



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Mecánica

Metrología 4.0. Implicaciones de la 4^a revolución industrial

Autor:

García Casado, Flavio

Tutor:

**Santos Martín, Francisco Javier
Área de Ingeniería de los Procesos
de Fabricación**

Valladolid, marzo 2021

i-RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

i.1 RESUMEN

Este trabajo de fin de grado contiene un recorrido histórico de la industria, en un plano más general, desde los inicios de los números, pasando por las más remarcables hazañas de las distintas revoluciones industriales, hasta llegar a un plano más específico, la Industria 4.0. Una vez en este plano se comentarán diversas tecnologías que favorecen el desarrollo de esta revolución y después se centrará más específicamente en los avances de la metrología, dando a conocer lo que podemos llamar como Metrología 4.0.

i.2 PALABRAS CLAVE

Metrología 4.0, Industria 4.0, revoluciones industriales, innovación, futuro.

i.3 ABSTRACT

This final degree work contains a historical view of the industry, in a general view, from the beginnings of the numbers, talking about the most remarkable moments of the different industrial revolutions, to reach a more specific plane, the Industry 4.0. Once in this plane it will be described the most important technologies that help the development of this last industrial revolution, and later on it will describe the vanguard of the metrology, leading to know what we can call Metrology 4.0.

i.4 KEY WORDS

Metrology 4.0, Industry 4.0, industrial revolutions, innovation, future.

i-RESUMEN Y PALABRAS CLAVE	3
i.1 RESUMEN	3
i.2 PALABRAS CLAVE.....	3
i.3 ABSTRACT	3
i.4 KEY WORDS	3
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN, JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS.....	8
1.1 INTRODUCCIÓN.....	9
1.2 JUSTIFICACIÓN	11
1.3 OBJETIVOS.....	12
CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE	14
2.1 REVOLUCIONES INDUSTRIALES	16
2.1.1 PRIMERA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL.....	16
2.1.2 SEGUNDA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL	20
2.1.2.1 Ciencia, tecnología, industria	21
2.1.2.2 Época del acero, de la química, de la electricidad y del petróleo.....	21
2.1.2.2.1 Acero	22
2.1.2.2.2 Química	22
2.1.2.2.3 Electricidad.....	22
2.1.2.2.4 El petróleo y el motor de explosión	23
2.1.2.3 La tendencia a la concentración	24
2.1.2.4 La racionalización productiva.....	24
2.1.2.5 La racionalización productiva y el mercado.....	25
2.1.3 TERCERA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL	26
2.1.4 CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL	29
2.1.4.1 ¿Qué disciplinas favorecen el desarrollo de esta revolución? ¿Qué trae consigo?	39
2.1.4.2 ¿Qué se espera de esta revolución industrial?	42
2.1.4.3 Algunas tecnologías importantes en la 4ª revolución industrial	50
2.1.4.3.1 IoT (Internet of Things)	50
2.1.4.3.2 AI (artificial inteligencia)	51
2.1.4.3.3 Manufactura aditiva.....	54
2.1.4.3.4 Aprendizaje automático.....	55
2.1.4.3.5 CPPS	60
2.1.4.4 Campos beneficiados por la Industria 4.0.....	68
2.1.4.4.1 Medicina	68

2.1.4.4.2 Agricultura.....	71
2.1.4.4.3 En el campo de la metrología, ¿que se espera?	85
2.1.4.4.3.1 Retos y tendencias de la tecnología de medición en la manufactura.....	90
CAPÍTULO 3: PROPUESTA PERSONAL.....	92
3.1 METROLOGÍA FORENSE	93
3.2 PLATAFORMA NANOMETROLÓGICA DE UN GDL (grado de libertad)	94
3.3 HAFM	98
3.4 DETECCIÓN DE CdCl ₂	101
3.5 PROYECTO MÉDICO EMPIR	102
3.6 CALIBRACIÓN PARA METROLOGÍA EN INDUSTRIA 4.0: TCal.....	103
3.7 CALIBRACIÓN SENSORES DE TEMPERATURA.....	107
3.8 CONECTIVIDAD EN MONTERREY.....	107
3.9 ESTACIÓN CLIMÁTICA	117
3.10 METROLOGÍA INTELIGENTE EN LA MANUFACTURA AVANZADA.....	118
3.11 PROYECTOS EURAMET Y CEM.....	123
CAPÍTULO 4. ESTUDIO ECONÓMICO	130
4.1 Recursos utilizados.....	131
4.2 Costes del proyecto.....	131
4.2.1 Costes directos.....	131
4.2.1.1 Coste de personal	131
4.2.1.2 Coste de material amortizable.....	132
4.2.1.4 Coste de material no amortizable.....	133
4.2.2 Costes indirectos.....	134
4.3 Coste total del proyecto.....	134
CONCLUSIONES.....	136
LÍNEAS FUTURAS.....	138
ANEXO 1. INSTRUMENTOS DE MEDIDA.....	140
A1.1-ROMANA (STATERA).....	141
A1.2-BALANZA PARA AUREOS.....	142
A1.3-PONDERA ROMANOS	143
BIBLIOGRAFÍA.....	145

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN, JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

1.1 INTRODUCCIÓN

La metrología, según “The International Bureau of Weight and Measures” es la ciencia de las medidas, abarcando tanto medidas teóricas y experimentales a cualquier nivel de incertidumbre en cualquier campo de la ciencia y tecnología”, que comenzó a existir por la necesidad de tener un cómputo de las cantidades más primitivas, como podría ser el número de bisontes que había cazado el líder de una tribu, o incluso cuántas personas componían dicha tribu, y que poco a poco se fue extendiendo a otras dimensiones, como longitudes.

Antes de que apareciese el Sistema Métrico Decimal, los humanos no tenían otra opción que echar mano de lo que tenían encima, su cuerpo. Así aparece el pie, útil para medir parcelas, el paso, para terrenos mayores, y para medidas menores aparecieron la palma, el palmo, el dedo...

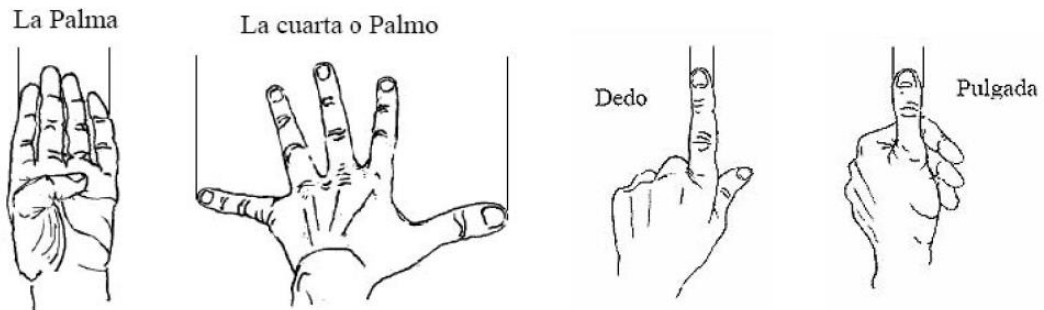


Figura 1.1 Palma, cuarta, dedo y pulgada. Fuente: “Breve historia de la metrología”-Centro Español de Metrología

“El hombre es la medida de todas las cosas”-Protágoras 484-414 a.C.

A partir de estas medidas aparecieron también sus correspondencias unas con otras: una palma son 4 dedos, 1 pie son 4 palmas...etc. como se aprecia en la **Tabla 1.1.**

Algunos de los instrumentos de medida que se empleaban en el imperio romano pueden verse en el **Anexo 1.**

Tabla 1.1 Unidades antropométricas. Fuente: "Breve historia de la metrología"-Centro Español de Metrología

	Dedo	Pulgada	Palma	Pie	Codo	Vara
Línea	1/9	1/12				
Grano	1/4	3/16				
Dedo		3/4				
Pulgada	4/3			1/12		
Palma	4	3		1/4		
Cuarta o Palmo	12		3	3/4		1/4
Pie	16	12	4			
Codo	24		6	1,5		
Grado	40		10	2,5	5/3	
Vara	48		12	3	2	
Paso	80		20	5	10/3	
Braza	96		24	6	4	

No es hasta después del Renacimiento cuando se puede hacer una distinción entre metrología científica y otros campos. Antes de esto sólo se tienen reseñas de la metrología en campos de transacciones e impuestos.

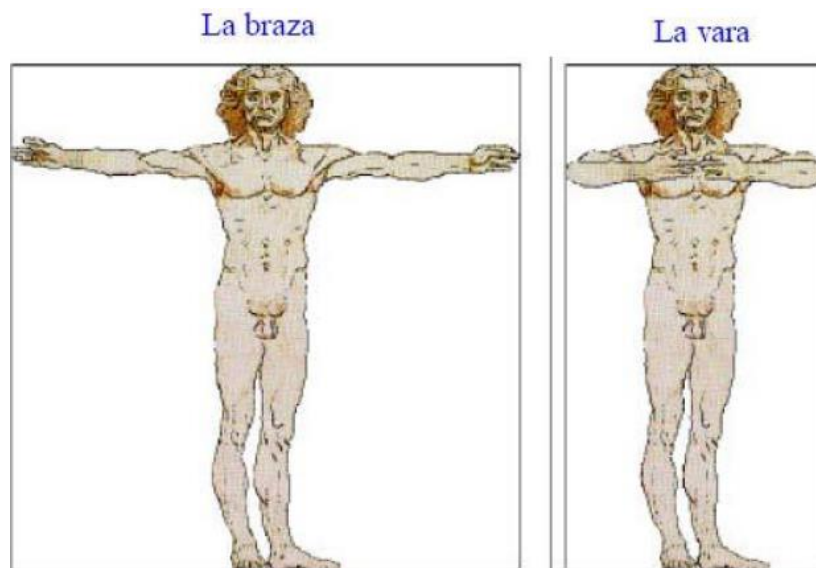


Figura 1.2 La braza y la vara. Fuente: "Breve historia de la metrología"-Centro Español de Metrología

Este trabajo lo que pretende es hacer ver la importancia que ha tenido la metrología durante el tiempo, ya que para muchos la metrología es algo que relacionan simplemente con la industria, otros la confunden con meteorología, y sin embargo es un campo que está presente en todos los contextos de nuestra vida, aunque no nos demos cuenta.

Es por ello que, además de recorrer la historia de la metrología, presentaré con la mayor objetividad posible los avances tecnológicos que ha habido en este campo, hasta nuestros días.

Algunos de esos avances que motivan este trabajo son por ejemplo el microscopio de efecto túnel, un microscopio capaz de tomar imágenes a distancias atómicas, o la calibración sin contacto, es decir a distancia.

No debemos fijarnos únicamente en los avances actuales, porque para saber hacia dónde vamos hay que saber de dónde venimos. También hay que saber, o conocer cuáles fueron los hechos que marcaron la diferencia en los comienzos de la metrología. Cuando alguien lee que en el siglo XVIII fueron capaces de medir la distancia entre Barcelona y Dunquerque debería darse cuenta de que, para los recursos que antes se tenía, es una maravilla. Este es simplemente un ejemplo, pues estoy seguro de que hubo muchos avances y hechos grandiosos sin reconocimiento y/o que se perdieran en el tiempo. Haré todo lo posible por presentar al menos los más plausibles.

Una de las aplicaciones que podría tener este trabajo sería servir de apoyo para una futura revisión de avances tecnológicos en el campo de la metrología, como un punto de partida para alguien, o simplemente podría ser un documento de consulta.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Durante el curso 19/20 el autor de este TFG ha cursado la asignatura de metrología. En esta asignatura se han visto temas que van desde la historia de la metrología, dispositivos de medida y sus características, métodos de medida y su clasificación, hasta la realización de una estación meteorológica, dispositivo que concentraba las características propias de la Industria 4.0. Dicha estación meteorológica era capaz de medir la T^a y Hr (humedad relativa), y transmitir los datos al móvil a través de una aplicación.

Con todo esto, en el autor se ha despertado la curiosidad y un sentimiento de indagación en la materia.

Además de esto, es interesante conocer cómo se adapta el entorno industrial a la nueva revolución industrial, y por ende cómo afecta a la metrología; la fabricación vanguardista involucra generar y aplicar conocimiento, experiencia y tecnología de última generación para crear productos, servicios y componentes de gran valor. La relación que existe entre las empresas y las fábricas es lo que más problemas da, consecuencia de los cambios del mercado, y esto exige hacer flexibles las líneas de producción. Y todo esto sin olvidar la metrología, pues ha sido, es, y seguirá siendo un esfuerzo importante que normalmente no se ve, y esto puede suponer el peligro de que no sea

valorada ni apreciada. La seguridad que la metrología ofrece a las infraestructuras de calidad se hará importante especialmente ahora que el mundo lucha contra los efectos de una pandemia, reconstruyendo economías mundiales y enfocándose en grandes objetivos y explotando tecnologías emergentes. Las buenas medidas mejoran el entendimiento de la ciencia y de la tecnología y por tanto mejora el entendimiento de la propia metrología. Las mejoras en ciencia y tecnología permiten avances en metrología. Este fenómeno es también conocido como “la pescadilla que se muerde la cola”, y es lo que conduce el desarrollo humano. El mundo necesita buenas medidas más que nunca para asegurar el progreso en ciencia y sociedad. La metrología está en la cima de la infraestructura de calidad, distribuyendo las definiciones estables de las unidades y realización de estándares. Una buena infraestructura de medidas:

- Mejora la efectividad en el desarrollo e investigación
- Mejora la eficiencia reduciendo los gastos
- Acelera innovación, obteniendo los productos antes
- Permite cambio
- Es esencial para el desarrollo de la política.

El mundo tiene que darse cuenta de los beneficios de la metrología que nos pueden ayudar a combatir el cambio climático, prolongar nuestras vidas, explorar nuevas tecnologías (big data, AI, tecnologías cuánticas, industria 4.0, comunicaciones, medicina...).

1.3 OBJETIVOS

El OBJETIVO PRINCIPAL de este proyecto es hacer una revisión bibliográfica acerca de cómo afecta la filosofía de “Industria 4.0” en la Metrología, dando pie a lo que llamamos “Metrología 4.0”. Se obtendrá así información relativamente reciente acerca de las innovaciones en este campo de la industria.

Los OBJETIVOS ESPECÍFICOS de este proyecto son:

- Comenzar la revisión con unas pinceladas del comienzo de la industria y sociedad.
- Investigar en las principales páginas de búsqueda documentos, ya sean libros, tesis, artículos...las últimas innovaciones en el campo de la metrología de vanguardia o proyectos relacionados.
- Extraer la información más relevante de dichos documentos.

Para ello se comenzará hablando de las distintas revoluciones industriales que ha habido a lo largo de la historia, y cómo han afectado a la sociedad. Después se verán algunas novedades de la 4ª revolución industrial y se hablará de

algunos campos favorecidos por esta revolución. Por último, se realiza el estudio bibliográfico de la “metrología 4.0”.

CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE

Todo esto que estamos viviendo es a lo que nos referimos como “Industria 4.0” o “cuarta revolución industrial”, aunque algunos lo llaman “evolución” más que “revolución”. Pero todo tiene una historia detrás; la industria de hoy día no empezó según la conocemos.

Según Schwab (2017) el crecimiento exponencial de oportunidades está relacionado con cambios estructurales.

Desde la 1ª máquina de telar podemos distinguir 4 etapas en los procesos que llamamos revolución industrial por los que la humanidad ha pasado. Al inicio de cada etapa el impacto de la tecnología para la economía ha sido enorme.

La humanidad vivía en unas condiciones paupérrimas hasta que apareció el primer telar y la tecnología de vapor en 1784. La Industria 1.0 era básicamente funcional con carbón y movida por máquinas de hierro, barcos de vapor y tranvías. El telégrafo permitió las comunicaciones intercontinentales. Hubo innovaciones en agricultura. La industrialización de la economía y expansión de nuevos trabajos provocó el movimiento de los pueblos a las ciudades, donde cada vez había mejor infraestructura y servicios sociales, como educación y hospitales.

El 2º salto de la revolución industrial empieza en 1870. Esta vez la potencia eléctrica dio vida a la producción en masas de productos estandarizados. La industria 2.0 bebía también del poder del petróleo. Los nuevos medios de transporte eran coches, buses e incluso aviones. La comunicación se hizo más sofisticada gracias al teléfono, TV y radio. La productividad en todos los sectores creció a una velocidad sin precedentes.

La industria 2.0 trajo modernización, un incremento formidable en la calidad de vida y una crecida de la población en todo el mundo.

El 1er sistema de control lógico programable llegó en 1969 iniciando la Industria 3.0 o revolución de la información. Fue una simbiosis entre la electrónica y la TI (tecnología de la información). Llevó a la automatización de procesos. Internet y otros dispositivos conectados dieron otro significado a la comunicación. La inteligencia artificial está reemplazando humanos en muchas actividades. El mundo vio nuevas tecnologías como los robots flexibles, impresión 3D, nanotecnología...

Ahora en medio de la 4ª ola de avance tecnológico podemos ver que difiere de las otras 3 porque mezcla mundos físico, digital y biológico.

2.1 REVOLUCIONES INDUSTRIALES

2.1.1 PRIMERA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

Se denominan revoluciones a las transformaciones que tienen 3 peculiaridades: se llevan a cabo en un corto período de tiempo; cambios estructurales en política, economía, sociedad y cultura; y que marquen un punto de inflexión, no pudiendo retroceder a la situación precedente. En esta primera revolución los avances fueron principalmente en economía, siendo el mayor cambio el paso de trabajo manufacturado a la producción en industria.

Sabemos que tuvo lugar en el Reino Unido, afectando principalmente tres campos: el algodón y la producción de tejido, la siderurgia y por último la energía de vapor.

Para que una idea tenga un impacto tan grande como el de una revolución, además de que surja dicha idea motivada por una necesidad hacen falta otros aspectos que la refuercen. “Para que una modificación, por importante que sea, se llegue a transformar en un cambio revolucionario es precisa una acumulación de motivaciones poderosas y un contexto económico-social proclive a aceptar las novedades y a financiar su materialización como instrumento productivo.”-Siro Villas Tinoco.

Es por ello que esta revolución se inició en agricultura, porque era el elemento primordial de la economía y sociedad durante la Edad Moderna. Los cambios en la agricultura derivaban en su mayoría del cambio que se produjo en el uso de las tierras para sembrar, ya que el enriquecimiento de los nobles hacía que los campesinos se viesen forzados a emigrar a las ciudades para poder sobrevivir. Esto, igual que para el campo venía mal, a los empresarios les ofrecía un grupo grande de personas que podían ocupar puestos de trabajo que no requiriesen una preparación específica.

En el año 1733 aproximadamente el tejedor John Kay lanzó el primer telar, llamándolo Lanzadera volante, que además de ser un mecanismo mucho más rápido que una persona, podía sobrepasar el ancho de los brazos a la hora de tejer, algo impensable para aquella época. Esto provocó un aumento en 200 veces la producción de los antiguos telares. Esto llevó a un declive de las antiguas hilanderas, mientras que los nuevos telares no daban abasto. Se desató entonces una competitividad innovadora, y los inventores se lanzaron a diseñar nuevas máquinas para aumentar la producción.

En 1764 el carpintero llamado James Hargreaves inventó la máquina bautizada como “Spinning Jenny”, una invención que podía producir tanto como más de 30 mujeres trabajando al 100%, aunque tenía el inconveniente de que sólo podía trabajar algodón (**figura 2.1**).

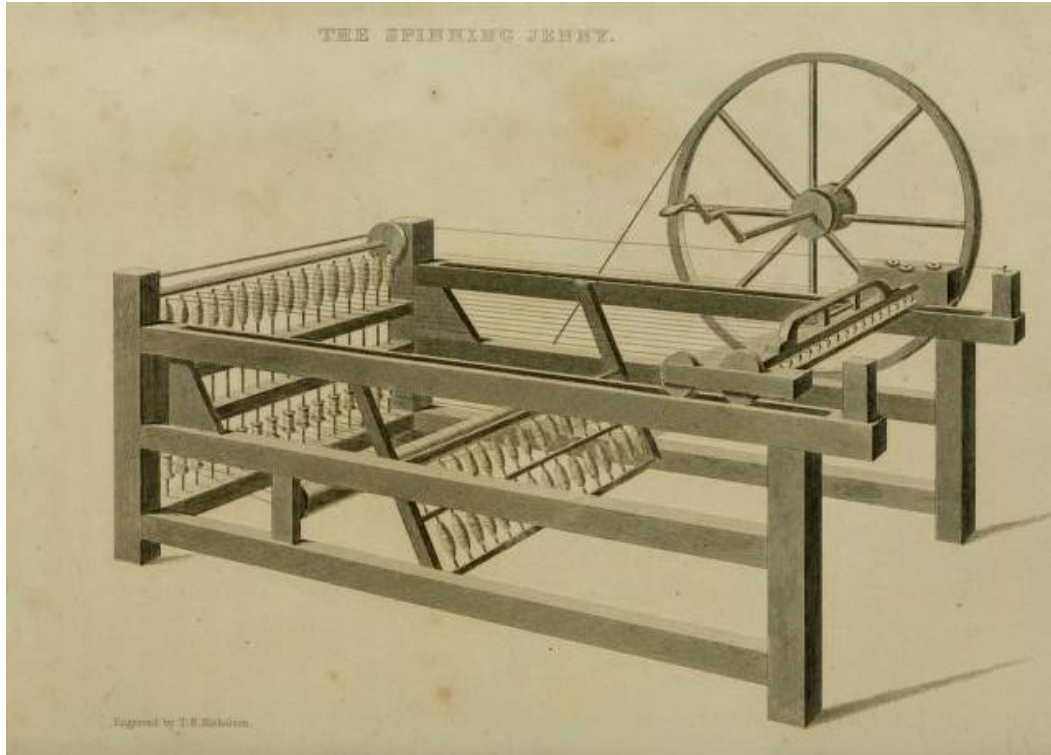
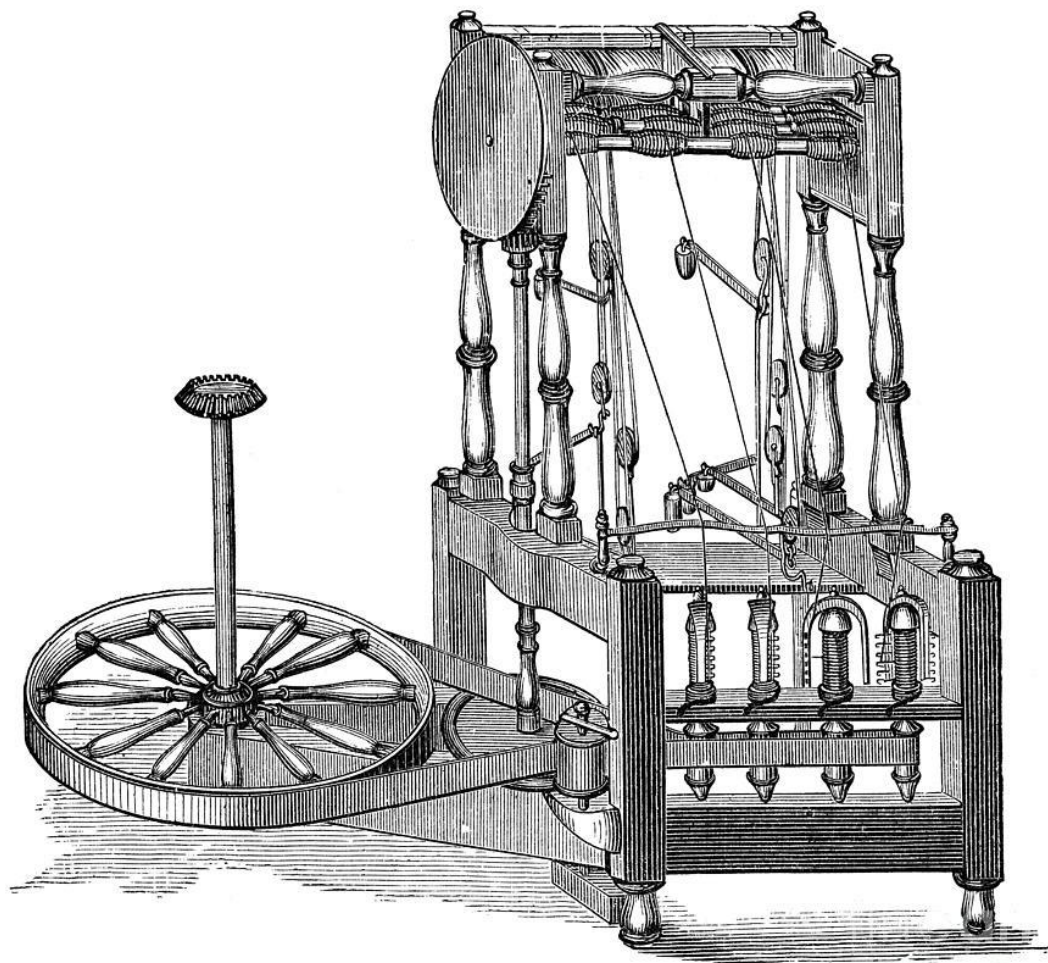


Figura 2.1. Hilandera Spinning Jenny. Fuente: "Google images"

Unos años después un peluquero llamado Sir Richard Arkwright presentó su "Water frame", una máquina accionada por energía hidráulica y que aumentaba en 100 veces la producción respecto a una hilandera tradicional (figura 2.2)



ARKWRIGHT'S SPINNING-FRAME.

