratios de EBIT o flujo de caja, o gestión de nóminas y los han podido poner en valor frente a sus direcciones generales.

Sin embargo, les falta añadir el análisis automatizado y profundo del centro de coste de fábrica, convenientemente segmentado y agregado.

Por tanto, uno de los retos pendientes que tienen los industriales del sector es entender mejor los sistemas de automatización y sistemas de gestión de la producción y energías, y analizar sus prestaciones y posibilidades para poder así plantear ratios de mediciones veraces en los ámbitos de: trazabilidad, calidad, productividad, rendimiento de líneas, análisis e imputación de costes productivos y energéticos..., y alinearlos con los objetivos empresariales, al objeto de medir —«lo que no se puede medir, no se puede mejorar»— y, por supuesto, actuar, mediante acciones correctivas en un proceso de mejora continua.

Igualmente, es necesario dotar a la operación de la planta industrial de una plataforma de automatización integrada y estandarizada, con herramientas eficientes de diagnóstico, a través de comunicaciones industriales estandarizadas y convenientemente robustecidas. No debemos olvidar que una fábrica es un sistema de alta disponibilidad, que debe diseñarse bajo la premisa de máxima eficiencia para 3 turnos, 365 días al año, por lo que son clave, tanto la rapidez de diagnóstico, como la rápida recomposición del sistema. Esto se consigue mediante *software* de Automatización estandarizado y con soporte garantizado a través del tiempo con fabricantes de primer nivel, lo que se define como un correcto plan PLM (*Product Lifecycle Management*).

Por ello, es necesario especificar convenientemente todos los sistemas para garantizar su mantenibilidad a lo largo del tiempo. Y, por supuesto, invertir en la formación de los mantenedores, ya que son elementos clave en la operativa de la plataforma industrial.

Otra de las medidas sugeridas es crear un equipo soportado por expertos industriales de primer nivel que, a través de la confianza mutua y el estrecho trabajo con las direcciones técnicas,

pueda elaborar un plan director para la definición de su plataforma industrial, definiendo especificaciones enfocadas a mejorar la operación e incrementando los ratios de MTBF¹⁴ y MTTR¹⁵.

Cabe añadir, además, como otra de las grandes áreas de mejora (y debido a la relevancia de nuestro sector), la de la trazabilidad, calidad y control e imputación de costes operativos. Es patente la falta de sistemas capaces de gestionar toda esta información que nos llega de planta, desde los PLC y SCADAS, en una capa intermedia que «entienda» las interfases de máquinas y líneas, y las ponga a disposición de sistemas superiores ERP. Esta capa se define como MES y SGE y es lo que vamos a tratar dentro del capítulo siguiente.

7. Conexión de fábrica a negocio (sistemas MES y SGE)

Hoy en día, casi ninguna industria de primer nivel duda de la importancia de la integración de la plataforma de automatización industrial con el negocio. La capa de automatización contiene toda la información relevante de planta. Y es en este entorno donde residen las variables que conforman los indicadores claves de proceso, energías o de producción, y que deben capturarse con el fin de poder ser analizados mediante sistemas de gestión de producción (MES) o sistemas de gestión de energías (SGE).

El objetivo es alinear todas las distintas áreas de fábrica –energías, proceso primario, secundario y logística– con los intereses estratégicos de la empresa, bajo una visión holística de la planta.

Si, por ejemplo, analizamos el área de proceso primario desde una perspectiva financiera, rápidamente nos planteamos que disponemos de toneladas de producto base, en tanques preparados para ser llenados, esperando las órdenes de producción que nos vienen de los departamentos de ventas, con el objetivo de llevar a cabo el último procesado y que se convierta en producto final.

Vemos que el tiempo de puesta en mercado nos exige analizar de manera eficiente este «gran inmovilizado» de producto para convertirlo, en el menor tiempo posible, en producto vendido. Para ello, necesitamos atender a la demanda de las órdenes de producción de la manera más eficiente y, dado que los lotes son cada vez más cortos, las exigencias de producción deben ser más flexibles. Por lo tanto, la conexión y sincronización con ERP y el tiempo dedicado a tener las líneas preparadas son claves en el ratio de tiempo en el mercado (*Time to Market*).