Figura 2.2. Invención del peluquero Sir Richard Arkwright

En el año 1775 Jacques Vaucançon presentó un prototipo de telar que no se construyó finalmente porque principalmente no sobrepasaba la producción del resto de telares que estaban proliferando en el resto del Reino Unido.

En 1779 Samuel Crompton dio a conocer una máquina llamada “Mule Jenny”, que hacía funcionar 360 usos simultáneamente.

Tras la invención de la máquina de vapor, 6 años después el reverendo Edmund Cartwright presentó un telar movido por un motor de vapor, que solucionó el problema que había con la caducidad de las hilaturas que esperaban a ser usadas, pues muchas se estropeaban. Esto trajo consigo algunas controversias, ya que muchos tejedores se iban al paro, desatando conflictos “ludistas” que fueron el prelude de los conflictos en Europa del s.XIX provocados por la Revolución Industrial.

Además de hechos destacados en la fabricación de tejidos, hay que hablar también de la siderurgia del carbón.

La siderurgia se vio afectada ya que, a diferencia del carbón vegetal, el carbón mineral producía un hierro de calidad pésima, lo que llevaba a la necesidad de refundirlo. El problema venía por el incremento del coste que suponía utilizar carbón vegetal, y añadiendo la deforestación que provocaba, hasta prohibir su uso. Haciendo un símil, la leña y el carbón tipo vegetal era entonces lo que ahora son los plásticos, no había una preocupación ecologista sino más bien se veía afectada la construcción, alimentación...etc.

En aquella época había que distinguir entre tres materiales que provenían de las siderurgias: hierro fundido, que era un hierro con un porcentaje en carbono del 2 al 4%, y que no permitía transformarlo en otros objetos cotidianos, hierro dulce, que tenía entre 0,05 y 0,25% de carbono, y que se reservaba para el Estado e instituciones privilegiadas, y acero, con un porcentaje en carbono entre 0,2 y 2,1%, que en aquella era tan difícil y caro de obtener que se hacían joyas de acero al mismo nivel que las de oro y plata.

En el año 1709 Abraham Darby empezó a probar aleaciones, y tuvo la idea brillante de comenzar a moldear utensilios para cocinar, y con toda la fortuna que recaudó, además de ennoblecerse, continuó investigando las propiedades del carbón mineral. Años después, en 1779, Abraham Darby III puso un puente sobre el río Severn. En 1784 Henry Cort transformó el horno de pudelar en un horno para la siderurgia. Hay que destacar también al relojero Huntsman, que para encontrar una solución al caro material que necesitaba para confeccionar unos cronómetros, en vez de quitar el carbono del arrabio, lo añadió al hierro dulce, logrando mayor calidad en el producto.

La otra gran revolución que hubo en esta época fue en la tecnología de vapor. Esta tecnología ya fue nombrada por Herón de Alejandría, y usada en Mesopotamia. La primera aplicación práctica que se sepa fue la de Denis Papín, quien intentó, en el s.XVII, abaratar la sopa para que estuviese al alcance de más gente con pocos recursos, y que fue la predecesora de la olla a presión actual. Se cree que este mismo señor creó un motor de vapor que instaló en una barca con la cual navegó por un río. Esto le costó caro, pues los barqueros se la destrozaron ya que creían que era brujería. En 1698 un ingeniero llamado Thomas Sabery inventó un aparato que, por la presión que ejercía un émbolo en un cilindro, ayudaba a desalojar el agua de las galerías mineras, que cada vez eran más profundas, aunque era una máquina que precisaba muchas reparaciones cada poco tiempo. Una de esas máquinas llegó a parar en manos de un herrero, Thomas Newcomen, quien la mejoró notablemente. La llamaron "el amigo del minero". Con el paso de los años surgieron multitud de ingenios del estilo, y hacia 1765 le entregaron uno a James Watt para su reparación. Además de repararlo se le ocurrió añadir un serpentín, con el cual el

intercambio de calor se hacía mucho más deprisa. Con esto consiguió que el émbolo se desplazara más deprisa, que el cilindro también se enfriase y ahorrar combustible. Pero aún no llegaba a ser la máquina de vapor que todos conocemos. Watt se fijó en que la máquina tenía mucho rozamiento, y decidió introducir vapor a presión por las dos caras, según el movimiento de vaivén. Tras este cambio y algunos otros más, que iba resolviendo con bastante acierto, la primera aplicación que se le dio fue en ámbito militar. Fue François Cugnot quien la usó para el transporte de material pesado del ejército francés.

No hay que extrañarnos al saber que las teorías económicas científicas que primero aparecieron lo hicieron en este siglo. Podemos encontrar títulos como “Le tableau economique” de François Quesnay, o “La riqueza de las naciones” de Adam Smith, quien defendía que el mercado era al final quien definía la trayectoria de la economía.

2.1.2 SEGUNDA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

Entre los siglos XIX y XX, más concretamente entre 1875 y 1914, la industrialización se impone como una vía necesaria e imprescindible para el desarrollo económico de los países. El sistema de fábrica continúa expandiéndose en Europa y fuera de ella. La economía de los países industrializados, salida de la crisis de la Gran Depresión, conoce una estación de fuerte crecimiento productivo gracias a la nueva base energética y tecnológica.

La industrialización, entre los años 1870 y la Primera Guerra Mundial, se transforma profundamente. Se instaura un muy estricto vínculo entre la ciencia, tecnología e industria. Se revoluciona la tecnología productiva, las comunicaciones y el transporte; cambian los sectores que conducen el desarrollo; se utilizan nuevas fuentes energéticas; se intensifican los procesos de concentración y reestructuración industrial; crecen las dimensiones de las haciendas; cambian las relaciones entre la industria y las instituciones bancarias y financieras.

Superada la crisis de 1873, al final de siglo, el desarrollo productivo se vuelve impetuoso y la producción manufacturera mundial en 1913 resulta cerca del 378% de aquella de 1875, mientras que la población del planeta en el mismo periodo de tiempo aumenta en solo el 126%.

Para referirse a todos los procesos de transformación de aquel periodo, muchos estudiosos utilizan el término “segunda revolución industrial”, ya que está justificada con el excepcional número de innovaciones tecnológicas de aquella época y de las nuevas formas de energía que cambiaron los hábitos, comportamientos y modelos de consumo de la población. Otros prefieren

hablar de una segunda fase de un proceso unitario de transformación que tiene sus inicios entre los siglos XVIII y XIX, y se prolonga hasta el siglo XX. Estos últimos subrayan que el concepto de revolución industrial se refiere solamente a la innovación tecnológica, y no al complejo conjunto de relaciones sociales y producción.

2.1.2.1 Ciencia, tecnología, industria

El extraordinario número de descubrimientos, invenciones e innovaciones técnicas que aparecieron entre los siglos XIX y XX son efecto del enorme desarrollo de la ciencia y de la tecnología.

Algunos ejemplos son:

- La alternativa de esta revolución es el petróleo, de donde se sacaba la gasolina y que dio lugar al motor de explosión.
- Se renueva el procedimiento de producción del acero
- Se construyen la primera central eléctrica, el primer automóvil, el primer autobús urbano con motor de explosión.
- Se realizan las primeras película, radiografía, primer dirigible, vuelo aéreo, transmisión radiofónica.
- Se inventaron el teléfono, el frigorífico, el motor de explosión, la bombilla, la película fotográfica, el bolígrafo, la ametralladora automática, el lavavajillas, la cámara de fotos, fibras sintéticas;
- Se descubrieron los bacilos de la tuberculosis, la radioactividad, las neuronas, electrones, el ciclo de la malaria y los grupos sanguíneos.

La novedad de este periodo está en la inédita alianza que se crea entre la ciencia, la tecnología y la industria. A diferencia de los decenios precedentes, los inventores tienen más estudios sólidos (son matemáticos, ingenieros, biólogos, químicos, físicos...). Algunos de ellos (Siemens, Edison, Bayer, Solvay, Dunlop, Bell) se convierten capitanes de la industria y personifican el estrechísimo vínculo entre ciencia e industria.

Esta revolución tecnológica pone a disposición en el campo productivo y energético (y también médico, militar, doméstico, urbano, de tiempo libre...) una serie de máquinas, instrumentos, materiales y fuentes de energía nuevas que, a partir de los últimos años de siglo, permiten transformaciones radicales de la industria y ejercen una influencia sobre las condiciones de la vida en oriente.

2.1.2.2 Época del acero, de la química, de la electricidad y del petróleo

La renovación tecnológica influye en todos los sectores productivos, pero el desarrollo más interesante reside en el sector químico, electromecánico y de la metalurgia del acero. Después 1870, aunque el carbón y hierro permanecen

como productos fundamentales, se inicia la edad del acero, química, electricidad y del petróleo.

2.1.2.2.1 Acero

La sustitución del hierro por el acero es uno de los trazos principales de la tecnología de los últimos decenios del siglo XIX. El acero es duro, plástico, resistente a los golpes y al desgaste, compacto y robusto. Es una variedad superior del hierro. Sus méritos se notan desde hace tiempo, pero hasta la mitad del siglo XIX los costes de producción eran muy elevados y limitaban mucho su uso a las armas e instrumentos de precisión. Desde los últimos años de siglo las nuevas técnicas de fabricación (método Bessemer y posterior Gilchrist-Thomas) hicieron posible su producción a gran escala y a un precio relativamente modesto. Desde entonces, la producción crece rápidamente (desde 80,000 toneladas del año 1850 a 28 millones del 1900) y el acero se comienza a usar de modo creciente en los campos más variados en lugar del hierro (railes, naves, calderas, automóviles, aviones, cañones, máquinas industriales ligeras, utensilios domésticos y de trabajo como martillos y clavos), haciendo posible la construcción de grandes edificios, puentes y del símbolo quizá más famoso de aquellos años, la Torre Eiffel, de 300 metros de alto y 8000 toneladas de peso, construida en 1889.

2.1.2.2.2 Química

Los progresos de la química, que como ciencia moderna comienza a sobresalir entre los siglos XVII-XVIII, son una componente fundamental del nuevo desarrollo industrial. También para la química, los campos de aplicación son los más variados: los procedimientos químicos son, en efecto, la base de la producción del papel, vidrio, jabones, colorantes y fibras artificiales, agentes químicos para procesos varios, metales como aluminio...Al inicio del siglo XX, la industria química es una presencia central en el panorama industrial, destinada al desarrollo siempre más vasto y complejo, tanto positivo (fármacos capaces de actuar en procesos fisiológicos) como terribles (gases tóxicos utilizados durante la primera guerra mundial).

2.1.2.2.3 Electricidad

La electricidad es una forma de distribución de la energía producida desde otras fuentes, como el vapor o el agua. Está en el centro de la investigación científica y tiene una excepcional y veloz influencia sobre otras industrias. Solamente desde 1880, gracias a la contribución de numerosos científicos y técnicos, se convierte en posible almacenarla, transmitirla a grandes distancias, distribuirla y utilizarla para iluminar (bombilla de filamento incandescente), para calentar, para locomoción, construcción de nuevas máquinas y una gran variedad de cosas. Se producía en grandes cantidades en las centrales (termoeléctricas, de vapor, hidroeléctricas...) construidas en los

últimos años del siglo XIX, la electricidad profundizaba en los procesos de transformación de la industria y vida cotidiana. Desde los estudios de la electricidad nacieron por ejemplo el teléfono, el fonógrafo, telégrafo, radio y cinematógrafo.

En este campo podemos destacar a Tesla y Edison. Todo empezó cuando Edison presentó la bombilla, dando lugar a la carrera de la electricidad. Esto llevó a la instalación de centrales eléctricas en todo el país. El uso de la corriente continua le dio muchos problemas para el transporte de grandes cantidades, y por ello contrató a Nicola Tesla, quien usó la corriente continua, cambiando por completo la visión del transporte de electricidad, llegando hasta nuestros días.

El desarrollo de esta forma de energía va a ayudar a otros sectores, que después se convertirían en el epicentro económico. Mejoras en la industria del acero, invención del aluminio. Industria química también se vio ayudada. Industria alimentaria. Desarrollo de las comunicaciones, como el telégrafo. Esto se basaba en la conexión de cables kilométricos que unían todo el mundo. En la segunda mitad del s. XIX aparecieron dos invenciones nuevas que se unieron al telégrafo, el teléfono y la radio. En el caso del teléfono se les atribuye a dos personas, Antonio Meucci y Alexander Graham Bell. La radio se desarrolló en la segunda mitad de siglo, y se le atribuye a Guillermo Marconi, Alexandr Popov y Nicola Tesla.

Además, apareció la forma de ocio del cine, gracias a los hermanos Lumière, quienes desarrollaron el cinematógrafo.

2.1.2.2.4 El petróleo y el motor de explosión

La invención del motor de combustión interna, aplicado primero a los automóviles y después a los aviones, abre otros nuevos horizontes. Los primeros motores de combustión interna funcionaban con gas y podían aplicarse solo a máquinas fijas. Solo en los años 90, después de muchas experimentaciones, este obstáculo viene superado gracias al empeño de los combustibles líquidos. El petróleo y sus derivados quemaban bien, y producían el doble de trabajo que el carbón ocupando mucho menos espacio, pero tenían costes de producción muy elevados. Los comienzos de los automóviles y, en general, de los nuevos medios de transporte eran lentos, pero suficientes para dar impulso a la extracción del petróleo (Standard Oil Company a cargo de Rockefeller), que lentamente pero inexorablemente suplantaba al carbón, combustible de la primera revolución.

El primer automóvil se vio en Alemania, 1885 por Karl Benz, usando el motor de explosión. Años más tarde en 1906 Ford presentó el Ford T.

En el año 1903 los hermanos Wright inventaron el avión, cumpliendo así otro de los sueños del hombre: volar.

2.1.2.3 La tendencia a la concentración

La siderurgia, la química y electromecánica son industrias de alta intensidad y tecnología y capital.

El sector textil y metalúrgico, en la fase de inicio de la industrialización, habían solicitado inversiones relativamente moderadas; sin embargo, la construcción de una fábrica química o de una acerería tienen costes enormes, siempre más difíciles de afrontar por parte de empresas familiares. Se hacían indispensables, además, nuevas formas de propiedad de las empresas (sociedades para acciones se difundían en los decenios últimos de siglo) y nuevas formas de recopilación de capital a través de un mercado financiero controlado por la banca.

Los institutos bancarios y financieros canalizaban los capitales ahorrados de los depósitos de sus clientes para sus inversiones; progresivamente se especializaban en varias ramas de actividad y tendían a concentrarse.

Entre la industria y los bancos se crea un vínculo estrecho de compenetración y el rol de esta última se vuelve tan estratégico que muchos estudiosos definen el periodo que consideran como fase del capitalismo financiero, que es el capital financiero que orientaría y dominaría la economía.

La exigencia de reducir los riesgos de inversiones onerosas, de limitar el crecimiento de la competencia y de establecer más control sobre el mercado reforzaron también la tendencia a la concentración de las empresas. Con la concentración crecían las dimensiones de las empresas. Un ejemplo entre los más notorios de las grandes concentraciones se dio en la Krupp: una pequeña empresa artesanal con 76 operarios en 1847, y que en 1887 tenía 20000. En algunos sectores productivos estas grandes estructuras industriales controlan el mercado, fijan los precios y la cantidad de los productos, dando lugar a situaciones de oligopolio si no de monopolio.

2.1.2.4 La racionalización productiva

También la organización de la producción industrial se ve investida por la importancia e innovación de cara a facilitar el flujo de la producción (cintas transportadoras, elevadores, montacargas, sistemas de tubos y válvulas) o para aumentar la productividad en el trabajo (maquinaria que aseguran la uniformidad de las piezas producidas que debían después ensamblarse). Entre los procesos de reorganización productiva, el más importante es el uso más racional y científico de los trabajadores, dirigido a reducir los costes del trabajo y acrecentar la productividad.

La novedad en este campo llega de EEUU, del estudio y primeras aplicaciones de la **organización científica del trabajo**. Su más importante teórico fue el ingeniero **F.W. Taylor**, quien publica en 1911 *The principles of scientific management* los cuales son principios destinados a un enorme suceso. Según dichos principios, la mejor manera, más económica y eficiente de obtener un producto, se basa en la descomposición de las fases varias del ciclo productivo en operaciones lo más elementales posible, científicamente medidas y programadas sobre cada operario. El **taylorismo** se cruza con la innovación organizativa introducida por **Henry Ford** en 1913, en su industria automovilística de Detroit. Ford reorganiza por completo la planta con su cadena de montaje, que une las diversas fases del trabajo de ensamblaje del automóvil llevando las piezas a los trabajadores, cualquiera de los cuales, quieto en su puesto y sobrepuesto a un riguroso control, se limita a seguir una de las más simples operaciones que constituyen el proceso de producción. La cadena de montaje reduce drásticamente los tiempos y costes unitarios de producción: el precio del modelo T de Ford, pasa de 950 en 1908 a 360 en 1917, y a 290 en 1927, cuando cesa su producción. Hay que decir también que la cadena de montaje de Ford produjo mucho descontento por la monotonía que suponía para el trabajador.

Las innovaciones técnicas y organizativas tayloristas y fordistas se reafirmaron solo con la Primera guerra mundial; hasta entonces, caracterizaron sobre todo las economías emergentes (EEUU y Alemania) revelando, ya antes del conflicto, el alineamiento de una nueva jerarquía mundial que ve nuevas potencias descalzar la supremacía inglesa. Aplicadas progresivamente a todos los sectores de la producción manufacturera, llevan al desarrollo de un modelo productivo ya dicho fordista que triunfará en los años posteriores. Un modelo fundado:

- Sobre la gran fábrica que implica millones de trabajadores y donde vienen interconectadas y sincronizadas las diversas fases de la producción.
- Sobre la total y jerárquica división del trabajo
- Sobre la división del trabajo, sobre la cadena de montaje y sobre la producción en serie.

2.1.2.5 La racionalización productiva y el mercado

La producción en serie introduce en el mercado una gran calidad de bienes a bajo coste y permite, en el curso del siglo, el progresivo mercado en masa, dejando de estar limitado para la comida y vestimentas, pero extendido a bienes duraderos (bicicletas, automóviles, máquinas de escribir, electrodomésticos...).

El novedoso circuito entre producción en masa, mercado en masa y consumo en masa viene relacionado estrechamente con la crecida de la clase media,

aumento de salarios y estipendios, y con la ampliación de los mercados internos conectados al fenómeno del creciente urbanismo.

Al final de sus comienzos, la producción en masa modifica radicalmente también el sector de la distribución de las mercancías, por la tendencia de las empresas a controlar el mercado integrando producción, distribución y venta. En las ciudades que siguen creciendo nacen vastas cadenas comerciales y grandes revistas, se modifican las técnicas de venta, nace la publicidad que, junto con el cinematógrafo, comienzan a difundir los nuevos modelos de consumo en masa.

Entre los siglos XIX y XX estamos solo al inicio del triunfo del mundo de la producción ligado a la fabricación 'fordista', base del desarrollo no solo económico de gran parte del período.

2.1.3 TERCERA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

“la digitalización de la manufactura transformará la manera en la que se hacen los bienes, y la política de los trabajos también”- The Economist

El término “revolución de la información” describe el cambio no sólo tecnológico, sino también social y económico que está tras la revolución industrial. La revolución de la información ha sido posible gracias a los avances en la tecnología del semiconductor, particularmente en los MOSFET (metal-oxide-semiconductor field-effect-transistor) y las placas con circuitos integrados (IC).

Esta revolución, como cualquiera de las otras, transforma no solo la producción sino también la sociedad, cambia la manera en la que se hacen las cosas, donde y cuando se producen, y cómo se distribuyen. Esta revolución reduce la energía y la materia prima, y la huella del carbón en la manufactura. Está creando, pero también destruyendo, trabajos. Se está moviendo desde la producción en masa de productos estandarizados hacia productos hechos a medida según desea el cliente.

Esta tercera revolución tiene que ver tanto con la sinergia entre tecnologías como con los productos o máquinas. Ha sido permitida gracias a la aplicación de innovaciones y desarrollo de las TIC e inteligencia artificial, así como Big Data, IoT y desarrollo de materiales a través de la nanotecnología.

Hay que comentar que para Schwab, como había citado en las primera páginas, la tercera revolución industrial data del año 1969 con el 1er sistema de control lógico programable (PLC), iniciando así la revolución de la información. Fue una simbiosis entre la electrónica y la TI (tecnología de la información). Llevó a la automatización de procesos. Internet y otros dispositivos conectados dieron

otro significado a la comunicación. La inteligencia artificial está reemplazando humanos en muchas actividades. El mundo vio nuevas tecnologías como los robots flexibles, impresión 3D, nanotecnología...

Es complicado definir una fecha concreta a medida que aparecen tecnologías más novedosas y a un ritmo tan vertiginoso, pues algunos teóricos hablan de que ahora estamos viviendo una 5ª revolución industrial (Peter Marsh).

La 3ª revolución industrial no solo se diferencia en el uso de las materias primas (acero, aluminio, plástico y otros materiales, sino que también incluye la materialización de la información digital. Un diseño creado por ordenador o escaneado se puede llevar desde los bits a un material atómico. Y mejor aún, se puede hacer desde la distancia. Pensemos en un documento que enviamos a la impresora para que lo lleve al formato físico, pues es el mismo concepto.

También surgen preguntas que hacen recapacitar, si estas nuevas tecnologías crearán una miríada de nuevos trabajos, mejor salud para todos o por el contrario el desempleo crecerá.

Según *The Economist*, la 3ª revolución industrial ha comenzado con la impresión 3D. esta tecnología fue creada hace 30 años pero llegó a un punto de despegue gracias a CAD, big data y nuevos materiales. Muchas empresas como Boeing o Ford, usan máquinas de impresión 3D para la rápida creación de prototipos. La evolución de esta tecnología ha dado pie a la conocida corriente DIY (do it yourself), donde mucha gente se ha comprado impresoras 3D y han comenzado a experimentar con ellas.

La razón por la que la impresión 3D se ha llevado tanta atención es que, al contrario que otras piezas, las que se diseñan en esta tecnología no importa la forma que tengan, y no hay necesidad de cambiar ningún aspecto del proceso. Además puede ser especialmente flexible en el mundo en vías de desarrollo, ya que una fábrica entera puede costar millones, y una empresa que esté formada por esta tecnología y algunos empleados no es tan costosa. La impresión 3D también ayuda a reducir la emisión de gases tóxicos procedentes de productos manufacturados.

También se habla de la impresión 4D o materia programable, en la cual la 4ª dimensión es el tiempo. Consiste en una impresión 3D de materia que se pueda modificar sola una vez impresa, que cambie de forma y capacidades, o incluso se desarmen en componentes más pequeños (“vóxeles”) y se vuelvan a ensamblar de otra manera. Algunas posibles aplicaciones de materia programable podrían ser alas de aviones que cambien de forma durante el vuelo, edificios que cambien de forma según la función que se quiera, mobiliario que se adapte, calzado, ropa de diario o deportiva que se adapte a las condiciones climáticas...