Esto se consigue estructurando todas las áreas de la fábrica en matrices de KPI¹⁶ convenientemente segmentadas y agregadas e imputadas a centros de responsabilidad operativa (operación, calidad) o financiera (compras, imputación de costes).

¹⁴ MTBF (*Mean Time Between to Faillure*), indicador utilizado para medir la tasa de fallos.

¹⁵ MTTR (*Mean Time To Repair*), indicador usado para medir el tiempo utilizado en reparar un sistema.

¹⁶ KPI (*Key Performance Indicator*), indicador clave de producción.

A modo de ejemplo, se deben definir KPI de calidad, productividad o energéticos, analizando áreas, líneas, turnos y procesos. El objetivo es tener transparencia en la toma de decisiones, comparar fábricas, líneas y turnos, detectar mermas, etc. para poder aplicar estrictamente procedimientos de mejora continua, dirigidos a los distintos departamentos, segmentados por criterios de responsabilidad directa, y alineados con los objetivos comunes que vienen definidos por el plan director.

Para ello, y como hemos comentado, se necesita una capa de *software* que sea capaz de entender el lenguaje de comunicación de PLC y SCADA y que permita agregar la infinidad de variables en KPI de gestión, para conocer y medir en tiempo real cómo de bien o de mal se está comportando nuestra planta, referenciado a un ideal productivo, y poder así mejorar a partir de esta medición.

Es en este nivel donde se aloja el sistema MES (*Manufacturing Execution System*), como enlace entre el sistema de gestión empresarial, también llamado ERP (*Enterprise Resource Planning*), y la propia fábrica y sus distintos departamentos estructurados bajo esta matriz de KPI.

Y ¿por qué no asumir todas estas funcionalidades desde el ERP?

El ERP necesita esta capa, dado que ya está altamente atareado gestionando las ventas, facturaciones, RRHH, planes de producción e, incluso, el CRM¹⁷ para gestión de clientes.

Además, la manera en que opera el ERP, mediante potente metodología Batch, se da de bruces con la rapidez y los ciclos con los que funciona la planta. Por eso, el objetivo es descargarle de este nivel de análisis y responsabilidad de producción, pero sí conectarse a planta (MES) para saber el estado de sus líneas (disponibilidad) y su eficiencia (coste) antes de realizar la planificación de producción.

Por ello, los sistemas MES se están implantando, cada vez más, en las empresas punteras de alimentación.

8. Principales funcionalidades abarcadas desde MES y SGE

Los sistemas MES están dotados de unas funcionalidades clave que permiten analizar mediante informes y ratios las siguientes tareas claves para el negocio:

8.1. Garantizar la seguridad de mi producto y proteger mi marca

Sabemos que la percepción de calidad en el mercado es fundamental para sobrevivir en los lineales. El consumidor español valora y diferencia fuertemente la imagen de la marca en productos fundamentales de su dieta, como lácteos, derivados del huevo, pescado y cárnicos,

¹⁷ CRM (*Customer Relationship Management*) define una estrategia de negocio enfocada al cliente con el objetivo de generar relaciones a largo plazo y aumentar su grado de satisfacción.

panadería, cervezas y vinos. Por tanto, es necesario garantizar la trazabilidad y calidad de todo el lote.

Los sistemas MES permiten supervisar toda la «vida» del lote, creando un historial de las variables de proceso enlazado con la producción y permitiendo reaccionar a tiempo ante cualquier variación en los lazos de regulación, para detener, por ejemplo, contaminaciones cruzadas, rechazos de calidad, etc.

Por ejemplo, en el proceso primario necesitamos priorizar la producción segura y eficiente con estricta gestión de trazabilidad, permitiendo historiar lotes y ejecutar una impecable gestión de laboratorio. Disponer de sistemas MES de trazabilidad y calidad automatizados es una inversión absolutamente necesaria cuando se quiere garantizar la calidad con que llega nuestro producto a la sociedad. Además, nos permite ser capaces de anticiparnos al muestreo de calidad, ya que el sistema MES opera en continuo, y podemos reaccionar con inmediatez si detecta, por ejemplo, que se está contaminando un tanque de fermentación de 100 hl con sosa o ácido de CIP¹⁸, evitando el desastre que supondría tener que tirar toda esta producción.