Un factor emergente en esta revolución 3D es la biología sintética “sinbio” y bioingeniería, que aglutina tecnologías que permiten capacidades antes inimaginables. En esta evolución se podrá editar el ADN como si fuese software. Craig Venter fue el primero en crear un organismo sintético. Según un consejo de investigación nacional (NRC) y una academia de ingeniería nacional (NAE), “los biólogos sintéticos tienen la habilidad de diseñar código genético para obtener una función específica, probar la funcionalidad del código usando un modelado de ordenador, solicitar el material genético e insertarlo en una célula del cuerpo para probar su funcionalidad real.” Incluso sería más sorprendente que la habilidad de digitalizar vida , la capacidad de transmitirla a través del internet y recrear dicho ser en cualquier parte del planeta. O incluso, añade Venter, la vida digital puede ser usada para recrear organismos encontrados en Marte digitalizando su ADN y transmitiendo el archivo de vuelta a la Tierra.

Jeremy Rifkin es uno de los más destacados pensadores del pasado siglo por las ideas modernas que tenía y por sus “visiones catastróficas”. Para este pensador, los tres pilares fundamentales de la 3ª revolución industrial son: 1- un empleo mayor de las energías renovables, 2- construcción de edificios que sean capaces de producir su propia energía y 3- una transición en el uso del hidrógeno como elemento de almacenaje energético. Para Rifkin la civilización actual se encuentra ante el problema de que el petróleo y los combustibles fósiles que dieron tanto juego en los años anteriores están en declive, y toda la tecnología construida y que funcionaban gracias a ellas están anticuadas. Toda la industria que se sostiene sobre la energía fósil está vieja y estropeada. De esto resulta un aumento de desempleo en todo el mundo. Añade Rifkin que la población mundial estaba sometida a una situación de hambre y pobreza que no se había visto antes.

Además de esos problemas, el cambio climático que se genera por la actividad industrial se lanza contra nosotros; expertos creen que estamos cerca de una extinción masiva.

Además de los pilares antes citados, para Rifkin existen otros dos que dan base a esta revolución: 4-el uso de Internet para que todos los continentes tengan una red interna de energía que puedan compartir, y 5- un uso mayor del transporte eléctrico.

La energía renovable es limpia y abundante, y nos hacen pensar en la posibilidad de vivir en un mundo sostenible, aunque, como dice Jeremy Rifkin: “no siempre luce el Sol, ni sopla el viento”. La energía renovable existe siempre en todas las partes del mundo, pero el problema es la proporción con la que existen en las diferentes zonas.

2.1.4 CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

La industria 4.0 se refiere a la integración de tecnologías y agentes para el objetivo común de mejorar la eficiencia y sensibilidad de un sistema de producción. Esta integración tiene el potencial de revolucionar la manera en la que los negocios se planean y conducen. La Manufactura Inteligente representa la implementación de la Industria 4.0 en el suelo industrial. Algunas de los elementos que se asocian a esta revolución son el IoT (Internet of Things), Big Data, CPS (Cyber Physical Systems), “Machine Learning”, Manufactura aditiva y robótica.

El término Industria 4.0 se acuñó para describir los sistemas que evolucionan desde una automatización controlada (Industria 3.0) hasta un sistema que recolecta y analiza datos para hacer decisiones inteligentes en una manera automática. La universidad de México afirma que : ”las nuevas tecnologías de sensores a precios asequibles con la creciente capacidad de los sistemas de información para almacenar y analizar cantidades vastas de datos son elementos clave para la Industria 4.0”. la facilidad de acceso a estos datos y el análisis de su comportamiento revolucionan la manera en la que las decisiones se hacen. La tecnología mejora la habilidad para compartir información y sabiduría, para el objetivo final de mejorar la calidad de productos, eficiencia energética y seguridad. Las tecnologías de esta revolución según esta universidad se pueden ver en la **figura 2.3**.

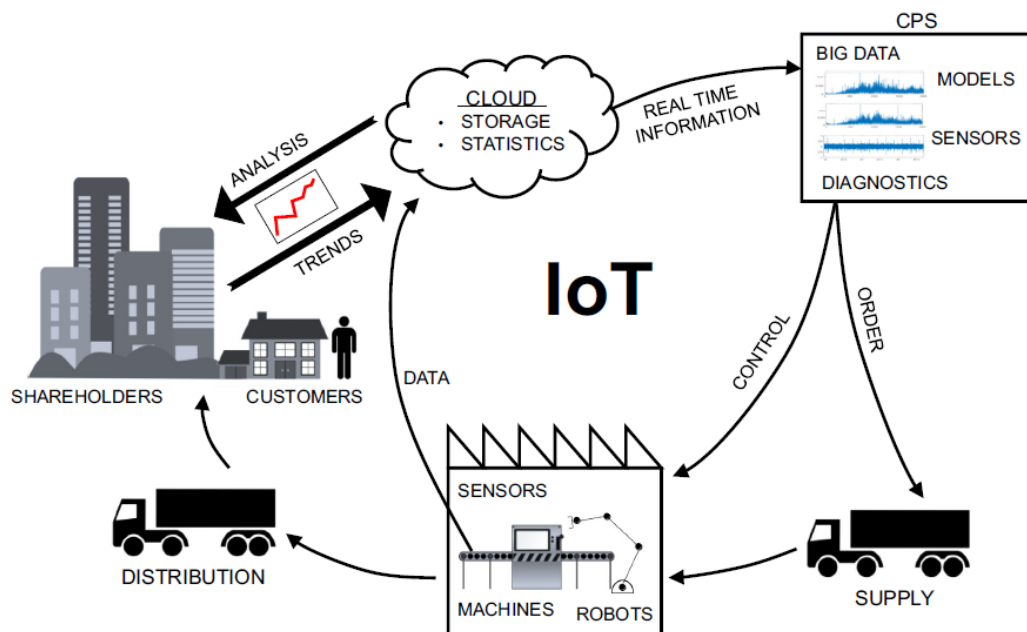


Figura 2.3. Tecnologías y elementos de la Industria 4.0. Fuente: “A brief discussion on the trends of habilitating technologies for Industry 4.0 and Smart manufacturing”-H. Ahuett-Garza et al.

Desde la aparición en los años 70 del siglo XX de TICs que permitieron la hibridación entre lo físico y lo digital, lleva a que se hable de una cuarta revolución industrial. Tras el comienzo de esa revolución se supone que hubo una *revolución digital*, que se entiende “como una aceleración general en el ritmo de cambio tecnológico en la economía, impulsado por una expansión masiva de nuestra capacidad de almacenar, procesar y comunicar la información utilizando dispositivos electrónicos” (Eurofound, 2018b; 1). La aparición del primer PLC en 1969 y un microprocesador de Intel del año 1971 fue la llave para la revolución que nos ha llevado hasta nuestros días, además de pequeñas incursiones en ingeniería genética que abrieron la puerta a la biotecnología.

Se argumenta en la actualidad que estamos dentro de una nueva, por los cambios tan rápidos que están teniendo lugar y con la rapidez con la que irrumpen en nuestra vida.

Hay personas que definen esta revolución como un nivel más elevado de automatización, en la cual el uso de robots se hace simultáneo con la Inteligencia Artificial. Según el World Economic Forum existen 12 tecnologías que caracterizan esta revolución y que impulsan su desarrollo, así como los modelos de negocio:

- Inteligencia Artificial y robótica;
- Sensores vinculados ubicuos (Internet de las Cosas);
- Realidad virtual y aumentada;
- Producción aditiva (impresión 3D);
- Cadenas de bloques y tecnología de contabilidad distribuida;
- Materiales y nanomateriales avanzados;
- Captura, almacenamiento y transmisión de energía;
- Nuevas tecnologías de computación;
- Biotecnologías;
- Geo-ingeniería;
- Neurotecnología;
- Tecnologías del espacio.

Otros sin embargo consideran que no son 12 sino 7, que son de las anteriores las 4 primeras a las que se añaden el uso de grandes datos, y el aprendizaje automatizado (Machine Learning).

En general podemos decir que los pilares en cuanto a la tecnología de la industria 4.0 tienen en común la electrónica, el software y la conexión. Además suelen contar con sensores que ayudan a captar la información de aquello que les rodea.

Adentrándonos un poco más en algunos de los pilares de esta revolución podemos hablar de:

- Sistemas de integración: según Ynzunza et al. (2017), estos son sistemas capaces de interactuar con las personas, permitiéndoles acceso a datos de la web, controlan los procesos y conectan mundos físico y virtual con la red de la fábrica.
- Robots: máquinas que realizan las tareas que antes estaban hechas por humanos, que en este caso están automatizados y se consideran maquinaria inteligente. Para Basco et al. (2018) la industria debe aumentar el nivel de robots colaborativos y así aumentar la conectividad.
- Internet de las cosas: es el sistema por el cual todas las cosas y seres, por pequeñas que sean, están conectados a internet, cada uno con su etiqueta, lo que permite una identificación mas rápida.
- Manufactura aditiva: consiste en una fabricación a partir de un diseño digital, en la que se van añadiendo componentes como si fueran “capas”, hasta llegar al producto final.
- Big data: este término se refiere, en grandes rasgos, al tratado de los todos los datos que necesitan aplicaciones especiales dado su gran volumen y complejidad, que tiene por objetivo ayudar a la toma de decisiones en los negocios. Esto es posible gracias a los algoritmos que se implementan. Esta tecnología es de las más demandadas en la industria.
- La nube: esta herramienta permite procesar información en tiempo real y en cualquier lugar. Hasta hace no mucho esto se podía hacer únicamente instalando un programa concreto. Según Basco et al. (2018) es un pilar fundamental ya que “permite ajustar y representar virtualmente el funcionamiento conjunto de máquinas, procesos y personas en tiempo real antes de ser puestos en marcha, lo que ayuda a prevenir averías, ahorrar tiempo y evaluar el resultado final en un entorno controlado”.
- Inteligencia artificial: está basada en la programación de algoritmos que capacitan a las máquinas y ordenadores a almacenar, leer y procesar datos de manera más veloz, y permitiéndolas un aprendizaje automático. Estos algoritmos se basan en la experiencia, las bases de datos anteriores y con ello se van mejorando y obteniendo capacidades parecidas a las humanas, como tener un lenguaje, capacidad decisoria y planificadora.
- Ciberseguridad: la ciberseguridad es realmente una prioridad global para los gobiernos. La expansión del ciberespacio ha traído consigo una impredecible crecida económica y prosperidad. Sin embargo, también representa nuevas amenazas y la capacidad de cometer nuevos

crímenes. Los intereses de las industrias y gobiernos están prácticamente alineados, ya que son cibertransacciones en su mayoría. Todas las compañías quieren un sistema de seguridad digital en su infraestructura, y para que esta siga siendo viable y su sector siga creciendo, las compañías están realmente motivadas para diseñar sistemas de seguridad en el “ADN” de sus productos y sistemas. El crecimiento del ciberespacio continuará avanzando si la estabilidad, accesibilidad y los riesgos mitigados guían su desarrollo. Mientras la industria y el gobierno trabajen unidos para desarrollar la correcta política, habrá algunos principios que deberían servir de guía, como reflejar la interconexión y naturaleza del ambiente computacional, adaptarse rápido a las amenazas inminentes, tecnologías y modelos de negocio, saber manejar los riesgos eficazmente y un enfoque mayor en los que tratan de amenazar la seguridad.

- Realidad aumentada: actualmente existen recursos que facilitan las decisiones ya que ofrecen modelado, simulación y virtualización. Básicamente esta tecnología proyecta y añade información virtual a la percepción sensorial del usuario. Los sistemas de AR rastrean la posición y orientación del usuario y superponen el material virtual sobre el mundo real del usuario.

A continuación, se muestran los pilares, según AMETIC (representante del sector industrial tecnológico digital en España), en la **figura 2.4**.

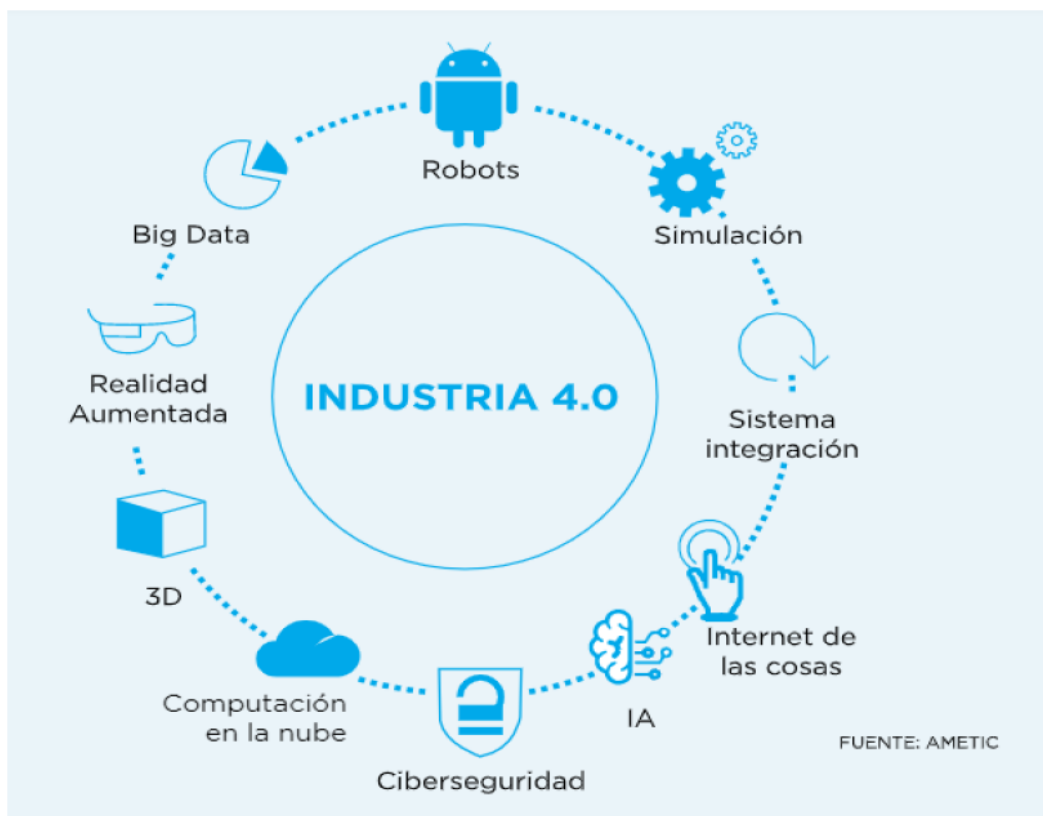


Figura 2.4. Pilares tecnológicos de la Industria 4.0. Fuente: “Transformación digital de la Industria 4.0”-José Luis Sampietro-Saquicela

El mayor desafío de la actual revolución es esquivar la concentración de recursos, ya que el avance de la tecnología puede crear más desigualdad entre los propios países y empresas, y lo que hay que buscar es un entorno dinámico, que no afecte las posibilidades de las empresas al incluir nuevas tecnologías en éstas.

Esta revolución de la digitalización está estrechamente relacionada con el término Industria 4.0, o cuarta revolución industrial. Existen muchas definiciones para dicha revolución. Una de ellas es de Gadi (2018): “la organización de los procesos productivos basados en la tecnología – especialmente en Internet- y en el uso de dispositivos tales como sensores y chips, que se comunican de manera autónoma unos con otros a lo largo de toda la cadena de valor. Estos dispositivos, gracias a la conectividad, se incorporan en el mismo proceso de producción (...) y en los productos finales”. El termino en sí nació en Alemania en el año 2010. Todo empezó como política económica para enfrentarse a los problemas que estaban planteando las TIC, y sorprende que haya acabado como una revolución industrial.

Según la Agencia Internacional de Energía con el uso de las tecnologías digitales se podrían reducir el coste de la producción petrolera y gas casi hasta un 20%.

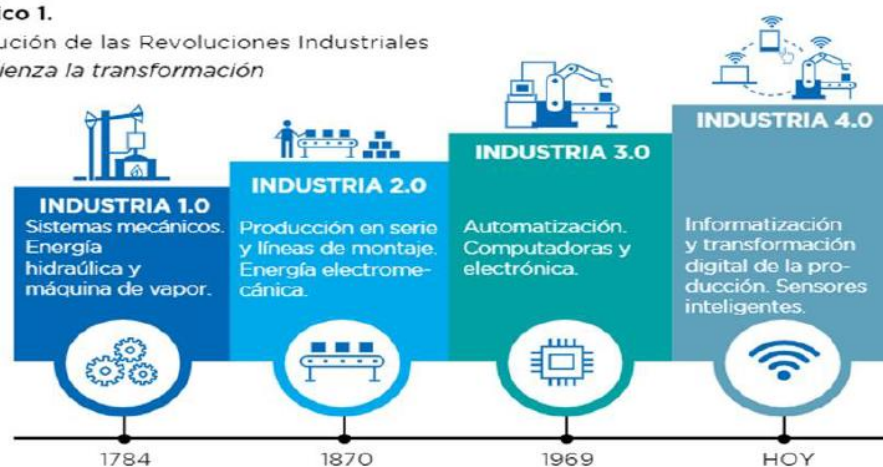
La industria 4.0 se está aplicando en diversos ámbitos como en automovilismo, salud, banca, en comercio, construcción...

Gracias a esta revolución el nivel de conexión se amplía a los objetos, por lo que es posible que exista una red de éstos gracias al IoT. Para José Luis Sampietro la inteligencia artificial es el núcleo de esta transformación, relacionada en su mayoría con la acumulación masiva de datos (big data), algoritmos y conexión a gran escala de los sistemas digitales y analógicos.

En el **gráfico 2.1** podemos ver la evolución de las revoluciones según Hallward-Driemeier Gaurav Nayyar (2018).

Gráfico 1.

Evolución de las Revoluciones Industriales
Comienza la transformación



Fuente: Adaptación en base a Hallward- Driemeier Gaurav Nayyar (2018). Trouble in the Making? The Future of Manufacturing-Led Development, Banco Mundial.

Gráfico . Evolución de las revoluciones industriales. Fuente: "Transformación digital de la Industria 4.0"-José Luis Sampietro-Saquicela.

Existe un fenómeno llamado “desindustrialización” que se lleva estudiando varios años, y por el cual la industria está perdiendo peso en toda la economía, que se ve coadyuvada por la digitalización. No se afirma que ésta sea la principal causa, sino que es un factor que la favorece. Es el resultado natural del desarrollo económico.

Otro efecto que surge de la digitalización en la estructura económica es la aparición de “multinacionales de la economía digital”, que prefieren los activos no tangibles, que los que sí los son. Estos activos podrían considerar que fuesen: 1. Información digitalizada, 2. Propiedad de las innovaciones y 3. Competencias económicas.

Existen explicaciones que muestran el porqué de las grandes desigualdades en los mercados laborales y el porqué de la gran brecha de salarios que comenzó en los años 70. Dos de ellas son las siguientes. Una de ellas se denomina “cambio tecnológico sesgado por las habilidades” (SBTC, de *skill biased technological change*), que sostiene que la progresión de tecnología es algo

exógeno a la economía y crea cambios en las demandas de habilidades, dando mayor importancia y por lo tanto salario a los trabajadores mejor formados. La segunda explicación es conocida por “cambio tecnológico sesgado por las rutinas” (RBTC, *routine biased technological change*), que sostiene que tienen igual de importancia el nivel de educación que si es o no rutinario el trabajo. A partir de ahí se pueden clasificar en dos los tipos de empleo, en rutinarios y no rutinarios, y manuales y cognitivos. Cuanto mayor nivel de automatización tenga una tarea, es más probable que se pueda automatizar.

Un efecto a mayores que se le atribuye a la digitalización es la llamada **polarización en el empleo**. Éste es un término que se emplea para referirse a la bajada de trabajos con salarios medios a expensas de aumentar empleos con salarios más altos y más bajos, y más tarde se referirá a las habilidades medias, altas y bajas respectivamente. Esto se explica a través de 4 factores:

- Efectos de la tecnología (las tareas se hacen rutinarias)
- La globalización
- Los efectos de la demanda de productos para diferentes ocupaciones
- Las instituciones

En el caso de España, Sebastián (2018) demuestra que existe una clara polarización de empleos entre 1994 y 2014. También existen personas que la niegan, ya que sería necesario contrastar la calidad que existe en el empleo. Según Oesh y Piccitto (2019) la calidad de un empleo debería medirse con ingresos, habilidades requeridas en el empleo, prestigio y evaluación social.

Otra cuestión que debe ser nombrada es la pérdida real o no de los empleos a causa de la digitalización y automatización. Si revisamos la información presentada por CEDEFOP, se puede observar una bajada del empleo en el sector primario.

Como se puede observar en el **gráfico 2.2**, existe un aumento en los empleos más cualificados, mientras que los sectores de la producción, artesanía y oficinistas disminuyen.

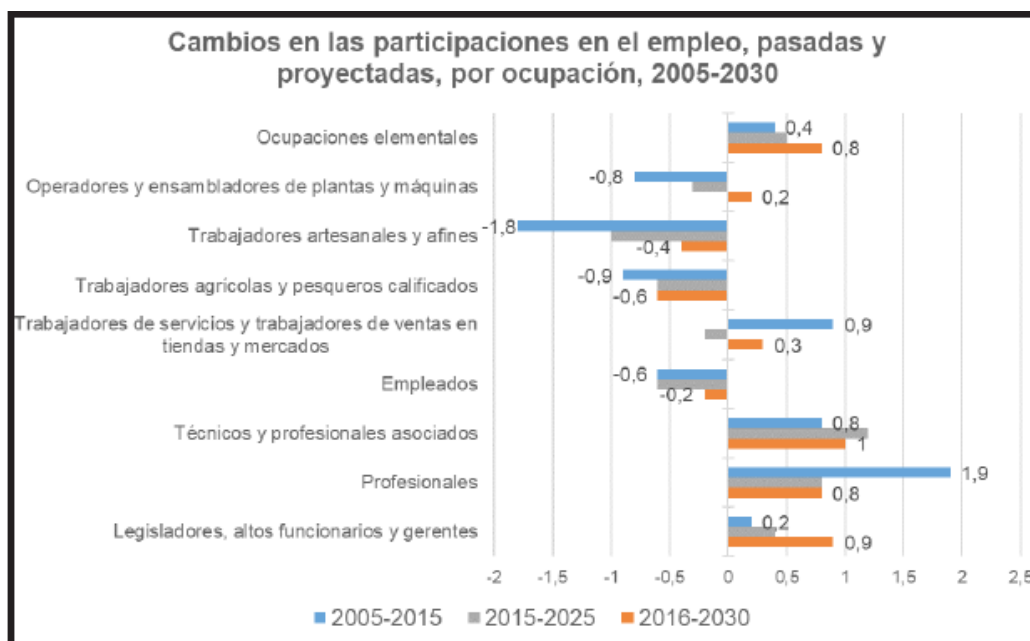


Gráfico 2.2. Datos de Nedelkoska y Quintini (2018; 26) y CEDEFOP (2018; 48). Fuente: “Cuarta revolución industrial, automatización y digitalización: una visión desde la periferia de la Unión Europea en tiempos de pandemia”-Francisco Javier Braña Pino.

Una pregunta que surge a tenor de lo que estamos viviendo es: ¿cuántos empleos podrían automatizarse? Se pueden nombrar dos metodologías. Una es de Frey y Osborne (2013 y 2017) que analizaron 700 empleos en EEUU y catalogaron 70, con un 1 si creían que sería automatizable y con un 0 si no. A partir de ahí aplicaron un algoritmo para obtener los resultados del resto. La otra metodología se centra en la RTBC, y afirma que aunque una parte del trabajo se pueda automatizar, no es necesario que el trabajo completo se tenga que automatizar. Se aplica en este caso lo que se denomina como paradoja de Polanyi, quien mostraba que para la inteligencia artificial es difícil automatizar tareas que necesitan cierta flexibilidad. Si nos fijamos en datos del PIAAC (programme for the international assessment of adult competencies), de los 32 países que forman la OCDE (organización para la cooperación y el desarrollo económicos) 1 de cada 2 empleos es altamente automatizable. No es el mismo resultado que el obtenido por Frey y Osborne (2013), que afirman que 66 millones de trabajadores en los 32 países. Nedelkiska y Quintini también afirman que alrededor del 50 y 70 por 100. Si vemos el **gráfico 2.3**, podemos ver como de variable es la probabilidad de automatización en los países.