8.2. Analizar los rendimientos de las líneas de producción

En el proceso secundario, sin embargo, se prioriza y mide la eficiencia de líneas y la velocidad de la producción. Se tienen en cuenta todos los factores que influyen: máquinas, líneas y operarios. Y se realiza midiendo los tiempos, paradas y mermas.

Es importante incidir en que la captación debe ser absolutamente automática para mantener el rigor de la transparencia de datos. La inserción manual debe ser minimizada, al igual que el flujo de papel en planta.

Las áreas en las que se centra el rendimiento de líneas y análisis de productividad son, normalmente, los sistemas discretizados, como el llenado, el empaquetado, el paletizado y el final de línea, que son los que pueden provocar un cuello de botella en la producción o distribución, evidenciando errores y mermas, y analizando las estrangulaciones productivas, bien sea en máquinas, líneas o turnos.

En este entorno productivo es fundamental amortizar al máximo el coste del proceso de llenado o empaquetado por unidad producida.

La eficiencia se mide con valores estandarizados como el OEE (*Overall Equipment Efficiency*), que resulta de multiplicar otras tres razones porcentuales: la disponibilidad, la eficiencia y la calidad.

- *Disponibilidad*: cuánto tiempo ha estado funcionando la máquina o equipo respecto del tiempo que quería que estuviera funcionando (quitando el tiempo no planificado).

¹⁸ *Cleaning in Place*: sistemas automáticos de limpieza de instalaciones de fluidos.

- *Eficiencia*: durante el tiempo que ha estado funcionando, cuánto ha fabricado (bueno y malo) respecto de lo que tenía que haber fabricado a tiempo de ciclo ideal.
- *Calidad*: es el indicador más conocido por todos. Cuánto bueno ha fabricado a la primera respecto del total de la producción realizada (bueno y malo).

En definitiva, el OEE indica con cuánta efectividad están siendo utilizadas las máquinas y líneas y, analiza, cuáles son los cuellos de botella para ejecutar esta mejora continua.

8.3. *Evaluar e imputar costes energéticos*

Además de conocer los costes de producción es necesario conocer y realizar una gestión eficiente de las energías.

Para ello, existen los sistemas de gestión de energías o SGE, que deben cumplir con la Directiva Europea ISO 5001 y que permiten establecer actitudes de ahorro en continuo, analizando procesos y operativas de gasto energético, para aplicar mejoras que faciliten, por ejemplo, acortar los tiempos de proceso, tanto de producto como de limpieza CIP, ejecutar los procesos de mayor consumo, en los tramos de tarificación más adecuados; o ahorrar recursos hídricos; además de proporcionarnos la suficiente información para emitir informes de huella de carbono y huella hídrica.

Si bien es habitual que la responsabilidad de la gestión de energías y su mejora continua recaiga actualmente en departamentos multidisciplinarios de ingeniería, sostenibilidad y producción, es muy recomendable que las direcciones generales se impliquen en este objetivo, nombrando o externalizando a un «gestor energético» que tenga una visión horizontal de la planta y que esté dotado del suficiente nivel jerárquico, ya que el ahorro energético, además de estar basado en una medición exhaustiva de todos los consumidores de las energías de planta, debe significar un cambio en el paradigma de aprovisionamiento y gasto de las mismas.

Todas las áreas implicadas deben contribuir buscando procedimientos de ahorro con objetivos anuales de mejora, basados en históricos de consumos en condiciones semejantes.

De nuevo debemos medir –y medir correctamente– para poder mejorar. Se deben establecer KPI energéticos igualmente segmentados, y que cada área contribuya con el objetivo común.

Para ello, los SGE deben disponer de registradores, bien sea mediante analizadores eléctricos, caudalímetros de vapor y de aguas de planta osmotizada, sin olvidar la importancia y el coste de la depuración.

Igualmente, se deben obtener datos de los sistemas de automatización –aquí de nuevo es fundamental una buena automatización integrada–, para asignar máquinas y procesos implicados, así como gestionar las posibles cargas para «balancear», es decir gestionar las

cargas agrupando los procesos de mayor carga energética en los tramos de tarificación más beneficiosos; o dar visibilidad del coste de los «lujos» energéticos, como arranque y paradas de sistemas innecesarias (compresores, calderas, etc.); o cuantificar costes por pérdidas de aire en compresores, o gastos de depuración, en caso de procesos costosos. Por ejemplo, el bombeo aeróbico demanda una gran cantidad de energía. ¿Tenemos este factor en cuenta cuando añadimos detergentes para limpieza de tuberías?

En la gestión financiera, el SGE es una fuente fiable de información para que el negociador de contratos energéticos pueda estar en condiciones de negociar a futuro el contrato con las compañías suministradoras, ya que pone a disposición, en base a captación y registros, la curva de demanda energética de su planta del ejercicio próximo y en qué periodos. Esto permite negociar en base a los planes de producción y los periodos con mayor demanda para ajustar la contratación a valores de potencia máxima contratada por periodo.

Asimismo, dentro de la fábrica, cada línea o turno puede disponer de un objetivo de energía disponible por proceso (previsión de gasto), anotando y justificando las desviaciones o lanzando acciones de mejora, en procedimiento continuo, por lo que estamos implicando y responsabilizando a la operación en esta cultura de ahorro.

El SGE debe poder, igualmente, emitir informes de huella de carbono o hídrica por producto y ponerlos a disposición de futuras certificaciones, como la comentada ISO 5001.

Quizá debido a la crisis que vive actualmente el sur de Europa, el consumidor de esta zona no valora esta ventaja adicional. Sin embargo, es habitual encontrar, en EEUU y en el Norte de Europa, la clasificación en estanterías por productos sostenibles, que sí pueden certificar su huella y el consumidor valora esta información.

9. Velocidad, calidad y flexibilidad

Hemos visto cómo el empaquetado y el final de línea se rigen por unas exigencias de calidad ejecutiva (OEE) y, además, de una buena flexibilidad de línea. Por lo tanto, la rapidez de ejecución de calidad, y también la capacidad de rápidos cambios de formato, son fundamentales para atender la exigente demanda del mercado.

Los cambios en las órdenes de producción exigen cada vez lotes mas cortos y complejos, por ejemplo, las exigencias de mercado demandan, cada vez más, un envase atractivo y cambiante, superando en muchos casos el coste del producto envasado.

Esta demanda de rapidez y eficacia en los cambios de formato hace necesaria cada vez más la aplicación de automatización de alto nivel con integración y tecnología de posicionamiento basada en ejes interpolados con servomotores. Que permitan a la línea tener un buen comportamiento en el *time to market* cuando se exigen nuevos posicionamientos.

Ya no solo es al financiero al que le preocupa el coste de producción por producto, sino que el «flujo de caja» es una variable importantísima a cubrir. Por lo tanto, el tiempo que tardo en vender este producto es clave.

La importancia del paletizado y la distribución y el impacto en la automatización

En la última década, el auge de las grandes superficies y su destacada posición en la jerarquía de la cadena de suministro, ha provocado un alto nivel de exigencia en las distintas configuraciones de paletizado del productor.

«El mosaico» de la paleta y su conformado, que puede exigirse multicapa y multi-producto, puede ser muy diferente dependiendo de las necesidades logísticas del «gran cliente» distribuidor. El reto no es solo contentar los requerimientos del cliente final sino también el canal del intermediario.

De ahí la necesidad, ya no solo de disponer de un sistema IT potente que gestione toda esta variabilidad de conformado de final de línea, sino del propio sistema paletizador, que lo convierte en un complejo sistema de transportes y almacenes automáticos intermedios, con alto nivel de automatización, incorporando tecnologías de transponders sin contacto, con tecnología de identificación por alta frecuencia (RFID), para permitir un *picking* automatizado, libre de errores.

Es esta tecnología, junto con la automatización aguas arriba, es la que permite identificar de manera electrónica cada bandeja de preparación o paleta con su pedido correspondiente, de manera rápida y eficaz, contemplando, ya no solo la conformación del pedido del cliente, sino el peso de los productos dentro de la paleta y la posición de esta en el camión, enlazada con la ruta del mismo.

De nuevo, vemos la alta necesidad de intercomunicación relacionada entre todas las bases de datos que participan en la cadena de suministro.

10. La *industria 4.0* y su posible repercusión en la industria alimentaria

Hemos iniciado el camino hacia una sociedad altamente informada y conectada. De hecho, nos encontramos en la denominada «era de la digitalización» y, en ella, aún es mayor el papel de la automatización.