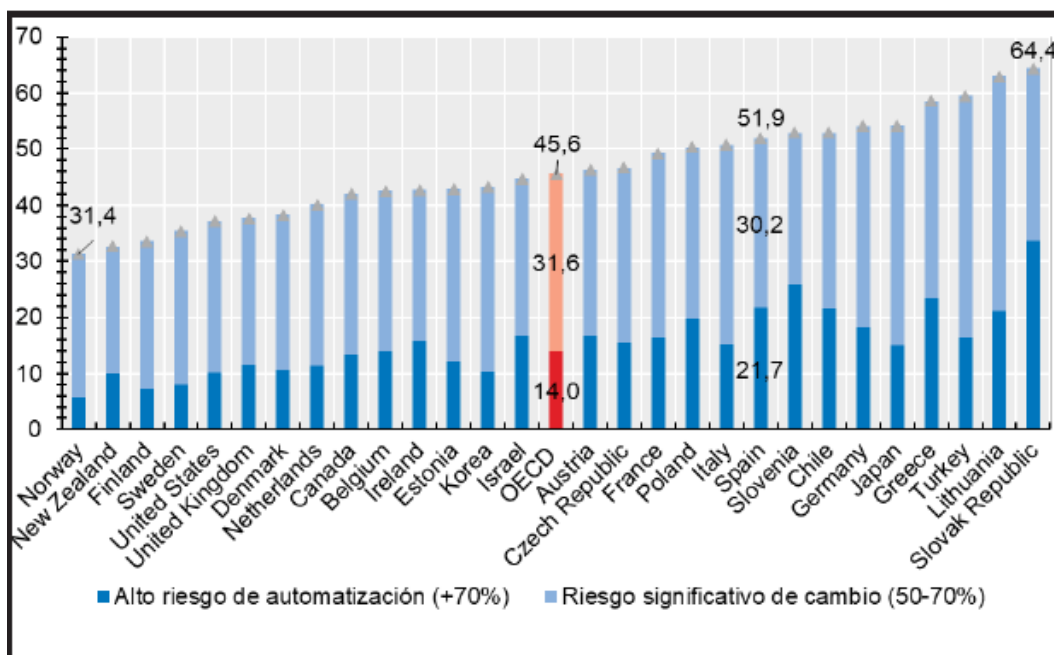


Gráfico 2.3. Porcentaje de empleos en riesgo. “Cuarta revolución industrial, automatización y digitalización: una visión desde la periferia de la Unión Europea en tiempos de pandemia”-Francisco Javier Braña Pino.

Además del efecto que tiene la automatización y digitalización en el empleo existe la cuestión de si llevará consigo aparejado un incremento neto en el empleo o simplemente una pérdida a largo plazo. Según las estimaciones que hace el World Economic Forum tras entrevistar a más de 15 millones de empleados de grandes empresas, para el año 2022 se habrán destruido casi 1 millón de puestos de trabajo, y se habrán creado 1,74 millones. Si nos centramos en la unión Europea, CEDEFOP estima que en 2030 habrá 31 millones de personas desempleadas respecto a 2018 (casi un 13% de empleados se sustituyen por máquinas). Además podemos añadir a estos datos el análisis de la adopción de robots por las empresas. Según la Federación Internacional de Robótica en 2018 se han vendido el mayor número de robots industriales, siendo China el país donde más pedidos ha habido. España tuvo el récord en 2017, con 168 robots por cada 10 mil empleados. En este campo no se ha sacado una conclusión clara, ya que no es fácil el análisis de dicho efecto. Lo que si que se puede sacar en claro es que habrá ganadores y perdedores, y que habrá grandes desequilibrios económicos y sociales. “El riesgo de la automatización es el más alto entre los trabajadores adolescentes (...) la automatización es mucho más probable que resulte en desempleo juvenil, que en jubilaciones anticipadas” (Nedelkoska y Quintini).

Por otra parte existen razones para pensar que la automatización puede afectar en la calidad de empleo, relaciones entre industria y en las condiciones del trabajo (Eurofound, 2019b; 52-53). Refiriéndose a la digitalización, Eurofound afirma que podría hacer más fácil que el gran número de tareas existentes se pueda descomponer y subcontratar, y esto puede llevar a condiciones de

empleo menos agradables para la plantilla hablando de ingresos, horas trabajadas y estabilidad.

Nunca vienen mal algunas advertencias en una era que aun está por conocer. Si hacemos referencia a la IA, tenemos que tener en cuenta que además de los avances tan grandes que ha proporcionado en la producción, su uso de algoritmos podría discriminar a ciertos grupos de personas, y esto viene de los datos que se introducen en el algoritmo como de las personas que lo elaboran (Craglia, 2018; 58). También tiene consecuencias en la macroeconomía, ya que por una parte podría dar un nuevo impulso a globalizar el planeta, pero por otra puede repatriar los empleos que se habían deslocalizado a países en vías de desarrollo. Hemos podido comprobar el problema de la deslocalización no precisamente con la digitalización, sino con el COVID-19, ya que la fabricación de elementos importantes e imprescindibles (mascarillas, respiradores, etc.) está localizado en el continente asiático y el resto del mundo no estaba preparado para satisfacer la inminente demanda de dichos materiales. Hay incluso quien afirma que la IA se podría abrir camino hasta un capitalismo que continúe sin seres humanos (Dyer-Witherford, Mikkola y Steinhoff).

Otro aspecto que debemos advertir es la creciente desigualdad de salarios, ya que se las están apropiando los accionistas, inversores, altos ejecutivos..., y esto, según Soete (2018; 42) se está llevando a la política, algo que va en contra de la democracia. Johannessen afirma que estamos en peligro de que surja un capitalismo “feudal”, ya que la clase media se ha visto, y se está viendo, afectada y perjudicada, perdiendo fuerza.

El coste medioambiental al que estamos implantando la digitalización y automatización es otro aspecto que debe considerarse. Según un medio de comunicación digital, que una inteligencia artificial esté entrenada para los propósitos que se quiera podría contaminar tanto como casi 3000 vuelos Barcelona-Madrid, y toda la energía que esto requiere deja una gran contaminación de carbono. Según Mahnkipf (2019; 13) cuando se hace la cuenta global de energía ahorrada por la digitalización, no se suele tener en cuenta toda la energía que requieren los aparatos “inteligentes”. Todos los centros de datos que se usan globalmente son grandes consumidores de energía. Además de esto, los productos que tienen poca tasa de reciclado está creciendo, y desperdicios eléctricos y electrónicos.

Seguramente existan personas que piensen que lo que nos está pasando con la digitalización es algo exagerado. Para Figueroa, el principal problema es que las tecnologías emergentes cambiarán varios campos en el empleo, y esto es porque estas nuevas tecnologías recopilan millones de datos que van a parar en la mayoría de los casos a empresas como Apple, Facebook, Google...que podrían usarse para crear perfiles de los empleados, un tema que puede estar rozando temas de privacidad. “si no se hace algo para solucionar que el control

privado de datos esté en manos de un puñado de individuos, los trabajadores de todo el mundo verán seriamente afectados sus esfuerzos para controlar la intensificación del uso de datos en el trabajo o para lograr la elección de un gobierno que incluya los datos como parte de su agenda” (Figueroa, 2019; 61).

En cualquier caso, somos la especie humana la que tiene que decidir hasta qué punto debería llegar la digitalización y automatización, qué tecnología desarrollar y qué políticas emplear en este sentido.

2.1.4.1 ¿Qué disciplinas favorecen el desarrollo de esta revolución?

¿Qué trae consigo?

Desde un punto de vista histórico, lo que vemos es lo que en cada tiempo la tecnología moderna suplanta a la anterior.

La complejidad creciente del sistema industrial no puede ser manejado desde una estructura centralizada organizada. Las decisiones que se toman deben estar cada vez más descentralizadas en base a la información disponible y equipo disponible usando AI (artificial intelligence) como principal decisor. Con esta diversidad obvia, le alcance de las posibilidades no nos permite, aparte de aspectos generales, definir una línea robusta de acciones objetivo. Además, acciones espontáneas y/o simuladas se han implementado en las compañías durante años. Es una realidad global y difusa que se desarrolla por auto-refuerzo.

Durante mucho tiempo, desde los comienzos de la industrialización, hemos sido satisfechos con un nivel de automatización modesto. Esto se ha visto en los conceptos industriales 1.0 a 3.0, cada uno de los cuales ha tenido su nivel incrementado de automatización. Antes del siglo XIX, los artesanos, entrenaban “al trabajar” en su puesto de trabajo, y después las herramientas se delegaron en las maquinas en la línea de trabajo, y los operadores perdieron significativamente su papel. En la industria 4.0, para simplificar, habrá como mucho un sirviente de los robots si no son capaces de ser creativos en el sistema productivo.

Haciendo el sistema productivo sensible a la información externa la producción se hace más ágil, flexible y fiable que un autómata predecible clásico, y capaz de progresar aprendiendo, lo que implica un mayor nivel de tecnicismo, aproximándose casi al comportamiento humano a través de la AI. Ahora las máquinas tienen doble información: por un lado la externa a través de los modelos de comunicación digitales y AI, y por otro lado la interna de las medidas de sensores (IoT). El sistema productivo a través de sus redes a nivel global se puede caracterizar de radical, excluyente de todo aquello que podría ser extraño para él. En este contexto puede llegar a haber un conflicto grande con la humanidad y su aislamiento.

David Gunning (2018) de DARPA, explica que la aparición de la AI, uno de los pilares esenciales de la Industria 4.0, está basado en tres corrientes: la primera empezó en los años 50, y concierne el razonamiento simbólico, como la generación de los teoremas en *Principia Mathematica*; la segunda concierne el aprendizaje estadístico, que envuelve el desarrollo de modelos para aprender de los datos reales; y la tercera se llama la corriente de la adaptación contextual y explicable, donde se intenta combinar la percepción y el razonamiento sofisticado con la abstracción. Se puede ver en la **figura 2.5**. Un ejemplo que está a la vista de todos es el ajedrez.

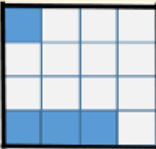


Description of symbolic reasoning	Prediction of statistical learning	Clarification of contextual adaptation
Perception Learning Abstraction Reasoning 	Perception Learning Abstraction Reasoning 	Perception Learning Abstraction Reasoning 
<ul style="list-style-type: none"> - Creation of logical rules to represent knowledge in limited domains - Reasoning of restricted problems - Absence of learning capacity and bad management of uncertainty 	<ul style="list-style-type: none"> - Creation of statistical models for specific problems and exploitation of Big Data - Classification capacities and nuanced prediction - Non-contextual capacity and minimal reasoning capacity 	<ul style="list-style-type: none"> - Creation of systems which allow for explicative models for phenomena in the real world - Natural communication between machines and people - Systems learn and reason when they are faced with new tasks and situations

Figura 2.5. Las tres corrientes de la AI. Fuente: "Industria 4.0, paradojas y conflictos"-Jean-Claude André

"El aprendizaje de las máquinas y el aprendizaje profundo requieren un gran cúmulo de datos históricos reales si el sistema de AI está aprendiendo de su 'experiencia'. Su desarrollo también requiere infraestructuras que habiliten a la AI a llevar a cabo sus tareas y objetivos en base a lo que ha aprendido" (UNESCO 2018).

La ciencia digital irrumpe en el ambiente de fabricación (optimización, calidad...) y puede tener un rol en los procesos de innovación, pero debe ser recordado que no puede cambiar la base primigenia de la actividad. Además, un grupo de productos coadyuvantes han surgido con el paso de los años, y, en algunos casos, continúan desarrollándose rápido. Podemos nombrar algunos en particular:

- Computación en la nube
- Interfaces humano-teléfono
- Sensores avanzados
- Realidad aumentada, virtual, mixta...

- Conectividad inalámbrica (5G) permitiendo comunicación M2M (machine to machine).

Con la adopción de tecnologías de fabricación “digitales” se espera que se acelere la introducción de nuevos productos, que sea de ayuda para las compañías a la hora de optimizar procesos, reducir el gasto, y una mayor coincidencia en oferta-demanda, que tendrá un impacto significativo en la productividad de las empresas que tienen integradas tecnologías digitales en sus procesos.

Para Philbeck (2017) es más importante pensar en los sistemas de producción y no sólo en las tecnologías. Para este autor las tecnologías vistas de forma individual son interesantes, pero es su impacto el que cuenta. Las tecnologías emergentes están cuestionando nuestros valores sociales y normas, algo que a veces es bueno, y otras no. Esta cuarta revolución industrial tendrá claramente un impacto en las especies vivientes, en el planeta, en geopolítica y en la economía mundial.

Este mismo autor dice: “debemos adoptar una posición respecto a la tecnología y sistemas tecnológicos que empodere a la sociedad en contra de fatalidades y determinismos, para que la sociedad no se vea cancelada. Las tecnologías no son fuerzas; tenemos la habilidad de darles forma y decidir cómo se aplican...en ausencia de debate y control, las sociedades son proclives a permitir la no democracia, fuerzas aleatorias y potencialmente maliciosas para dar forma al futuro de la tecnología y su impacto en la población. Pero en una sociedad tan globalizada como la de hoy día, en la que el leitmotiv es la competencia tecnológica, ¿Cómo podemos alcanzar dicho objetivo?”

Estas palabras sin duda me han llevado a recordar la película “Yo, robot”, ambientada en el futuro y en la cual los robots humanoides forman parte de la vida diaria, y acaban luchando humanos y robots. No me gustaría vernos en esa tesitura, pero el avance tecnológico es inexorable, y lo que ahora nos parece ficción, en unos años puede que estemos inmersos en una “película”.

En la práctica, el concepto de Industria 4.0 se refiere a los elementos de la **figura 2.6**. El desarrollo de un nuevo contexto implica como mínimo un profundo intercambio entre los profesionales que trabajan en electrónica, ingeniería

computacional, mecánica, procesos...así como en materiales.

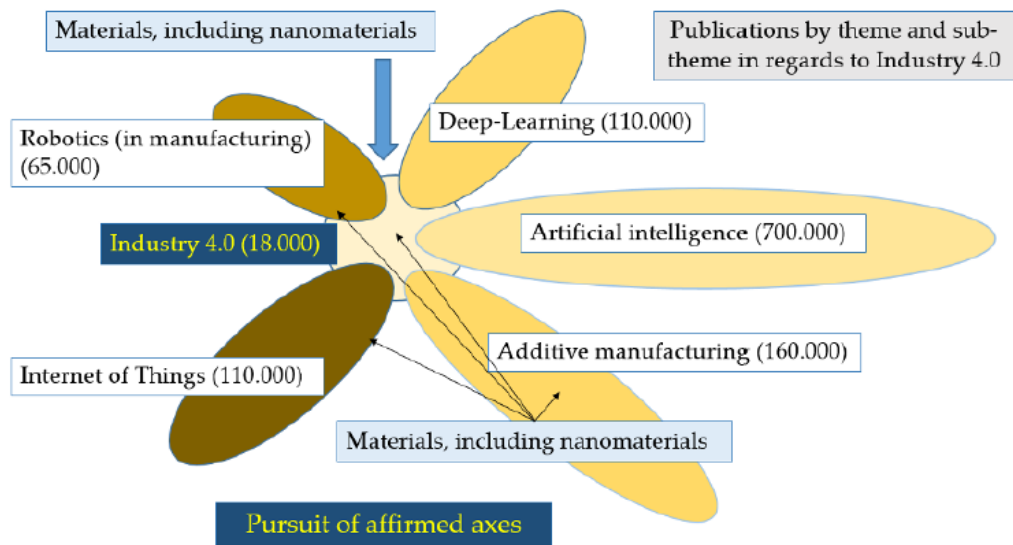


Figura 2.6. Elementos característicos de la Industria 4.0. Fuente: "Industria 4.0, paradojas y conflictos"-Jean-Claude André

2.1.4.2 ¿Qué se espera de esta revolución industrial?

Según un estudio planteado en la plataforma Scopus por graduados casi todos ellos de la universidad de Santa Cruz de Sol, Brazil, los resultados que se obtuvieron fueron muy diversos. En este contexto incierto, el objetivo de dicho estudio era identificar qué competencias de la literatura se consideran necesarias para los empleados en la industria 4.0, conduciendo una revisión de la literatura y mapeado científico para verificar la evolución de los temas clave relacionados con la calificación de profesionales en industria 4.0 y posibles caminos de búsqueda y educación. El estudio también buscó temas actuales y autores que están especializados en el campo para crear un mapa del campo de estudio. Asimismo, un objetivo del estudio fue identificar competencias (sabiduría y habilidades) necesarias para trabajar en la industria 4.0.

El proceso seguido para realizar el estudio se muestra en la **figura 2.7**.

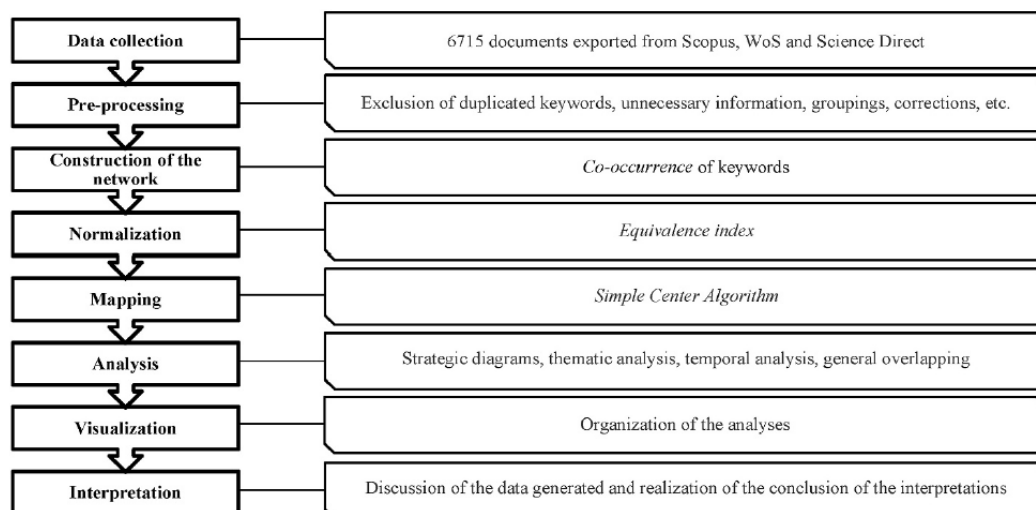


Figura 2.7. Método seguido para realizar el estudio. Fuente: "Scientific mapping to identify competencies required by industry 4.0-Liane Mahlmann Kipper et al.

Las innovaciones que están teniendo lugar en esta cuarta revolución industrial alteran los productos, servicios y sistemas de producción, y obligan a los trabajadores a desarrollar nuevas habilidades. Este proceso afectará notablemente al trabajo de los empleados, ya que las actividades manuales y trabajos de menor preparación se verán reducidos por la automatización de los procesos. Así pues, la educación de los trabajadores debe estar adaptada con nuevos modelos de enseñanza y aprendizaje que se centren en desarrollar competencias interdisciplinarias y expandiendo capacidades de la juventud para resolver problemas y hacerse con los retos que presenta la cuarta revolución industrial.

Mientras tanto las tecnologías pueden mejorar las capacidades y habilidades de los trabajadores, seguridad y ayudarles a ejecutar tareas más arriesgadas, y ayudar a las compañías a mejorar su eficiencia al incrementar la flexibilidad en los procesos de producción, acelerando el lanzamiento de nuevos productos y servicios al mercado.

Ananiadou & Claro, en su estudio sobre las competencias y habilidades que se necesitan en el siglo XIX, añadieron los conceptos de competencia y habilidad y ofrecieron distintas definiciones: 1) una habilidad es la capacidad del ser humano de ejecutar tareas y resolver problemas, 2) la competencia involucra la capacidad del ser humano de encontrarse con demandas complejas, que le obliguen a ir más allá de los elementos cognitivos y aspectos funcionales, hasta incluir atributos interpersonales y valores éticos. La competencia puede estar coadyuvada por la inteligencia y la personalidad, y puede proveer de valor social a un individuo y valor económico a una compañía. La búsqueda muestra que los errores humanos afectan a la fiabilidad de la cadena de valores, tienen un impacto fuerte en la calidad y directamente afectan a la producción por la

pérdida de tiempo, incremento de costes. Estos errores pueden estar asociados a la falta de conocimientos o habilidades, demasiada carga de trabajo que genera estrés, procesos repetitivos o incluso el ambiente que rodea a los trabajadores. Los sistemas ciber-físicos (CPSs) involucran una integración dinámica entre los procesos físicos, software y las redes de trabajo. Son sistemas multidisciplinarios que aportan técnicas de modelado, diseño y análisis, facilitando el control de los procesos a través de una integración entre hombre y máquina. En este contexto, la principal área de influencia humana ocurre a través de su capacidad cognitiva, comportamiento predecible y motivación en la intención de predecir y minimizar el error humano. La inteligencia artificial (AI) es otra tecnología que puede contribuir en la toma de decisiones y resolución de problemas complejos usando bases de datos.

Güller y Büyüközkan presentan tomas de decisiones basadas en “multi-criteria decision making” (MCDM), lógica, “analytic hierarchy process” (AHP), y diseño axiomático (AD). Sellitto et al. también encontraron que los fallos humanos en el control de los procesos ocurren normalmente por la pequeña habilidad del ser humano de discernir variaciones muy pequeñas en condiciones operacionales. Pasquale et al. evaluaron la literatura del análisis de fiabilidad humano en sistemas de montaje. Identificaron 12 acercamientos a evaluaciones de fiabilidad humana que se aplicaron en sistemas de montaje, pero aún quedan varias áreas que pueden ser exploradas para una búsqueda futura considerando la gran cantidad y complejidad de las variables que afectan al error humano. Jirgl, Bradac y Fieder presentaron un breve resumen de los CPSs, haciendo hincapié en el papel que desempeñan los humanos en cooperación con dichos sistemas. Los CPSs a veces se denominan “Human-in-the-LoopCyberPhysical Systems” (HiLCPSs).

Según Oztemel & Gursev, la maquinaria no sustituirá al ser humano en las compañías, aunque afirman que el desempleo aumentará inevitablemente causado por el cambio de la tecnología. Esto motiva a los profesionales a asumir nuevas oportunidades y responsabilidades que les prepararán para el futuro. Las compañías tendrán que adoptar nuevos enfoques, ayudando a sus profesionales a desarrollar habilidades como: resolución de problemas, análisis de fallos, flexibilidad para con los continuos cambios y nuevas tareas, interconectividad, innovación y transformación digital.

La industria 4.0 presenta desafíos en la esfera social, requiriendo a las compañías que desarrollen los mayores niveles de competencias en sus trabajadores y que atraigan nuevos talentos capaces de lidiar con las tecnologías y sus nuevas complejidades. Además, los factores como cambios demográficos, regulaciones nacionales, jubilaciones tardías y esperanza de vida mayor permiten a las personas trabajar más tarde en la vida, aumentando el rango de edad de la plantilla. Por esta razón estos autores reclaman que las

compañías necesitan desarrollar competencias y habilidades en sus trabajadores a través de entrenamiento e innovación para permanecer atentos a las oportunidades ofrecidas por la industria 4.0 y minimizar los impactos causados por consecuencias disruptivas. Sin embargo, Benesová y Tupa creen que la transición a la producción sofisticada no será inmediatamente posible dados los altos costes, y la falta de empleados capaces de usar estas nuevas tecnologías.