Este alto nivel de conexión permite analizar hábitos de consumo y medir la respuesta de los consumidores a determinados estímulos.

El reto es poder convertir esta ingente cantidad de información llamada *Big Data* en *Smart Data*, que permita dirigir nuestro producto al mercado adecuado. Para ello, nuestra fábrica debe ser capaz de reaccionar rápidamente a los requerimientos de este nuevo *marketing*, tan potente y dirigido, ya que de poco vale crear un producto innovador y gastar grandes recursos en la comunicación del mismo si no eres capaz de cubrir la demanda del mercado en las primeras semanas. O, visto desde otro ángulo, ¿cómo puedo transformar mi producción en poco tiempo y qué recursos necesito si, afortunadamente, mi producto está consiguiendo un alto nivel de ventas?

Estos retos son los que están impulsando cada vez más una nueva generación de sistemas interrelacionados que, en su conjunto, forman la llamada *industria 4.0*. Presentada durante la Feria de Hannover de 2011 y basada en la postautomatización del siglo XX, se hizo referencia a esta cuarta revolución industrial, como evolución de la era de la automatización, después de la electricidad con fines domésticos e industriales del siglo XIX y la revolución industrial del vapor del siglo XIII.

Este concepto de industria 4.0 se soporta en varios campos de evolución tecnológica. Por un lado, aprovecha el concepto del «internet de las cosas» para, dentro del rigor de la ciberseguridad industrial (no hay que obviar que el sector de alimentación y bebidas entra dentro del Plan de Nacional de Infraestructuras Críticas), conectar elementos de campo, llamados elementos ciberfísicos, en una red de comunicaciones industriales, con capacidad de interconexión a Internet o a sistemas de *software* (SW) de gestión superior, como los comentados MES o SGE, para analizar datos y reaccionar con decisiones de manera rápida.

Además, podemos dotar a nuestro SW de cierta capacidad de simulación, para calcular, por ejemplo, el coste y tiempo de implementación de la línea de un nuevo producto, a través de paquetes de SW de modelizado virtual.

O podemos utilizar herramientas de ingeniería para ejecutar los proyectos en menor tiempo y rentabilizar antes la producción, o hacer que estos elementos ciberfísicos nos avisen de anomalías predictivas, basadas en horas de funcionamiento; o que nos pueden avisar de desviaciones energéticas producidas por motores en funcionamiento degradado, comparando lotes de producciones semejantes, etc.

La industria 4.0 no pretende ser, en sí misma, un cambio de paradigma en la automatización de nuestra fábrica sino que es una evolución de los sistemas de automatización actuales, relacionando el diseño real y virtual, la ingeniería y la planificación, apoyada por la modelización, gestión de la información con inteligencia de mejora continua y optimización de procesos e instalaciones. El objetivo es hacer fábricas más sostenibles, generando menos residuos y consumiendo menos energía.

Los proveedores punteros de tecnología están suficientemente preparados para la integración de la industria 4.0 en sus fábricas, acompañados además por entidades internacionales de estandarización como la OMAC¹⁹ que define los criterios de comunicación entre máquinas

¹⁹ The Organization for Machine Automation and Control (www.omac.org).

y nivel MES; la ISA²⁰ (www.isa.org), que define el estándar de niveles de automatización y Gestión, o el PNO²¹, donde se define el *hardware* de comunicación industrial.

Nuestra importante industria alimentaria, en evolución e innovación constante, debe tener la suficiente amplitud de enfoque para priorizar la formación de sus cuadros directivos, ingenieros y técnicos, para entender y aplicar este concepto de fábrica digital y poder utilizar todas las ventajas que aporta y que nos hará mas fuertes y competitivos en el complicado entorno global.

El paso siguiente es que las direcciones generales y técnicas de nuestro sector entiendan esta evolución y decidan cuál es el objetivo a corto plazo de su industria, para integrar la industria 4.0 en su plan director, aplicando la estandarización e integración de los sistemas de manera activa y la conexión de fábrica a negocio con las plataformas MES y SGE.

²⁰ *International Society for Automation* (<https://www.isa.org/>).

²¹ *Profibus Nutzerorganisation*: Organización de Usuarios de Profibus. <http://www.profibus.com/pi-organization/regional-pi-associations/spain/>.