Aunque la “reference architecture model industry 4.0” (RAMI 4.0) habiendo sido desarrollada por asociaciones en Alemania, estudios recientes muestran que la literatura en la industria 4.0 no es consensual o no está bien definida aún, además de que no hay estándares para la aplicación y el uso de las tecnologías. Estos autores muestran en su estudio que las tecnologías que mejor representan la industria 4.0 son los CPS, IoT y el big data. La integración de tecnologías ayudará a resolver problemas, facilitará la flexibilidad en la producción y eficiencia en las compañías. Motyl et al. consideran que son nueve los pilares que componen los pilares de la industria 4.0:

- Big data
- Robots autónomos
- Simulación
- Sistemas integrados
- IoT
- Ciberseguridad
- Computación en la nube
- Manufactura aditiva
- Realidad aumentada

Para Zhong et al. son cinco las tecnologías clave para la manufactura inteligente:

- IoT
- CPS
- Computación en la nube
- Análisis de big data
- TIC

Independientemente de las tecnologías emergentes, el propósito de la industria 4.0 es analizar grandes cantidades de datos para ayudar en la toma de decisiones, obtener respuestas rápidas, hacer la producción flexible y eficiente, para obtener alta calidad de productos y reducción de costes, habilitando el crecimiento y productividad. Para trabajar eficientemente con nuevas tecnologías las compañías deben meditar la forma en que dirigen los

factores humanos, desde que los colaboradores necesitan desarrollar sus habilidades para maximizar las mejoras que esas tecnologías pueden brindar.

Según este estudio, si centramos los documentos en torno a los conceptos “actos humanos”, “habilidad” y “educación ingenieril” se obtiene que el crecimiento de la nueva crecida de tecnologías industriales influenciará la formación académica de técnicos e ingenieros, provocando cambios en una educación mejor y demandando que los estudiantes desarrollen constantemente nuevas habilidades a niveles inferiores y superiores. Igualmente, la conectividad entre los sistemas inteligentes permitirá a los procesos industriales convertirse en más eficientes y productivos cuando respondan a las demandas del cliente.

Si analizamos la **tabla 2.1** podemos observar la existencia de conjuntos de habilidades necesarias y conocimientos, teniendo en cuenta las transformaciones causadas por la industria 4.0.

Tabla 2.1. Competencias (conocimiento+habilidades) requeridas por la Industria 4.0. Fuente: "Scientific mapping to identify competencies required by industry 4.0-Liane Mahlmann Kipper et al.

Authors	Competences Required																																							
	Knowledge							Skill																																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38		
FIADHI (2018)																																								
ANGRISANI (2018)																																								
SHARP (2018)																																								
TOQUICA (2018)																																								
O'DONOVAN (2018)																																								
OZTEMEL (2018)																																								
RAO (2018)																																								
AHUTT-GARZA (2018)																																								
TUPTUK (2018)																																								
GITELMAN (2018)																																								
NYIKES (2018)																																								
BIRGLEN (2018)																																								
KERGROACH (2017)																																								
CARTER (2017)																																								
PERINI (2017)																																								
DAHLMANN (2017)																																								
VILA (2017)																																								
MOTYL (2017)																																								
GARBIE (2017)																																								
CARUSO (2017)																																								
XU (2017)																																								
BAENA (2017)																																								
WU (2017)																																								
RICHERT (2016)																																								
WANG (2016)																																								
EGOROV (2016)																																								
SACKEY (2016)																																								
HBSCH-KRENSSEN (2016)																																								
WAHL (2015)																																								
Most cited																																								

Nota de la **tabla 2.1**: 1 = automatización industrial, 2 = asociadas a realidades prácticas, 3 = ciencias ingenieriles, 4 = técnicas, 5 = TICs, 6 = desarrollo de software y seguridad, 7 = aprovechamiento digital, 8 = adaptabilidad/flexibilidad, 9 = análisis de datos, 10 = aprendizaje continuo, 11 = autoevaluación, 12 = autodirección, 13 = autogestión, 14 = autoorganización, 15 = capacidad analítica, 16 = capacidad de aprender, 17 = capacidad de dar y recibir retroalimentación, 18 = colaboración, 19 = comunicación, 20 = cooperación, 21 = creatividad, 22 = educación virtual, 23 = cognitivas, personales, lingüísticas y sociales, 24 = Iniciativa, 25 = Innovación, 26 = Interdisciplinarias, 27 = Intuición, 28 = liderazgo, 29 = Multidisciplinarias, 30 = Persuasión, 31 = Pro-actividad, 32 = Interpersonal, 33 = solución de problemas, 34 = solución de problemas complejos (virtual), 35 = toma de decisiones, 36 = trabajo en equipo, and 37 = visión estratégica y conocimiento.

Wahl afirma que estamos viviendo en un área de conocimiento. La implementación de dispositivos electrónicos y circuitos integrados expande la necesidad de mejorar nuestro conocimiento de la automatización industrial. Uno de los retos creados por esta conectividad es la necesidad de proteger la integridad y seguridad de los datos guardados en la nube, que requiere un conocimiento más profundo de las TICs, desarrollo de software y digitalización de la manufactura.

También se requieren nuevas habilidades, y esas que son más citadas en este estudio fueron: pensamiento interdisciplinario, solución de problemas, adaptabilidad/flexibilidad y creatividad. La necesidad de pensamiento interdisciplinario es una consecuencia de la alta complejidad y conocimiento en las compañías. Las actividades realizadas conjuntamente por humanos y robots requieren un alto nivel de adaptabilidad y flexibilidad al igual que habilidades para resolver problemas complejos, suponiendo que las fábricas inteligentes adoptan tecnologías avanzadas y complejas, como: big data, redes de trabajo neutras, algoritmos y modelado. Caruso afirma que la producción descentralizada crece junto con la economía de internet, cambiando la naturaleza de la producción industrial en la cual los trabajadores tienen más autonomía, creatividad y libertad en la toma de decisiones. Con estos cambios se adquieren habilidades más rápidas como la de solucionar problemas y la creatividad, y las habilidades sociales y cognitivas ganan una importancia mayor en una organización.

Si analizamos los resultados del estudio podemos ver que la implementación de los conceptos de industria 4.0 en las compañías harán necesarias condiciones que permitan cooperación, no solo en un nivel global, sino también a nivel regional, a través de reforzar las relaciones entre el gobierno, la industria y las universidades. Para Leydesdorff, Etkowitz y Zhou esta relación entre universidades, industria y gobiernos forma la “triple hélice” de innovación y empresa, que son críticos para el crecimiento económico y desarrollo social basado en la sabiduría, que también permite ser tal y como son a los sistemas integrados. Sin embargo, Veza, Gjeldum y Mladineo destacan la falta de ejecutores que promueven las relaciones entre universidades, compañías y gobiernos. Esto puede resolverse creando “Learning Factories” (LF), que están caracterizadas por la simplificación selectiva o reducción gradual de los procesos de producción complejos. Están usados como modelos en fábricas reales para educar y entrenar personas a desarrollar nuevas habilidades. Los enfoques de las LF tienen un impacto fuerte en las competencias metodológicas, sociales y personales de los empleados; además ofrecen gran cualificación en términos de sus conocimientos prácticos sobre sus actividades y puestos de trabajo, que es esencial para la implementación de la industria 4.0.

Angrisani et al. destacan cuán importante es para los fabricantes de tecnologías e innovaciones el hecho de emprender trabajos en lugares tecnológicos, como el FabLAB. El propósito de los “Factory laboratories” es apoyar la puesta en marcha que puedan intensificar la competitividad global. Estos laboratorios proporcionan a ingenieros jóvenes no solo conocimientos tecnológicos sino también conocimientos tendencias e innovaciones multidisciplinarias, así como destreza en simulaciones, preparándoles para el mercado laboral. En este contexto, los parques tecnológicos localizados en las

universidades tienen mucho que contribuir a través de la creación de LF que puedan proveer entornos ideales para el desarrollo práctico de profesionales en una amplia gama de campos.

Volviendo a las palabras clave “skills”, “engineering-education” y “human performance”, dieron lugar a un mapa conceptual, que es un diagrama jerárquico y dimensional que muestra la estructura del conocimiento en un contexto dado. **Figura 2.8.** En dicho estudio el mapa conceptual destaca las transformaciones principales causadas por la implementación de tecnologías.

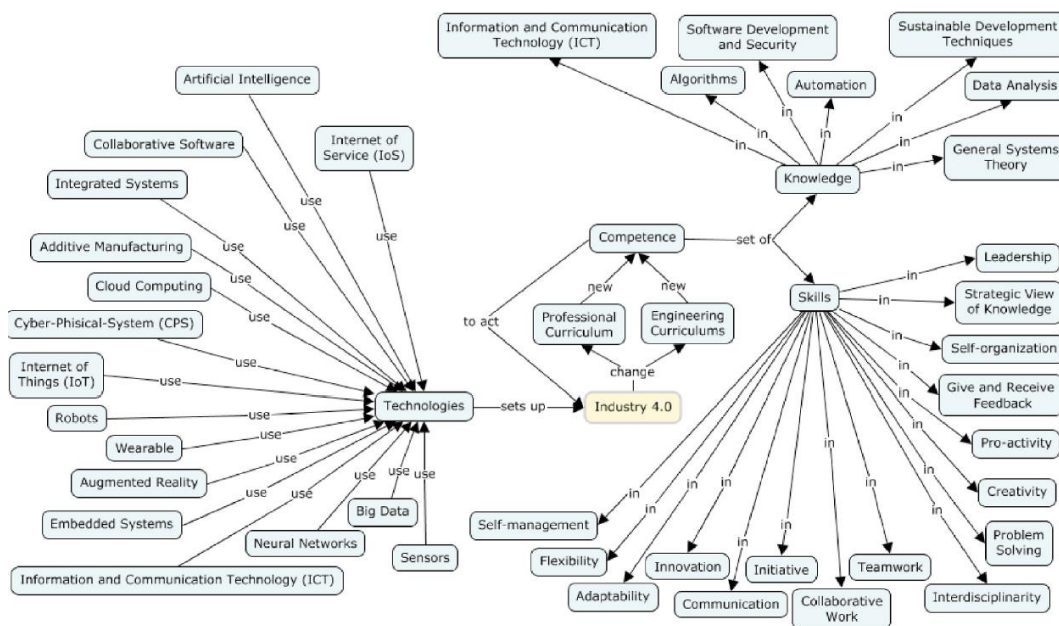


Figura 2.8. Mapa conceptual de las transformaciones para la industria 4.0. Fuente: “Scientific mapping to identify competencies required by industry 4.0-Liane Mahlmann Kipper et al.

Las tecnologías cada vez están más presentes en nuestras vidas humanas, y en las compañías donde Big Data, IoT, CPS y fabricación aditiva están ganando espacio. La conectividad entre las diferentes tecnologías y su habilidad para aprender trae nuevas oportunidades a las compañías. Los trabajadores también se benefician de la innovación que las máquinas nuevas dan al cubrir actividades más peligrosas. Esta interacción humano-máquina, conectividad tecnológica y el aprendizaje entre ambos es lo que da forma a lo que llamamos Industria 4.0.

Con esta tecnología y un mercado tan competitivo, los profesionales se deben adaptar, transformar para permanecer en el mercado laboral. Un paso importante puede ser la reestructuración de currículos profesionales y académicos a través de la adquisición de competencias, es decir, sabiduría y habilidades.

Los conocimientos técnicos, o habilidades duras como análisis de datos y desarrollo de software, y conceptos de seguridad, teoría de sistemas general, técnicas de desarrollo sostenible y otras permitirán a los profesionales mejorar sus capacidades tecnológicas. También son importantes habilidades menos exigentes como adaptabilidad, flexibilidad, creatividad e interdisciplinariedad.

En este contexto, las “learning factories” pueden conectar universidades y compañías, y ayudar a desarrollar los conocimientos técnicos y habilidades inherentes a cada individuo, ofreciendo a los trabajadores y estudiantes un ambiente de conocimientos que simule el trabajo real.

En conclusión, sacaron que el análisis de dichos documentos reveló la influencia de las habilidades individuales en el uso de la implementación de la tecnología propuesta por la Industria 4.0 como los CPS, IoT, big data y otros. La conectividad, el trabajo colaborativo y las relaciones humano-máquina ayudarán dando soporte. Esto beneficia a las compañías haciéndolas más competitivas y eficientes, y los trabajadores no tendrán que volver a hacer tareas repetitivas y trabajará con sabiduría.

Se identificó una relación de crecimiento entre los ambientes de innovación (learning factories) y el manejo y desarrollo de personal para la industria 4.0, a través de la creación de ambientes reales de aprendizaje. También se encontró que existe una necesidad de mejorar la educación creando ambientes que conduzcan a comportamientos de aprendizaje que son esenciales para permitir a los trabajadores desarrollar funciones específicas. En este contexto, la integración entre las universidades y las compañías es importante para reformular los currículos y preparar profesionales.

Recalcar la importancia que tiene la influencia de la alianza universidad-compañías-gobierno en el desarrollo de profesionales que trabajen en ambientes innovadores.

2.1.4.3 Algunas tecnologías importantes en la 4ª revolución industrial

2.1.4.3.1 IoT (Internet of Things)

Esta es una de las principales tecnologías en la era de la Industria 4.0. “Los sensores de bajo coste y procesadores activan la rápida dispersión y generación de Big Data, que son ahora ubicuas a través de las operaciones de producción.” (H. Ahuett-Garza et al.). El IoT permite la interoperabilidad de la información dentro de una organización y con el mundo exterior. Esta tendencia se espera que cambie las relaciones entre clientes, fabricantes y suministradores. Según Lu (“Industry 4.0: a survey on technologies, applications and open research issues”), el cliente tendrá un mayor rol en las decisiones del producto y su calidad.

Dentro de una organización, IoT tiene el potencial de revolucionar las jerarquías de control incluidas la información de la tienda, los sistemas de manufactura y los planes de recursos. Almada-Lobo () identifica 4 maneras en las que esto ocurrirá: descentralización, integración vertical, conectividad y computación en la nube.

Los paradigmas y computación de vanguardia tienen como funciones principales aprovechar las funciones de almacenaje y procesamiento de varios dispositivos IoT y reducir la carga de trabajo en la Nube.

2.1.4.3.2 AI (artificial intelligence)

La AI evoluciona con el desarrollo de los ordenadores e incluso se apoya en el desarrollo de esto. Las maneras y procesos del pensamiento humano desarrollados por psicólogos y bienvenidas por expertos computacionales producen la ciencia de la inteligencia artificial.

Aunque es imposible (por ahora) emular al 100%, la inteligencia humana se imita con el desarrollo de inteligencia artificial. El desarrollo de AI comienza con “Smart Systems”, continua con “Knowledge Based Artificial Intelligence” y luego con “Computational Artificial Intelligence”. Sin embargo, todos estos sistemas de AI no necesariamente retienen el conocimiento. Los sistemas inteligentes imitan el comportamiento humano, mientras que los sistemas basados en AI imitan el pensamiento humano.

En el año 2017 un grupo de investigación de la escuela de ingeniería eléctrica e informática presenta un modelo (algoritmo) para sistemas de AI, en concreto para la extracción de conocimientos:

Los seres humanos reciben varios impulsos de información de sus 5 sentidos. De cada grupo de información se obtiene conocimiento, y el conjunto forma un grupo de información del que podemos aprender. Esto se llama “Knowledge Growing”. Si este proceso se repite puede llegar a ser perfeccionado.

Asumiendo los modelos de procesamiento de información humanos, este equipo modela una base llamada HIS (human interference system). Se asume que cualquier información nueva es un producto de información fusionada que llega de dos o más sensores.

En las operaciones militares, el conocimiento del clima, del campo de operaciones o del poder del enemigo es decisivo en la toma de decisiones. En la **figura 2.9** se puede ver el resultado de la fusión de información:

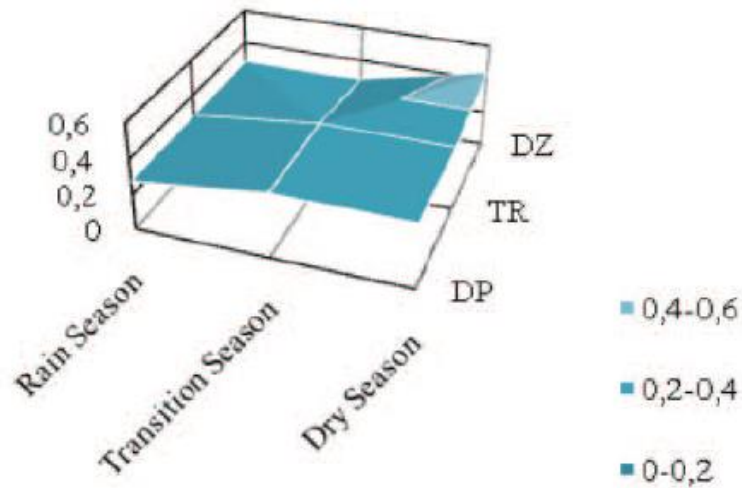


Figura 2.9. Producto de la fusión de información para las condiciones meteorológicas. Fuente: "Brain inspired cognitive artificial intelligence for knowledge extraction and intelligent instrumentation system"-Adang Suwandi Ahmad et al.

La **figura 2.10** muestra el resultado de la información del tiempo, campo y situación del enemigo.

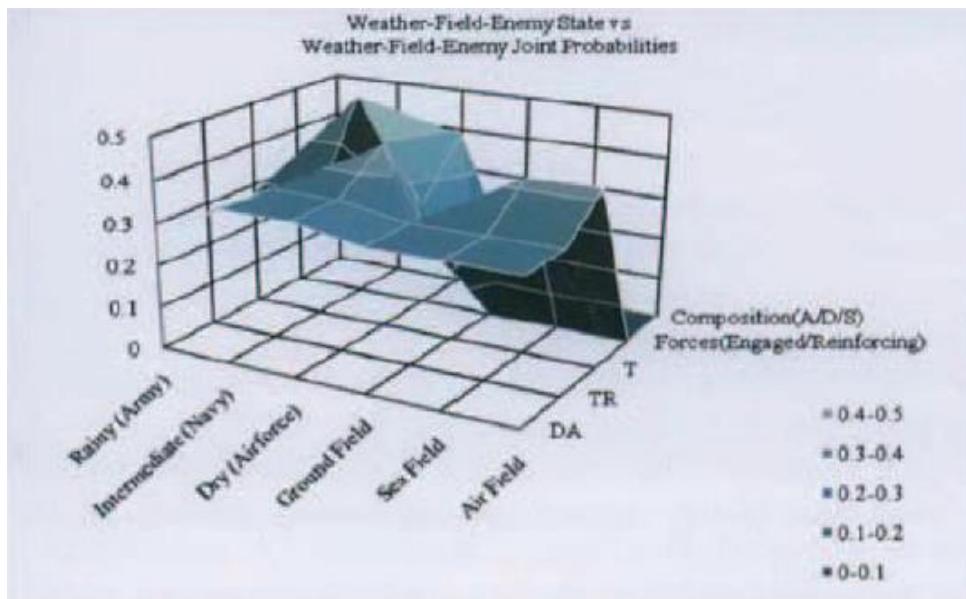


Figura 2.10. Declaración conjunta del tiempo, campo y del enemigo resultado de la Fusión de Información

Además de estas aplicaciones, la AI se puede utilizar en el campo de vigilancia de costas y estado del corazón humano (limitado a los bloqueos y arritmias por el momento).

De este modelado se obtiene que la inteligencia artificial cognitiva (CAI) se basa en la fusión de información y está probado en el uso de extracción de conocimiento que se vuelve un instrumento capaz de imitar la inteligencia cognitiva humana.

Es también destacable que gracias a los desarrollos en este campo hemos conseguido identificar la voz humana y convertirla en información procesable para las máquinas. La base de esto son los algoritmos de “machine learning” o aprendizaje automático, y la capacidad de procesar mayor cantidad de datos.

Antes de la creación del SMS se plantearon las dudas de si tendría cabida, ya que pudiendo llamar ¿quién querría mandar un mensaje?. Después de esto surgió el correo electrónico y las aplicaciones de mensajería instantánea, dejando de lado las llamadas de voz. Ahora, y gracias a los algoritmos de *machine learning* la voz está recuperando su terreno, pero no para hablar entre los seres humanos, sino con las máquinas: interacciones humano-máquina y máquina-máquina. Sin ir más lejos, el reconocimiento de voz en los vehículos es prácticamente un complemento de serie, y más aún, cada vez es más frecuente que los traductores sean una interfaz de voz, para hacer de intermediario no sólo entre humanos sino entre humanos y máquinas, transformando lo que una parte quiere decir al lenguaje de la máquina. Pero ¿sería suficiente con el lenguaje? Evidentemente no, la AI necesita un contexto para desenvolverse, pero aun así hoy día no puede dominar todos los contextos, registros de voz, etc. del ser humano. Simultáneamente al mensaje recibido por un oyente, éste lo decodifica teniendo en cuenta el mensaje y el contexto. Esto es conocido como “Teoría de la relevancia” y es ahí donde las máquinas se topan con problemas. Es por ello que muchas veces se complementa el reconocimiento de mensajes orales con imágenes o patrones. Además, y junto con el IoT, se puede adquirir un conocimiento mayor del contexto que rodea a la inteligencia artificial, que sigue siendo un reto hoy día.

Pero no todo el desarrollo de la AI está bien visto, pues existe el temor de que la AI pueda no ser beneficiosa. Poniendo restricciones en tecnologías en vías de desarrollo basadas en nuestras presunciones pueden ayudarnos a evitar la extinción a manos de “robots malignos”, pero puede también causar nuestra extinción por razones naturales, como la evolución haciendo más difícil para los humanos usar la tecnología.

Según Elon Musk, Steve Wozniak, Bill Gates, Bill Joy o Stephen Hawking, está claro que lo que se teme es una “AI no amigable”, y lo que se pretende conseguir es lo contrario, una “AI amigable”. Los términos “no amigable” y “amigable” no se refieren al trato personal de un sistema AI. Estos términos se refieren al impacto positivo o negativo en la humanidad. Esto es porque los sistemas AI son ordenadores y no tienen valores humanos. Tendemos a antropomorfizar la AI y atribuirle nuestros valores morales como buenos o malos, según nuestra conciencia. Estos atributos desarrollados después de cientos de años de interacciones sociales, que la AI no comparte a no ser que se creen para dicho fin. La AI opera en una tarea con un objetivo concreto. Para

ilustrar con un ejemplo, existe una AI que tiene por objetivo mantener a los árboles de cierta plantación libres de esporas externas para mantener el ADN del árbol lo más puro posible. No hay que extrañarnos si la población de insectos se ve mermada en dicha zona.

Este enfoque implica a la ley y a las instituciones legales, y podemos anticipar los estragos que tendrá la AI con la ley. La AI con suerte actuará como se programe. Sin embargo, el método que la AI adopte para llegar a su objetivo puede ser visto como “no amigable”. Es por ello que deberían hacerse estudios de los riesgos que la AI puede presentar, cubriendo los temas filosóficos y éticos que rodean el comportamiento.

2.1.4.3.3 Manufactura aditiva

En 1983 C.W. Hull presentó la estereolitografía (SL) que fue la base para la manufactura aditiva. En los años primeros la SL fue usada para crear modelos físicos de piezas, para verificar la posibilidad de fabricación y para comprobar diseños y ensamblajes. La principal ventaja de este proceso era la transición virtual entre el modelo digital y la pieza física, sin necesidad de herramientas específicas. Muchos otros procesos se dieron a conocer desde la aparición de la SL: sinterizado láser selectivo (SLS), sinterizado láser directo a metal (DMLS), fusión laser selectiva (SLM), entre otras. Sin embargo, no ha sido hasta hace 15 años que la tecnología de fabricación aditiva ha comenzado a producir piezas funcionales.

La manufactura aditiva tiene un flujo digital de datos que transforma la materia prima en las piezas finales. El proceso empieza con un modelo digital en 3D de la pieza que se quiere obtener. Tras esto el modelo digital se discretiza para crear instrucciones en la máquina.

Hoy por hoy, la manufactura aditiva está bien establecida en aplicaciones caracterizadas por un nivel alto de personalización y bajo volumen de producción. Eyers y Dotchev aportan ejemplos de esto con implantes médicos personalizados en odontología (dientes, coronas, puentes y dentaduras), ortopedia (prótesis de extremidades, juntas de rodillas y copas acetabulares) y maxilofaciales (mandíbulas y cráneos). Sin embargo, en las industrias automovilísticas y aeroespaciales la calidad del producto y fiabilidad de los componentes 3D se está estudiando. Adicionalmente, la fuerza en los materiales, volumen de impresión y velocidad del proceso son obstáculos de las tecnologías de fabricación aditiva. El reemplazo de los procesos de producción en masa por los de manufactura aditiva todavía no es atractivo para estas industrias.

Para superar las debilidades de esta tecnología se han hecho grandes esfuerzos por desarrollar los materiales. Dickson et al. afirman que los plásticos 3D pueden reforzarse con carbono, Kevlar y fibras de vidrio para mejorar las propiedades mecánicas.

Según Thompson et al. la fabricación aditiva tiene el potencial de apoyar una amplia gama de actividades incluyendo la fabricación, energía, transporte, arte, arquitectura, educación, aficiones, exploración del espacio y la tecnología militar.

2.1.4.3.4 Aprendizaje automático

En el corazón de la Industria 4.0 reside la capacidad de medir y grabar los parámetros, datos, de los fenómenos eléctricos, mecánicos, químicos y magnéticos de los procesos industriales. El aprendizaje automático (“machine learning” en inglés), es un grupo de técnicas de ordenador que se focalizan en extraer el conocimiento útil y hacer decisiones apropiadas a través del Big Data.

El aprendizaje automático ha tenido un gran impacto en los sistemas de monitorizado para la detección de patrones y clasificación de sistemas de salud, detección de errores, predicciones de las condiciones de trabajo futuras...entre otras. Por ejemplo, Quet et al. realizaron un diagnóstico en una caja de cambios basada en la comparación acústica de vibraciones.

Una tendencia reciente del aprendizaje automático es el aprendizaje profundo (DL), que ha emergido como un método para la detección de patrones de procesos complejos/simultáneos, usando las señales netas como entrada.

Como se puede ver en la **figura 2.11**, el aprendizaje automático es una subclase de la inteligencia artificial.

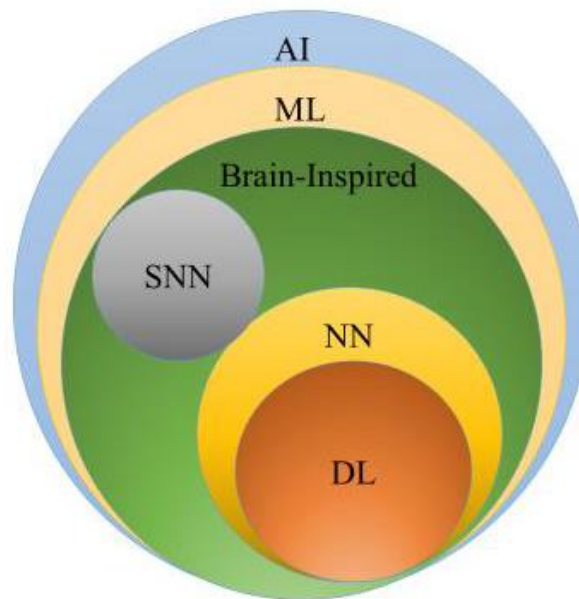


Figura 2.11. Muestra la correlación entre la inteligencia artificial (AI), aprendizaje automático (ML) y aprendizaje profundo (DL). Fuente: "Machine learning and deep learning applications – A visión"-Neha Sharma et al.

Está basada en algoritmos de auto aprendizaje, lo que quiere decir que el sistema aprende por sí solo. Por otro lado, en un sistema de aprendizaje profundo, aprende de la experiencia, pero con una entrada de información muy amplia. Profundo es un término que se refiere a las varias capas entre la entrada y salida de una red de trabajo mientras que en las poco profundas hay dos capas máximo. La inteligencia artificial es una amplia disciplina en generar maquinas inteligentes. Principalmente el trabajo de la AI incluye el aprendizaje automático. Las tecnologías nunca paran de imitar la inteligencia humana, que es por lo que la AI ha ganado una tremenda atención ahora. La mayoría de los investigadores de ordenadores han estado trabajando en este campo desde los años 50. Así la expectativa hacia las máquinas se hace mayor mientras el intento de aprendizaje profundo continuó por esta dirección y también ganó gran atención con la pandemia del COVID-19. Varias aplicaciones, como el reconocimiento facial han ganado atención en el mundo "sin contacto" porque proporciona gran autenticidad a los humanos, ya que las caras son únicas. Además, el sector sanitario, los bancos, aeropuertos, el Alexa de amazon, YouTube, Netflix y otros motores de búsqueda y más negocios han cambiado al usar tecnología de aprendizaje automático para mejorar sus sistemas durante la pandemia. Se ha realizado mucho trabajo.

La clasificación de ML se realiza atendiendo a tres categorías de algoritmos, que son los supervisados, los no supervisados y los de aprendizaje de refuerzo:

- Los de aprendizaje supervisado usan algoritmos que necesitan ayuda externa. Los datos que sirven de entrada se separan en grupos de datos de entrenamiento y de testeo. La variable de salida se predice o clasifica desde la base de datos de entrenamiento.
- Los de aprendizaje no supervisado son algoritmos que aprenden de algunas de las características de la información de entrada. Después de proveer una base de datos nueva, utiliza datos aprendidos anteriormente y las emplea para clasificar los datos.
- Y por último los algoritmos de refuerzo del aprendizaje se basan en el aprendizaje del concepto de las decisiones. En este aprendizaje, las acciones se basan de tal manera en las decisiones tomadas que los resultados sean más valiosos en la salida o en condiciones deseadas. Aprenden a decidir que acción escoger de acuerdo con la situación dada. La situación presente y futura está afectada por la decisión del aprendiz.

La evolución de las máquinas fue gracias a Arthur Samuel en 1959 quien introdujo el término de aprendizaje automático, un pionero en el área de la AI de los videojuegos. Antes de esto, el principal juego de ajedrez se creó en 1948 por Turing y Champernowne. Luego se creó una nueva máquina de ajedrez en 1951 por Dietrich Prinz. En 1952 Christopher Strachey creó un algoritmo de dibujos. En 1970 Duda y Hart explicaron porque era interesante la clasificación de patrones. Tras varios científicos del área y llegando hasta nuestros tiempos, una nueva era ha surgido con el aprendizaje profundo.

Algunas de las principales aplicaciones en el mundo real del aprendizaje profundo se pueden ver en la **figura 2.12**.

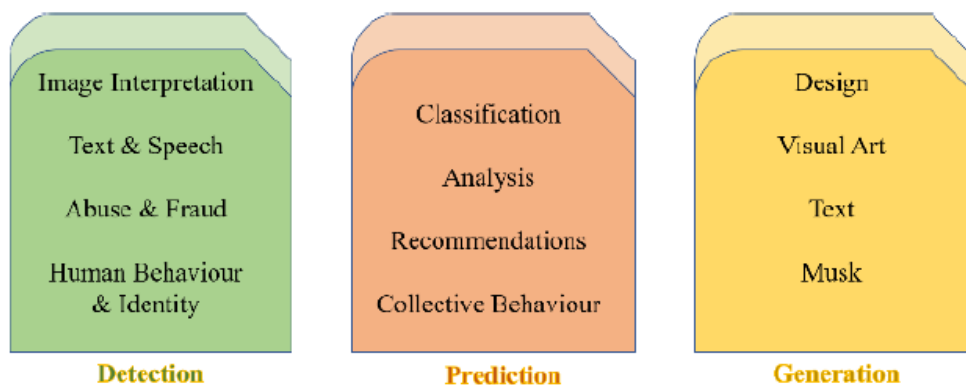


Figura 2.12. Aplicaciones del aprendizaje automático y profundo. Fuente: "Machine learning and deep learning applications – A visión"-Neha Sharma et al.

Hay que destacar que el aprendizaje automático también se puede aplicar a las pandemias. El diagnóstico de los pacientes, identificar quién está en mayor

riesgo, entender mejor los virus, predecir el esparcimiento de la enfermedad, investigar de donde viene el virus, descubrir medicamentos nuevos que pueden ser de ayuda, predecir la siguiente pandemia...son tareas cruciales que puede realizar el aprendizaje automático, como se ve en la **figura 2.13**.

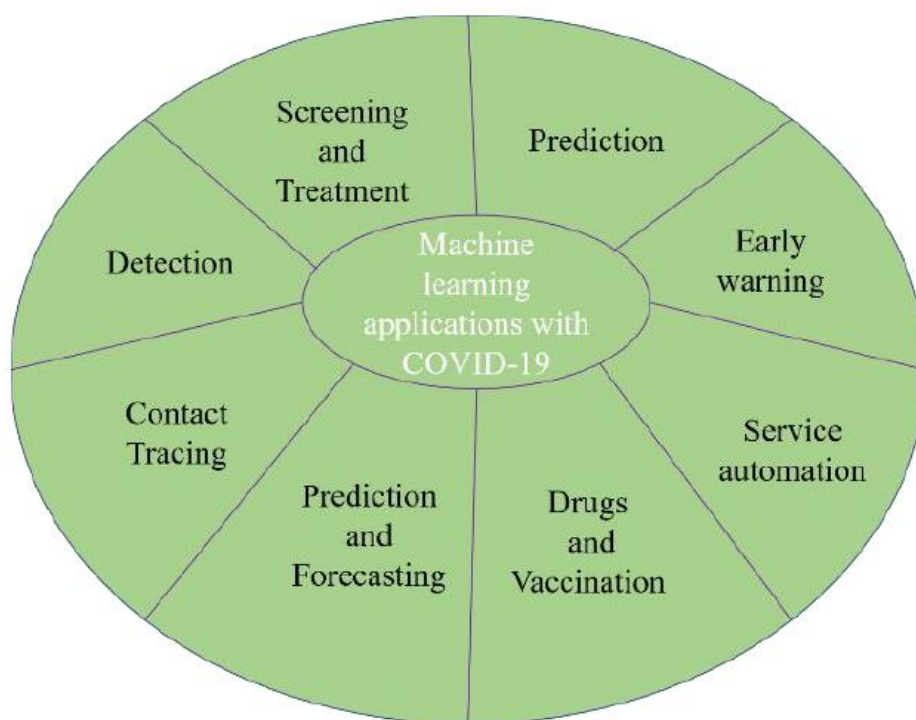


Figura 2.13. Aplicaciones del aprendizaje automático para el COVID-19

El aprendizaje automático se está empleando para la predicción de las infecciones del COVID-19. Este virus se expandió muy rápidamente por el mundo, así que ML (“machine learning”) se puede usar para predecir el comportamiento de los nuevos casos y con ello frenar el contagio de la pandemia. Después de entrenar las máquinas los patrones se pueden detectar. Algunos investigadores desarrollaron un modelo de predicción con aprendizaje automático para detectar casos en china y en el mundo, y Kumar et al. aplicó el modelo ARIMA (“autoregressive integrated moving average) para predecir el contagio del coronavirus en los 15 países más afectados. Además otros autores como Huang et al. y Pandey et al. usaron otros modelos con los mismos fines o parecidos.

El aprendizaje automático es un subdominio increíble de la inteligencia artificial, y su importancia en el desarrollo de tecnologías es muy grande. Ha creado muchas aplicaciones que benefician varios campos y ha hecho desarrollos más simples allá donde se ha usado.

Algunas de las aplicaciones del aprendizaje profundo son por ejemplo el reconocimiento de voz de MAVIS-Microsoft, que se usa para la búsqueda veloz

de archivos de audio y vídeo. También Google aplica el método del aprendizaje profundo en el ambiente de Big Data para la búsqueda de imágenes que ayuda también a entender dichas imágenes para que su etiquetado, indexado y anotaciones sea más fácil. Un sueño profundo del software de Google es que pueda clasificar las imágenes y pueda generar dibujos artificiales y extraños desde su conocimiento. Además, Facebook anunció una máquina capaz de entender los textos con una técnica basada en aprendizaje profundo que pueda clasificar grandes textos; además podrá limpiar la pantalla de mensajes spam e identificar mensajes manipulados.

Hoy en día Google maps está usando una inteligencia artificial llamada DeepMind para predecir la hora de llegada, y esta tecnología ha sido adoptada por PSU, una empresa de transporte. Google, con la ayuda de la empresa Improbable recrea el mundo real con la realidad aumentada (AR). Por ejemplo, un sistema de navegación mejorado usa la AR para superponer la ruta sobre la vista real de la carretera, unas gafas de AR se usan por el aeropuerto de Singapur para obtener más información de lo que contienen los contenedores y acelerar los tiempos de carga.

El mayor reto es para los padres y para el futuro de la nación. Los investigadores del MIT han establecido un sistema de ordenador capaz de detectar desordenes del lenguaje y del habla antes incluso de la guardería.

El autismo, las alteraciones de desarrollo y del habla son una barrera para la calidad completa de vida en las personas que lo padecen. El análisis inicial y su cura pueden generar un efecto muy positivo como la salud mental, física y emocional.

Andrej Karpathy and Li Fei-Fei han trabajado en el entrenamiento de las redes neuronales profundas para reconocer zonas de excitación en las imágenes. Los ordenadores tienden a clasificar automáticamente las fotografías. Por ejemplo, Facebook y Google Photos.

Pixel Restoration o Pixel Recursive Super-Resolution con aprendizaje profundo han hecho posible el concepto de zoom en los vídeos.

Las complejidades del lenguaje son difíciles de entender ya sea de su sintaxis, entonaciones, semántica o expresiones, que son tareas que requieren su tiempo para un ser humano. Con la ayuda del aprendizaje profundo, el procesado natural del lenguaje (NLP) está intentando adquirir el nivel óptimo de éxito.

El laboratorio de inteligencia artificial de Uber ha trabajado para crear coches que se conducen solos.

Actualmente también se han encontrado utilidades para esta situación que nos ha traído el COVID-19. El aprendizaje profundo se usa para diagnósticos de rayos X en el estudio de cáncer, problemas de los huesos, y enfermedades pulmonares. Los modelos ResNet-50, Inception-v3 o Inception-ResNet-v2 se usan para predecir el efecto del virus en las imágenes de rayos X, con un porcentaje de acierto del 98%.

Las prácticas del aprendizaje automático con una serie de algoritmos para analizar e interpretar datos, aprender de ellos y crear bases a partir de ellos les hace de las mejores decisiones. En el caso del aprendizaje profundo el sistema depende de las capas de redes artificiales. Hoy en día cada individuo está haciendo uso del aprendizaje automático directamente o indirectamente. Desde recibir recomendaciones para comprar productos a través de internet hasta las fotos en las redes sociales. El desarrollo de estas dos formas de aprendizaje puede marcar un gran hito en la historia.

2.1.4.3.5 CPPS

Los sistemas ciber físicos de producción (CPPSs) son una forma especial de los CPSs. Un CPS según la empresa alemana VDI/VDE es un sistema que conecta los objetos reales (físicos) y procesos a objetos e información virtuales a través de redes abiertas, parcialmente globales, que pueden conectarse entre ellas en cualquier momento. **Figura 2.14.**

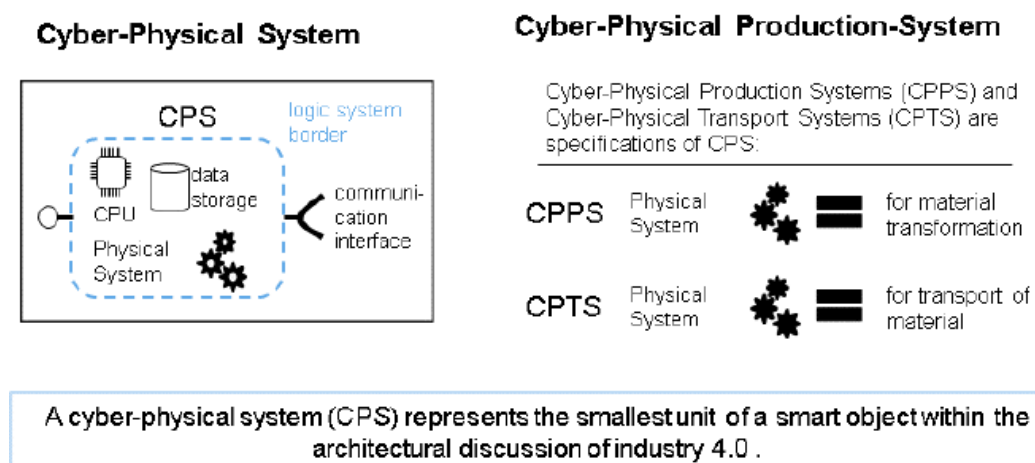


Figura 2.14. Definición de los sistemas ciber físicos. Fuente: "Challenges and trends in manufacturing measurement technology-The "industrie 4.0" concept"-Michael Heizmann et al.

Los CPPSs son CPSs integrados en la producción con un determinado software que puede capturar y evaluar datos en tiempo real e intervenir en el proceso. Los CPPSs tienen el producto, la producción y el sistema en cuenta e interactúan con ambos mundos, el físico y el digital a través de las interfaces.

Las grandes cantidades de datos hacen posible que exista no solo un gran potencial de la cuarta revolución industrial, sino también son un reto. Con el concepto de la Industria 4.0 la relación de los datos es una condición básica de generar inteligencia en los procesos y para construir sobre esto, un óptimo control de los procesos.

En este contexto, los modelos son esenciales para mapear virtualmente los procesos físicos y componentes y también su interacción con los CPS. Por un lado, estos modelos deben describir los procesos reales y componentes con tal precisión que aporten una imagen adecuada del sistema para planear su control. Por otro lado, la complejidad debe estar limitada para permitir que el modelo se cree con un coste razonable sino también para que sea posible manejarlo con la tecnología.

Los sensores, que normalmente tienen una función de medir, se usan para conectar los mundos real y virtual. **Figura 2.15.** El estado actual se transfiere al “mundo virtual” como datos reales para derivar la información del proceso, recolectarla en bases de datos y usarla como base para los modelos que se puedan adaptar a la situación real (idealmente por auto-optimización). Este concepto forma la base para describir incluso las interacciones complejas y así prevenir desviaciones del proceso o preparar una respuesta en tiempo real. Los sistemas de sensores apropiados pueden aportar la información requerida del mundo real para planear y controlar el proceso en el mundo virtual con la ayuda del modelo (**figura 2.15**). La integración de tecnología sensorial y de medida es un elemento clave para el éxito de los CPPSs, incluso en procesos de producción difíciles. Un reto para esta tecnología es recoger la información correcta en el tiempo correcto y del lugar correcto. Incluso cómo se recolectan los datos tiene una influencia decisiva en la calidad de la información obtenida. Una interpretación correcta de los datos recogidos se convierte en más y más importante en producción automatizada y conectada con redes. El sistema debe estar también preparado para reaccionar de forma robusta a conflictos con los datos.

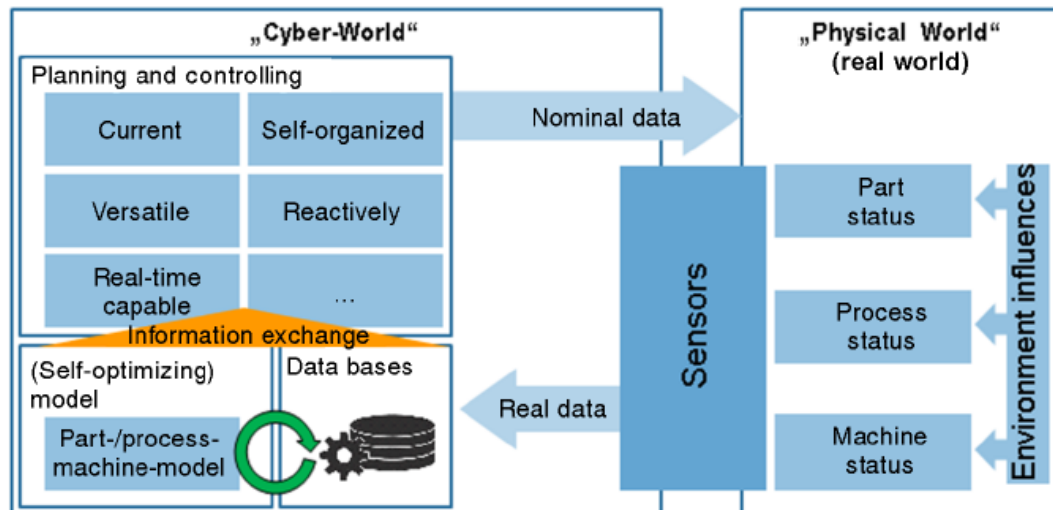


Figura 2.15. Concepto de un sistema de producción ciber físico. Fuente: "Challenges and trends in manufacturing measurement technology-The "industrie 4.0" concept"-Michael Heizmann et al.

Los sistemas ciberfísicos (CPSs) son sistemas colaborando con ordenadores que están conectados con el mundo físico que les rodea y sus procesos, usando y supliendo al mismo tiempo el acceso a datos y su procesado. "El potencial de los CPS para cambiar cada aspecto de la vida es enorme. Los conceptos como coches autónomos, cirugía robótica, construcciones inteligentes, fabricación inteligente e implantes médicos son sólo algunos de los ejemplos prácticos que han surgido" (N.N. Strategic R&D opportunities for 21st century, Cyber-physical systems, Connecting computer and information systems with the physical world. Report of the Steering Committee for Foundations and Innovation for Cyber-Physical Systems, USA, January, 2013: 24.).

Los sistemas ciberfísicos de producción (CPPS), apoyándose en los desarrollos más novedosos de la ciencia de los ordenadores (CS), TICs, y en la ciencia de la tecnología de fabricación (MST) pueden llevarnos a la 4ª revolución industrial, o Industria 4.0.

Según el ministro federal de educación e investigación, Alemania: "la industria está en el límite de la cuarta revolución industrial. Conducido por internet, los mundos reales y virtuales están creciendo cada vez más juntos para formar IoT. La producción industrial del futuro estará caracterizada por la fuerte individualización de los productos bajo las condiciones de flexibilidad en la producción, la integración extensiva de los clientes y socios de negocios en los negocios y procesos de valor añadido, y la conexión de la producción y servicios de alta calidad dando lugar a los llamados productos híbridos".

Si miramos a través del desarrollo de la ciencia computacional (CS), TICs y automatización de la fabricación, se puede observar un desarrollo paralelo.

Figura 2.16.

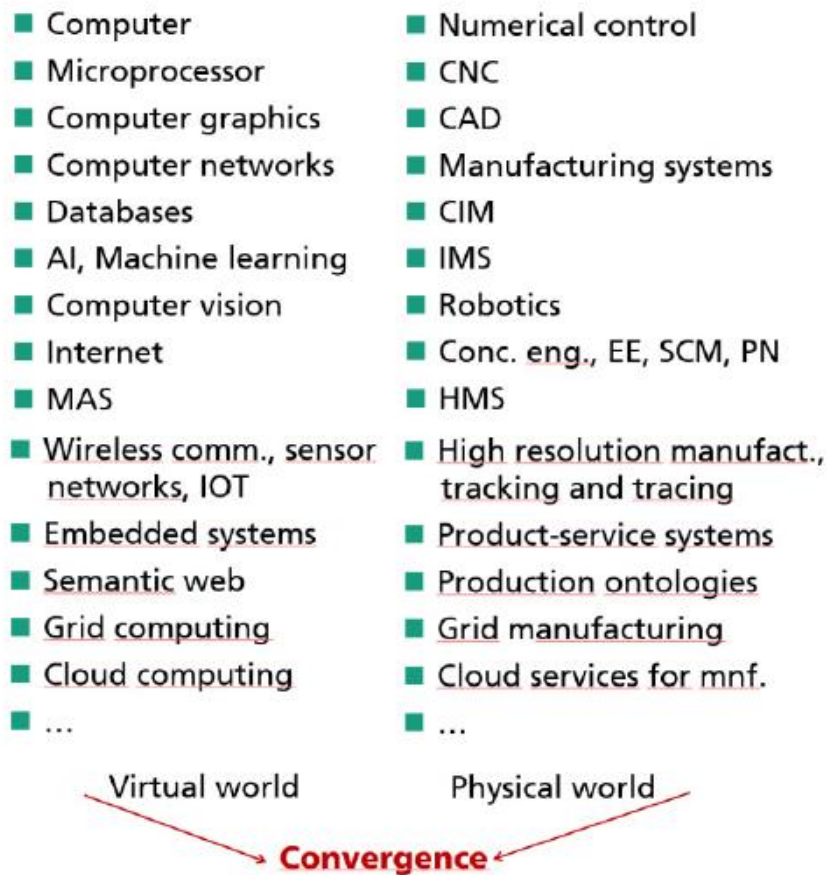


Figura 2.16. Interacción entre CS, TICs y fabricación. Fuente: "Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges"-László Monostori

El desarrollo de los ordenadores da lugar al control numérico de las máquinas y robots, el microprocesador fue el corazón del control numérico por ordenador (CNC), la aplicación de gráficos al ordenador dio lugar a sistemas CAD (computer-aided design). El desarrollo de sistemas de fabricación era inimaginable sin las redes de trabajo. Los datos de los sistemas de fabricación integrada por ordenador (CIM) se almacenaban en bases de datos. Los resultados más nuevos de inteligencia artificial (AI) y aprendizaje de máquinas realmente contribuyeron a los sistemas inteligentes de fabricación (IMS). Internet revolucionó la cooperación de los humanos y los sistemas. Las comunicaciones inalámbricas, redes de sensores y el IoT hicieron del desarrollo de fabricación de alta resolución algo posible.

En resumen, los resultados de la CS y TICs indudablemente contribuyeron al desarrollo de la producción, pero esto no es una calle de un sentido, la importancia y naturaleza compleja de este avance en producción hizo surgir nuevos desafíos para las diferentes disciplinas de producción.

Los CPPS consisten en elementos autónomos y cooperativos, y subsistemas que se conectan unos con otros a través del mismo nivel de producción o entre

diferentes niveles, desde procesos de máquinas hasta redes de producción y logística. El modelado de sus operaciones y también la previsión de su comportamiento aumenta una serie de tareas básicas y orientadas a aplicación, por no mencionar el control de cualquier nivel de estos sistemas. La cuestión fundamental es la exploración de las relaciones de autonomía, cooperación, optimización y capacidad de respuesta. La integración de enfoques analíticos y basados en simulación pueden ser proyectados para ser más significantes que nunca. Uno debe encarar los retos de las redes de sensores, manejando grandes cantidades de datos, así como cuestiones de recuperación de información, representación e interpretación, con especial énfasis en los aspectos de seguridad. Se esperan modos de comunicación humano-máquina en lo que dura la implantación de los CPPS.

Los CPPSs rompen parcialmente con la pirámide tradicional de automatismo, **figura 2.17**. El nivel típico de control y de campos existe aún, e incluye PLCs comunes cerca del proceso técnico para que sea posible proveer el mayor desarrollo para bucles de control, mientras que en la otra, los niveles más altos de la jerarquía están descentrados, característico de los CPPS.

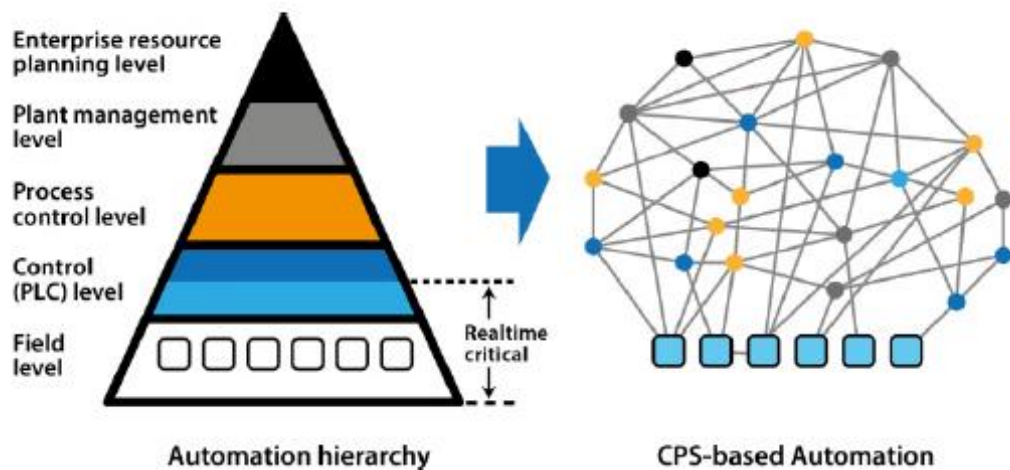


Figura 2.17. Descomposición de la jerarquía de automatización con los servicios distribuidos. Fuente: "Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges"-László Monostori

Los CPPS harán posible y darán soporte a la comunicación entre humanos, máquinas y productos. Los elementos de un CPPS son capaces de adquirir y procesar datos, y pueden auto controlar ciertas tareas e interactuar con humanos a través de interfaces, **figura 2.18**.

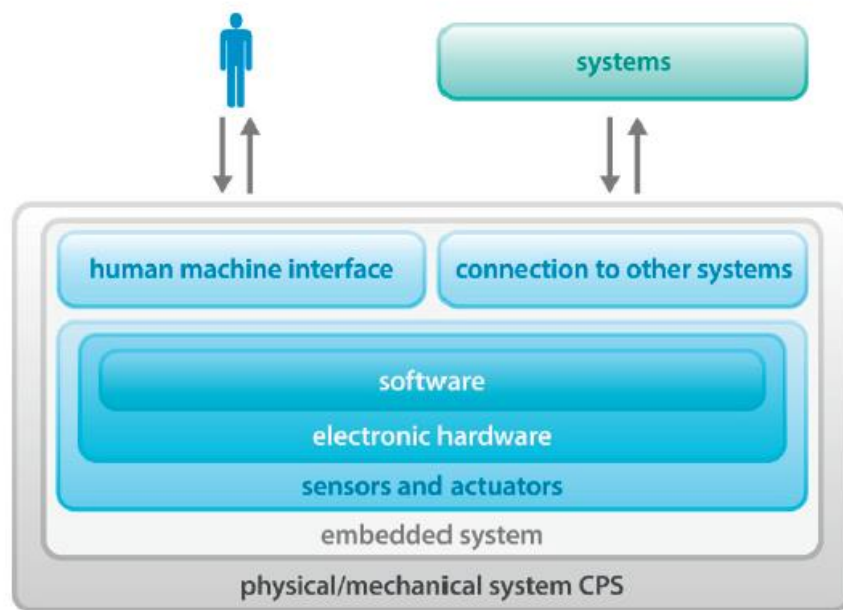


Figura 2.18. Interacción entre humanos y máquinas en los sistemas ciber físicos. Fuente: "Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges"-László Monostori

¿Qué podemos esperar de los CPS y CPPS?

Las expectativas que existen hacia estos dispositivos son varias, a veces demasiado altas.

- robustez a cualquier nivel
- auto organización, auto-mantenimiento, auto-reparado
- seguridad
- diagnósticos remotos
- control en tiempo real
- navegación autónoma
- transparencia
- predictibilidad
- eficiencia
- corrección de modelos
- etc.

A través de los CPS, el desarrollo de los nuevos modelos de trabajo, se esperan nuevos servicios que puede que cambien muchos aspectos de nuestras vidas. Los campos potenciales de aplicación son casi infinitos: tráfico aéreo y

terrestre; logística; ciencia médica, producción de energía, la infraestructura que nos rodea, entretenimiento y un largo etcétera. A través de enfoques ciber-físicos se puede llegar a ciudades inteligentes, producción, comunicaciones, logística, y sistemas inteligentes de energía. Además, pueden contribuir a crear una mejor calidad de vida. En el último caso podemos incluso hablar sobre sociedad ciber-física, que incluye seres humanos de por sí, esferas sociales y culturales por encima de los espacios ciber-físicos.

En lo referente a los CPPS, se puede ver la oportunidad de la cuarta revolución industrial en ellos. **Figura 2.19.** La primera revolución industrial contribuyó al primer telar en 1764, la segunda a la producción en línea propuesta por Henry Ford en 1913, la tercera al primer PLC en 1968. Se prevé que los CPPS puedan traer un gran salto similar a los anteriores.

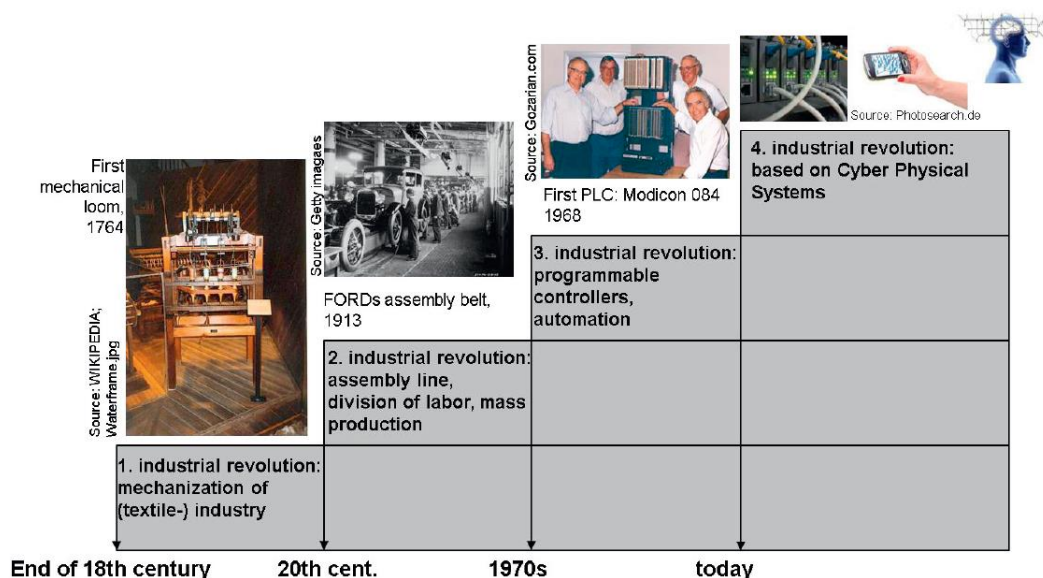


Figura 2.19. CPPS como la cuarta revolución industrial. Fuente: "Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges"-László Monostori

Las raíces de los CPPS en la fabricación son la clave de la 4ª revolución industrial. Podemos nombrar algunos de los desarrolladores de la producción, entre los que están los que dieron lugar a los CPPS:

- Sistemas de fabricación inteligentes (IMS) que se esperaba que fuesen capaces de solucionar problemas sin límites incluso con información imprecisa. La inteligencia artificial tiene un gran papel aquí.
- Sistemas de fabricación biológicos (BMS) que están basados en ideas como el crecimiento personal, la propia organización, adaptación y evolución.

- Sistemas de fabricación reconfigurable (RMS), donde los componentes son máquinas reconfigurables y máquinas controladoras.
- Fábricas digitales (DF), trazado de los procesos técnicos y de negocios en el mundo digital.
- Sistemas de fabricación holónomos (HMS), donde las dos características principales son autónomas y cooperantes.
- Metodologías de síntesis emergentes.
- Redes de trabajo.
- Estructuras de producción intercambiables
- Empresas de fabricación responsables y cooperativas.

Todo esto añade al menos una pero varios temas que son altamente relacionables con los retos que emergen por los CPPS en búsqueda y desarrollo.

Las expectativas hacia los CPS y CPPS son versátiles y enormes: robustez, autonomía, auto-organización, auto-mantenimiento, auto-reparo, transparencia...por nombrar alguna. Aunque hay más expectativas en el campo de la búsqueda y desarrollo relacionados con CPPS:

- Sistemas autónomos y adaptables al contexto (al menos parcialmente). Se esperan desarrollar métodos de reconocimiento, análisis e interpretación de planes e intenciones de objetos, sistemas y usuarios partícipes.
- Sistemas de producción cooperativos. Se espera adquirir nuevos datos teóricos y el desarrollo de algoritmos eficientes para la búsqueda en grupo, aprendizaje cooperativo.
- Identificación y predicción de sistemas dinámicos. Se requiere la extensión de los métodos disponibles de identificación y predicción, al igual que desarrollo de unos nuevos que pueden estar aplicados en sistemas dinámicos y en procesos disruptivos.
- Planificación robusta. Se espera conseguir nuevos resultados manejando los problemas de producción en el curso de la planificación.
- Fusión de sistemas reales y virtuales. Se requiere el desarrollo de nuevas estructuras y métodos que soporten la fusión de los sub-sistemas reales y virtuales para alcanzar un sistema de producción inteligente que sea robusto en un ambiente incierto y cambiante.
- Simbiosis humano-máquina. Se requiere el desarrollo de unos marcos de trabajo geométricos para fusionar características del ensamblado y medidas de sensores con algoritmos de búsqueda rápidos para adaptar y compensar los cambios dinámicos en un ambiente real.

2.1.4.4 Campos beneficiados por la Industria 4.0

2.1.4.4.1 Medicina

Hay algunos factores clave que conducen al incremento en uso de las realidades aumentadas y virtuales (AR y VR), que dependen principalmente del crecimiento de la integración de la tecnología y digitalización en el campo de la sanidad. Las tecnologías avanzadas relacionadas con AR y VR tienen un buen impacto en la industria sanitaria con su adopción en entrenamiento virtual de cirujanos en simulaciones de quirófanos 3D para operaciones difíciles y en salud mental para el tratado de fobias y dolor crónico. También la VR juega un mayor papel en la terapia de desensibilización del movimiento ocular y reprocesado (EMDR) para reparar daños en la memoria a través de ciertos movimientos de los ojos. Además, esta tecnología ofrece beneficios en otras áreas como autismo y depresión, cáncer y vida asistida. Los modelos de órganos basados en VR también juegan un papel importante a la hora de preparar a los cirujanos para operaciones delicadas que demanden mucha precisión, menos complicaciones y menos dolor. Por otra parte, la AR es bien considerada en el campo de la educación y entrenamiento también. Puede mejorar el cuidado de pacientes, por ejemplo, a la hora de encontrar las venas y válvulas, reduciendo así el tiempo requerido y dolor del paciente.

La tecnología inalámbrica está avanzando muy rápido y la tecnología 5G permite crear el “Internet of Medical Things (IoMT)” para mejorar mucho el cuidado del paciente y prevenir más eficientemente el desarrollo de enfermedades.

El empoderamiento del paciente está facilitado por la gran disponibilidad de información médica a través de internet y la capacidad de compartir información médica fiable, experiencias personales con medicinas y asesoramiento médico a través de redes sociales, en grupos establecidos para compartir intereses y recibir apoyo unos de otros. Esto permite a los pacientes tener una voz en sus procesos curativos y ejercer más control e influencia en la sanidad mundial, haciendo de ello una importante progresión en medicina. La fuente de información internacionalmente accesible tiene el potencial de cambiar el rol de los pacientes y hacerles pasar de ser meros espectadores a tener mucha más información incluso a la hora de aplicar un tratamiento. El proyecto e-NABLING es un gran ejemplo del empoderamiento del paciente. Es una red global de voluntarios que comparten diseños 3D e instrucciones para crear manos protésicas de forma gratuita, y permitiendo a gente de países subdesarrollados que no tienen acceso a prótesis hacerse una a bajo coste. La impresión 3D aún está en su infancia, sin embargo, ya existen impresoras 3D biológicas que son capaces de imprimir partes del cuerpo humano con material que contiene células humanas reales.

Las tecnologías de sensores inteligentes que podemos llevar encima contribuyen al empoderamiento de los pacientes. Estas tecnologías como la popular Fitbit, da a los usuarios mayor control y visión propia sobre su salud y puede ayudar a prevenir enfermedades dando realimentación en tiempo real del estado de salud por monitorizado de las señales vitales, permitiendo al usuario ajustar sus actividades objetivo para alcanzar una forma física óptima.

Esta realimentación de salud a tiempo real es muy adecuada para el ocio, ya que los cambios de comportamiento en cuanto al ejercicio pueden verse influidos al añadir puntos e insignias a los datos almacenados en la nube del dispositivo. Estos sensores “ponibles” se están volviendo más y más pequeños, menos estorbo y más integrados en el cuerpo humano. La lentilla digital de Google permitirá a los pacientes de diabetes monitorizar y manejar sus niveles de glucosa desde las lágrimas a tiempo real.

Una integración adicional puede separarse de los sensores digestibles, sensores puestos en los dientes y en los órganos del cuerpo y finos sensores “e-skin” o tatuajes biométricos y chips de identificación por radio frecuencia (RFID) implantados bajo la piel, que pueden almacenar información vital de la salud y actúan como dispositivos de control para propósitos como llamadas de emergencia automáticas si las constantes vitales indican un problema de salud inminente. Los recientes usos de algunas de estas tecnologías los usa la gente para adquirir “superpoderes”, usando ciborgs recreacionales para mejorar su audición y vista.

Otra área que se verá beneficiado gratamente por los avances tecnológicos es la medicina y la educación de la salud. Los estudiantes de medicina pueden ahora aprenden anatomía y practicar operaciones en realidad virtual, permitiendo interactuar con modelos del cuerpo humano en tiempo real y ampliados fuera y dentro, para ver mejor los detalles, en una forma que no había sido posible antes.

La inteligencia artificial (AI) será capaz de ayudar doctores a la hora de tomar decisiones. El sistema de ordenador Watson, de IBM ya ha sido presentado con gran potencial analizando síntomas y prescribiendo el mejor tratamiento. Este programa puede leer 40 millones de documentos en 15 segundos y proponer tratamientos basados en el análisis. Watson no reemplazará a los doctores humanos porque no responde cuestiones médicas, sino que analiza información médica y llega a una conclusión que puede ayudarles a tomar una decisión en menor tiempo. DeepMind Health de Google recopila datos de registros médicos con el propósito de mejorar servicios sanitarios haciéndoles más rápido, más precisos y eficientes. Tiene el potencial de ser mayor proyecto que el Proyecto del Genoma Humano. Google también está trabajando en el más novedoso cerebro controlado por inteligencia artificial bajo la supervisión de Ray Kurzweil, ingeniero director de Google. Él predice que la singularidad (el

momento cuando la AI supere la capacidad intelectual del ser humano) solo llevará 10 años de desarrollo. También permitirá conectarnos a internet con nuestro neocórtex y desarrollar su capacidad. La AI también conduce a los asistentes robóticos médicos a que sean muy adecuados para el cuidado en casas y hospitales. Los robots pueden estar hechos para levantar más peso que los humanos y ya están diseñados para llevar material médico y pacientes, ayudando a los hospitalizados a levantarse de su cama a sentarse en sillas de ruedas, etc. también están en proceso robots más complejos equipados con análisis de imágenes.

Las herramientas de diagnóstico en tiempo real ofrecen avances tecnológicos y nuevas áreas de aplicación, que reducen la complejidad de procedimientos médicos y análisis, como, por ejemplo, el iKnife, un cuchillo inteligente que puede detectar tejido maligno que debe ser extirpado durante una operación.

No sólo hay que tener en cuenta los avances y sus posibilidades, sino también los riesgos que éstos pueden tener. Un gran avance en las pruebas clínicas se predice desde el uso de tecnologías que involucran órganos y placas de silicio. Los microchips simulan células del cuerpo mano en su totalidad, desde órganos a sistemas, lo que permite que las drogas se puedan probar sin riesgo alguno en cuerpos humanos o animales, haciendo las pruebas clínicas más eficientes y precisas. El proyecto antes mencionado, Human Genome, que traza todos los genes humanos hace posible usar el análisis de ADN para personalizar los procedimientos y medicamentos. La optogenética es una nueva técnica prometedora usada en neurociencia. Usa genes de proteínas que son sensibles a la luz. Estos son monitorizados precisamente y controlados a través de señales lumínicas después de introducirlos en células cerebrales. Esto permite a los desarrolladores controlar como las células nerviosas comunican en tiempo real, con técnicas completamente inalámbricas para que los comportamientos complejos puedan ser observados mientras que los sujetos experimentales pueden moverse libremente. Esta tecnología será muy útil a la hora de entender códigos neurales para desordenes psiquiátricos y neuronales.

La radiología multifuncional se está desarrollando muy rápido también. La radiología usa imágenes médicas para diagnósticas y algunas veces también tratar enfermedades del cuerpo. La radiología multifuncional consiste en una máquina que puede detectar muchos problemas médicos simultáneamente. Esto hará que la máquina pueda ser de menor tamaño y así hacer el espacio de trabajo más productivo.

Los riesgos más profundos que pueden conllevar el IoMT es la habilidad de adaptarse al cambio del cuidado médico e industrial, junto con todas las instituciones que necesitan adaptar estas nuevas tecnologías. Como las nuevas tecnologías son usadas en medicina y salud, el gobierno tendrá que

mantener el cambio, proveyendo la mejor regulación para estos servicios públicos.

Otro problema es causado por la diversidad en las tecnologías de almacenaje médico, y la falta de compatibilidad e interoperabilidad entre los distintos sistemas usados por las instituciones.

2.1.4.4.2 Agricultura

La industria de la agricultura se ha visto transformada por las tres revoluciones previas, y estamos actualmente enfocándola hacia una agricultura de precisión. Los retos que la agricultura ha ido proponiendo se han ido resolviendo gradualmente con las tecnologías emergentes, y éstas a su vez han ido reformando la industria de la agricultura, hasta llegar a la “agricultura 4.0”.

El camino que ha seguido la revolución industrial y la agricultura se pueden ver en la **figura 2.20**.

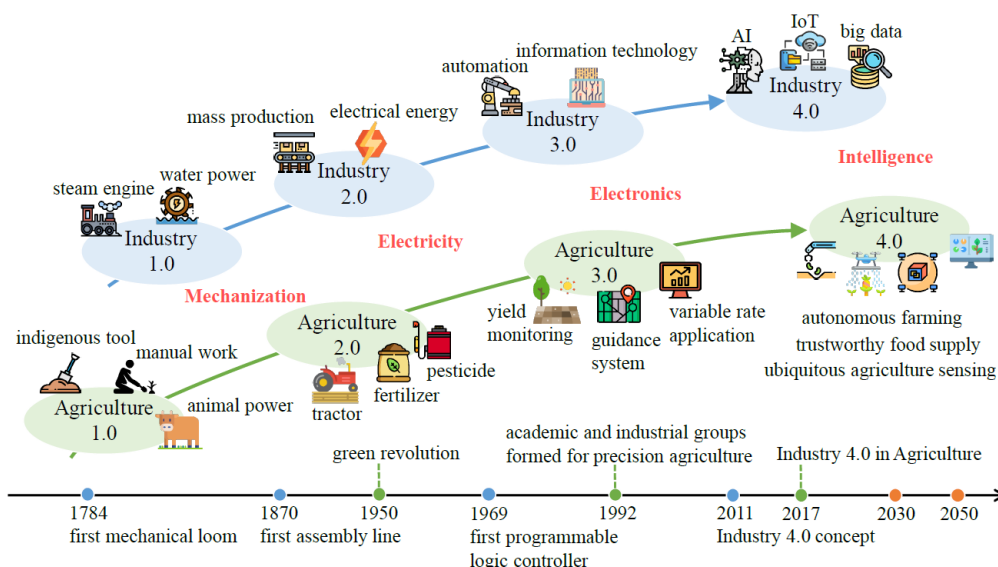


Figura 1.20. Camino de desarrollo que han seguido las revoluciones industriales y agrónomas. Fuente: “From Industry 4.0 to agriculture 4.0: current status, enabling technologies and research challenges”- Ye Liu et al.

Tradicionalmente la práctica de agricultura que recaía en costumbres indígenas usaba herramientas como la hoz, la azada y la horca se conoce como Agricultura 1.0. este tipo de agricultura requería mucho trabajo y esfuerzo manual, y la productividad era muy baja. La Agricultura 2.0 surgió cuando se tomó provecho de los beneficios de la industria 2.0 y su revolución, que introdujo maquinaria agrícola para preparar el terreno de sembrado, para sembrar, regar, cosechar...La agricultura mecanizada realmente hizo crecer la producción de comida y redujo la labor manual.

La segunda revolución industrial que tuvo lugar en el siglo XX, como ya sabemos introdujo el gas y petróleo como energías principales. La introducción de las

nuevas formas de energía contribuyó gratamente a la cadena agroalimentaria, y permitieron transportar productos a grandes distancias. Como consecuencia de esto se crearon mercados. El modelo de producción en masa mejoró la productividad y se aplicó al ganado y su producción, sustituyendo la crianza de animales a poca escala por granjas de gran escala.

Con la llegada de la tercera revolución industrial y tecnologías renovables (fotovoltaica, hidroeléctrica, eólica...) apareció la Agricultura 3.0, que pretendía explorar nuevas tecnologías para hacer la agricultura más precisa, como monitorizado de terrenos, sistemas de guiado de granjas...

La Industria 4.0 como sabemos, está presente, y los procesos de producción y cadenas se han vuelto más autónomos e inteligentes. Esto nos brinda la oportunidad de transformar la agricultura industrial en la siguiente generación, Agricultura 4.0. esto se puede conseguir con la recolección detallada de variable a tiempo real, procesado, análisis de los datos espacio-temporales en todos los aspectos de la industria como producción, procesado y distribución hasta la experiencia del consumidor. Dicho ecosistema de agricultura industrial con manejo de las granjas a tiempo real, alto nivel de automatización...etc mejorarán la productividad, la eficiencia de la cadena de suministro, seguridad alimentaria y el uso de recursos naturales.

En las prácticas modernas de la producción alimenticia, son características típicas la monocultura y la cría de animales intensiva. La monocultura se refiere a que los agricultores solo se tienen que preocupar por cultivar un tipo de cereal, vegetal o fruta, durante todo el año, todos los años. Esto incrementa la productividad durante los ciclos enteros de agricultura, ya que solo se tienen que centrar en una especie de planta y crear un plan uniforme para sembrar, fertilizar, regar y cosechar. También es más beneficioso en cuanto a que solo ha que comprar un tipo de maquinaria específica a cada cosecha, sin tener que gastar más en otras diferentes.

La cría de animales intensa significa que cienes de gallinas, cerdos o vacas se cuidan en recintos cerrados con grandes facilidades y así obtener una densidad alta de comida mas eficientemente y económicamente. Esta manera ayuda a abastecer la creciente población urbana con menos granjeros porque no solo aumenta la producción de comida sino la bajada de los precios.

Sin embargo, esta forma de agricultura, tanto animal como vegetal tiene sus consecuencias. La agricultura monocultura debilita los nutrientes de la tierra al cultivar el mismo cereal todos los años, y no puede ser suplido por los nutrientes de los alrededores por la falta de diversidad biológica en la monoagricultura. El debilitamiento de los nutrientes agrava las enfermedades y pestes de las plantas, y para protegerlas de ellas es necesario utilizar

fertilizantes químicos, herbicidas, insecticidas...que no son buenos para nuestra salud.

En cuanto a la cría intensiva de animales, los problemas que trae consigo son polución, cambio climático, cambios en la salud pública e incluso en el bienestar animal. Uno de los mayores problemas es la generación ingente de estiércol, que más que proporcionar nutrientes para la cosecha, contamina la tierra y los ríos. Además, la gran cantidad de animales de las granjas producen muchos gases que se emiten a la atmósfera, contribuyendo al cambio climático. Los virus y bacterias que pueda haber en las granjas hacen enfermar a los animales, transmitiéndolos rápidamente entre ellos e incluso a los trabajadores. Y, por último, el trato injusto del ganado hace pensar en el problema ético que supone, por los daños físicos y psicológicos que provoca en los animales.

La revolución de la mecanización en la producción agraria está experimentando una rápida transición en la mayoría de los países. Actualmente se usan en la mayoría de los países maquinas que ayudan a plantar, fertilizar, cosechar...reduciendo así la labor manual, y aumenta la productividad, alcanzando así la demanda mundial de comida. Con la innovación de las TICs y su integración en la producción agraria se puede promover la transformación en agricultura digita. Los sensores se usan para comprobar el estado del suelo y las hojas de las plantas para tener un mayor control del microclima. También se ven desplegadas redes de baja potencia e inalámbricas para recoger datos generados durante la producción agraria, y gracias a los sensores remotos se puede monitorizar a gran escala la identificación de la cosecha.

Si comparamos los avances industriales de los procesos de producción, la capacidad de automatizar la agricultura está limitada por dos cosas: falta de digitalización y falta de inteligencia en la agricultura.

La mayoría de máquinas agrarias actuales son pre-digitales, es decir operadas por humanos. Para mejorar la capacidad de automatización se debería tener una conectividad total de maquinaria. La agricultura de precisión está aún en su fase preliminar, y la monitorización a tiempo real se encuentra a pequeña escala, dado el despliegue de medios y costes que conlleva, y posteriormente se podría incrementar el ancho de banda también. En las áreas rurales, la falta de telecomunicaciones podría cubrir un área limitada de señal, haciendo difícil la mejora de productividad.

La débil integración de datos en los sistemas agrarios dificulta los análisis a gran escala. El uso de big data en agricultura es un verdadero reto, ya que los datos recolectados de cada individuo, grupo o compañía son de diferentes tipos de aparatos, lo que causa un problema de heterogeneidad. Además, compartir los datos de manera segura es un obstáculo añadido.

La cadena agroalimentaria normalmente tiene cinco estadios: producción de comida, procesado industrial, distribución, venta y consumición. Después de cultivar y seleccionar los productos por los agricultores, estos productos agrarios se mandan a cooperativas rurales para su procesado industrial, como clasificación y empaquetado. Los productos alimentarios se llevan entonces a los mayoristas en cada región. Las tiendas de comida, supermercados y demás hacen pedidos entonces a los mayoristas para suplir la demanda de las regiones. Este modelo de comercio se conoce como business-to-business-to-consumer (B2B2C). recientemente y gracias a la integración del IoT se han implantado nuevos modelos de suministro de comida, como online-to-offline (O2O) y customer-to-customer (C2C). estos modelos realmente mejoran las compras y negocios, ya que los clientes pueden buscar y pedir su comida favorita a través de internet.

De esto sacamos obtenemos varias lecciones. En los últimos años han ocurrido varios accidentes alimenticios por contaminación de la comida. Esto ha sido causado por el uso de químicos prohibidos, materias primas inadecuadas, aditivos sin aprobación o malas condiciones de transporte. Esto, como es lógico, llevó a problemas sanitarios muy graves. Así pues, la transparencia y trazabilidad durante toda la cadena de alimentación es más que necesaria para obtener mejor calidad en los alimentos. Otra lección es que la información asimétrica entre los sectores lleva a un desequilibrio entre la oferta y la demanda, volatilidad de los precios y escasez de alimentos. El intercambio de datos por partes o el aislamiento de información a lo largo de la cadena es inadecuado para las partes implicadas. Esto afecta la eficiencia de la logística, los costes, riesgos y la confianza del cliente. Es decir que es primordial que haya una interconexión entre todos los elementos para que los datos estén compartidos eficientemente.

Y por último, según la Organización de Agricultura y Comida de las Naciones Unidas, más del 30% de la comida producida no se consume. Esto ocurre en todos los pasos de la cadena de producción alimenticia, pero sobre todo en la última, en la consumición. Esto suele ocurrir por falta de tecnología y buena administración, una gran diferencia entre oferta y demanda, baja calidad de la comida o falta de técnicas de procesado. Es por ello que se necesitan mejorar las técnicas de administración para prevenir el malgastado de comida.

Estos problemas que normalmente presenta la industria agroalimentaria se pueden ver beneficiados por cinco tecnologías típicas de la Industria 4.0.

- a- **Internet de las cosas (IoT):** como tecnología central de la Industria 4.0, está transformando en muchos aspectos nuestras vidas diarias creando un mundo más conectado. Algunos casos son viviendas inteligentes, internet industrial y vehículos conectados. La influencia que tiene sobre el sector agrario incluye la agricultura de precisión, el monitoreado del

ganado, invernaderos inteligentes, y rastreo de clima. Las aplicaciones nombradas y otras tantas se conocen comúnmente como Space-Air-Ground-Undersurface Integrated Network (SAGUIN).

El paradigma de SAGUIN se muestra en la **figura 2.21**. Se podría realizar a través de la combinación de drones remotos con sensores, vehículos agrícolas, detección de movimiento... El establecimiento de una constelación satélite remota sensorial podría ser capaz de proveer adquisición completa de información agrícola, que es especialmente eficiente para la previsión de la cosechar, modelado de terrenos, identificación de plagas y demás. Hay que añadir que los vehículos aéreos no tripulados están equipados con sensores hiperespectrales, cámaras multispectrales y otros instrumentos nuevos pueden dar respuestas rápidas de emergencia que mejorar la precisión de observación a través de monitoreo en 3D en diferentes áreas geográficas. Finalmente, los diferentes tipos de sensores agrícolas, vehículos autónomos y la detección de movimiento son responsables de la percepción del subsuelo. Gracias a los avances en las tecnologías de comunicación, diferentes redes inalámbricas (5G, LoRa, WiFi) se pueden elegir para alcanzar diferentes requerimientos agrícolas para mejor cobertura, conexión, anchura de banda...

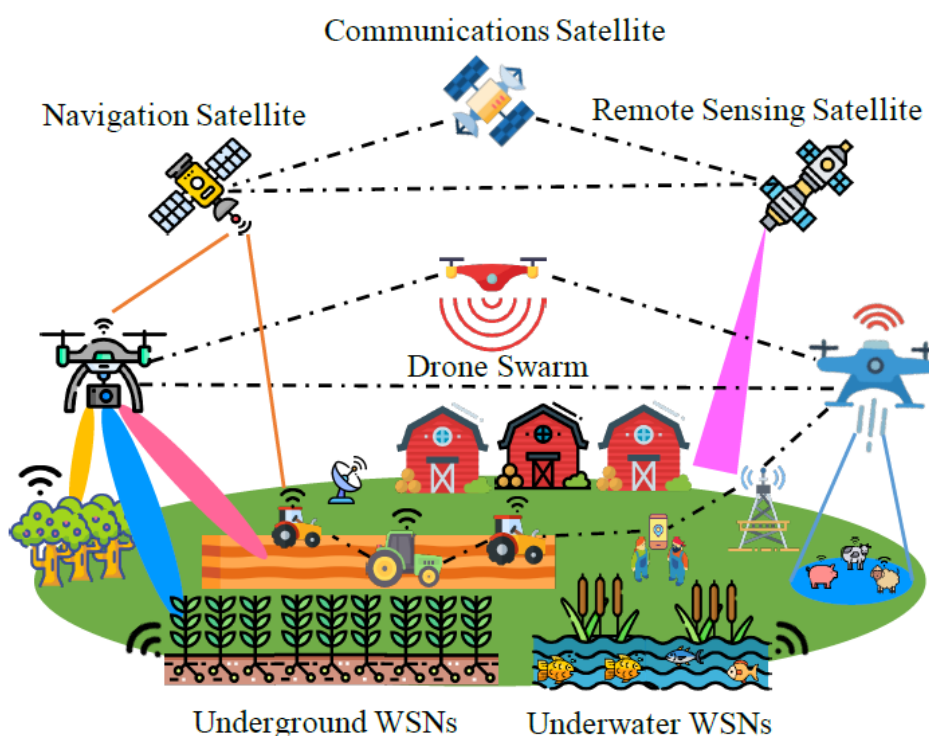


Figura 2.21. Space-Air-Ground-Undersurface Integrated Network (SAGUIN) para la red agrícola sensorial. Fuente: "From Industry 4.0 to agriculture 4.0: current status, enabling technologies and research challenges"- Ye Liu et al.

Pero el IoT no acaba aquí. Hay varios frentes abiertos con esta tecnología, aplicado a la agricultura:

- Sensores agrícolas profesionales: muchas cuestiones surgen cuando se habla de sensores ambientales en agricultura. La agricultura de precisión requiere variedad de sensores que deben ser desplegados en los campos, plantas, animales y equipo. Sin embargo la falta de sensores profesionales es un problema serio para la monitorización de agricultura de grano fino, especialmente en captar señales del ganado y fenotipado de las plantas. Para añadir esta área, los sensores profesionales de alta calidad, alta resolución y alta fiabilidad se necesita que estén diseñados y desarrollados para la percepción y producción de ambientes agrícolas y señales fisiológicas de los animales y plantas. El estudio de la captación de señales sin sensor, a través de ondas de radio podría ser otra dirección a tomar. Por ejemplo, señales de WiFi se podrían usar para desarrollar unas mediciones precisas de la humedad de la tierra y conductividad eléctrica.
- Transmisión inalámbrica de baja potencia y cosechado con energía ambiente: los sensores de baja potencia son esenciales en agricultura ya que muchos de los sensores se colocan debajo de la tierra, bajo agua, árboles o ganado, haciendo difícil el cambio de baterías. La transmisión inalámbrica se prevé que elimine la necesidad de baterías ya que se recargarían a través de ondas electromagnéticas. Sin embargo, la recarga de baterías a larga distancia es más necesaria en agricultura. También es un reto el hecho de recargar las baterías bajo condiciones más extremas como bajo tierra o bajo agua, que debe ser estudiado para el futuro. Recientemente se ha presentado la agricultura fotovoltaica IoT, donde las actividades agrarias y la electricidad coexisten en la misma área. Además, otra solución es la de la energía ambiente para ir hacia una solución diferente de agricultura sostenible. Algunos estudios sostienen que los sensores pueden sacar energía de los ríos, de los flujos de fluidos, movimiento de los vehículos y del propio suelo. Pero es necesaria una buena conversión de energía, ya que la eficiencia es primordial.
- Comunicaciones entre medios y tecnologías: las naturalezas diversas de los ambientes agrarios significan que una red estándar no es suficiente para todas las aplicaciones. Además, los sensores agrarios se distribuyen en varios terrenos, como

invernaderos, granjas, bajo tierra o bajo masas de agua. La diversidad de ambiente significa que son necesarias varias redes de comunicación inalámbricas basadas en frecuencias de radio, sonar, vibraciones y otras necesarias para el cambio de información. Así pues, es necesario examinar el desarrollo de los métodos de comunicación en cada situación para determinar las tecnologías que mejor encajan. Las diversas aplicaciones del IoT en ambientes agrarios significa que las redes como Bluetooth, o LoRa pueden coexistir en los mismos sitios. Así pues, las comunicaciones entre diferentes capas físicas es un objeto de estudio necesario para mejorar la interoperabilidad en IoT agrario.

- Redes inalámbricas robustas: los complejos ambientes agrarios imponen duros retos para que se lleve a cabo una comunicación inalámbrica fiable. En primer lugar, se ha demostrado que las variaciones de temperatura afectan significativamente la fiabilidad de las redes, y las señales de radio se ven afectadas por la humedad relativa. En segundo lugar, la presencia de humanos, animales en movimiento, plantas y otros obstáculos afectan en las fluctuaciones de señales recibidas por el efecto “multipath”. Así pues, se necesitan protocolos de red robustos para lidiar con los cambios en las condiciones meteorológicas. Y tercero, si coexistiesen redes inalámbricas heterogéneas podría haber interferencias y en consecuencia se degradarías la calidad del servicio. Es por ello que deberían investigarse y estudiarse métodos de cuadrantes para que las señales no coincidan, u otros métodos como redes de transmisiones concurrentes.

NOTA DEL AUTOR: tras leer que se pretende conectar tantos dispositivos a través de redes inalámbricas me planteo la siguiente pregunta: ¿cómo de perjudiciales son las ondas electromagnéticas para la salud de los seres vivos, y para la calidad de los alimentos, y qué efectos tienen? Los efectos biológicos son respuestas a un estímulo o a un cambio de medio. Estos cambios no tienen por qué ser perjudiciales para la salud, por ejemplo, hacer deporte, escuchar música o simplemente comer, ya producen efectos biológicos, y no se espera que estas actividades tengan efectos biológicos negativos. Sin embargo, los cambios que fuerzan al sistema durante períodos largos de tiempo sí que pueden suponer un peligro para la salud.

No se está cuestionando que a determinados umbrales de campos electromagnéticos se desencadenen efectos biológicos. A través de experimentos con voluntarios sanos, exposición a corto plazo y a

niveles de radiación presentes en el medio ambiente o el hogar no manifiestan efectos negativos. A niveles más altos existe una normativa nacional e internacional que las limita. La disputa existe cuando se plantea si a bajos niveles, pero en un período muy largo podría influir en las respuestas biológicas y bienestar.

En respuesta a la preocupación cada vez mayor de la sociedad acerca de los efectos, la OMS creó en 1996 el “Proyecto Internacional CEM (campos electromagnéticos)”, donde se reúne todo el conocimiento y recursos actuales en este tema.

En los últimos años se han publicado más de 20 000 artículos sobre efectos en la salud, y a pesar de que mucha gente afirma que se necesita más investigación, la OMS concluye que no existe consecuencia negativa para la salud a la exposición de ondas electromagnéticas de baja intensidad.

Algunas personas atribuyen ciertos síntomas a esta exposición en el hogar, como dolores de cabeza, ansiedad, suicidios y depresiones, o incluso pérdida de la libido, pero las pruebas científicas no apoyan que exista una relación entre estos síntomas y las ondas electromagnéticas. Igualmente se han realizado estudios de si estas exposiciones provocan abortos, cáncer o cataratas, y todos concluyen que no, aunque no se dejan de realizar estudios en estos campos.

Esto es lo que afirma la OMS; cada uno puede tener su opinión.

- b- **Robots y sistemas autónomos:** los robots y los sistemas autónomos (RAS), una integración de muchas tecnologías emergentes (como robótica, AI, y sistemas de control) han sido ampliamente usados en la industria para incrementar la productividad, mejorar la fiabilidad de los productos y para sustituir seres humanos en tareas repetitivas. Mientras tanto la producción agraria se ha visto transformada también por los RAS. Como se puede ver en la **figura 2.22**, las fábricas de comida, la impresión 3D de comida y la agricultura biodiversa son tres aplicaciones clave que tienen el potencial de ser nuevos patrones agrícolas de producción en esta industria. En la actualidad es difícil expandir las tierras de cultivo ya que hay que mantener la forestación. Más del 20% de las tierras de cultivo del mundo están muy degradadas, mientras que el resto de áreas están bajo amenaza.

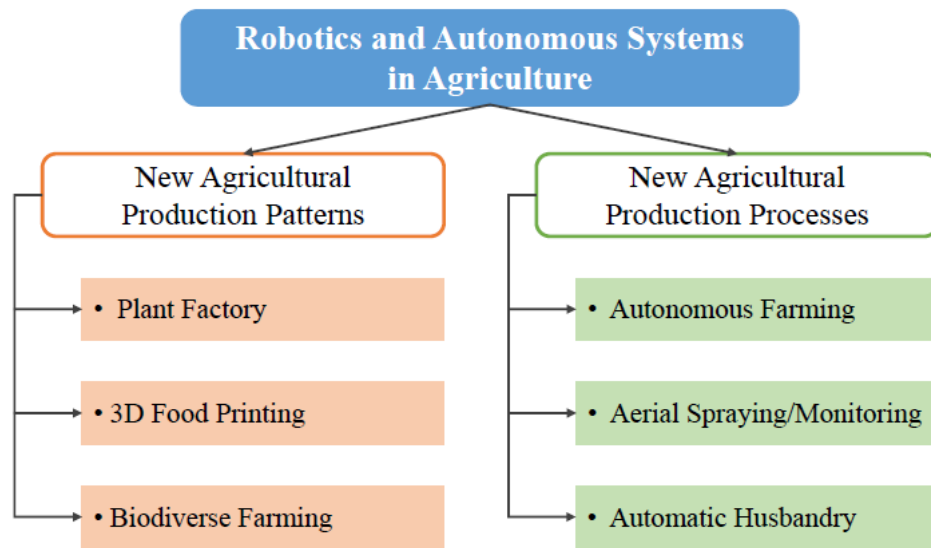


Figura 2.22. Aplicaciones clave de los robots y sistemas autónomos (RAS) en la industria agraria. Fuente: "From Industry 4.0 to agriculture 4.0: current status, enabling technologies and research challenges"- Ye Liu et al.

La industria de las plantas promete una llegada a las demandas mundiales de comida y uso sostenible de los recursos. La impresión 3D de comida está convirtiéndose en una alternativa para producir comida de manera automatizada. Además, se intenta que haya cosechas con diversidad para ayudar al suelo a que tenga mayor balance de nutrientes para proteger contra enfermedades y plagas. Con la ayuda de los robots agrícolas, las limitaciones como baja productividad y trabajos intensos por parte de los labradores se pueden solucionar. Hay que hacer notar que los cultivos y granjas biodiversos incrementa también la complejidad en la aplicación de robots agrícolas por la variación en la detección, clasificación, cosecha entre otras.

Por otra parte, los RAS también están transformando el proceso de producción agrícola, con labranza autónoma, monitorizado y rociado aéreo, etc. los tractores inteligentes podrán colaborar a generar rutas operacionales inteligentes sin que afecte a los trabajadores y eviten las barreras del terreno. Los escardadores robóticos pueden diferenciar semillas de las malas hierbas a través de visión por ordenador y así rociar el herbicida en las zonas que más interés. Los robots recolectores también ayudan a recoger tomates, manzanas, fresas...más eficientemente. Reconocen las frutas y verduras en el terreno, determinan su localización y recolectan las maduras en cajas. Se puede ver en la **figura 2.23** tres campos de investigación en los RAS agrícolas, como la navegación autónoma, detección precisa y acciones inteligentes.

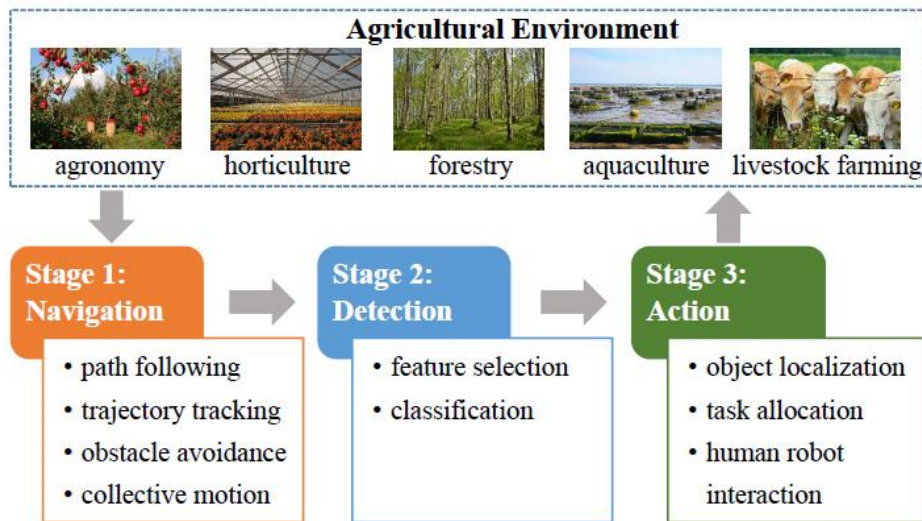


Figura 2.23. Las operaciones centrales en la robótica agrícola durante las tareas clave. Fuente: "From Industry 4.0 to agriculture 4.0: current status, enabling technologies and research challenges"- Ye Liu et al.

- Navegación autónoma: en primera instancia, los RAS deberían tener sentido del objetivo en el ambiente agrícola para completar las trayectorias de los caminos, evitar obstáculos o conciencia del movimiento colectivo. El guiado preciso es extremadamente importante desde que afecta a la protección del cultivo, de los humanos, costes de operación y eficiencia del trabajo. Actualmente el sistema satélite de navegación global (GNSS), visión de cámaras, y escaneado laser de imágenes (LIDAR) son tres técnicas populares para la conducción autónoma. Sin embargo, cada una tiene sus limitaciones cuando se usan en un ambiente agrícola. Por ejemplo, la atenuación de las señales y efecto "multipath" ocurre frecuentemente en invernaderos y huertas. El desempeño del sistema de navegación por visión computada se ve degradado por las condiciones inestables de luz en los campos y granjas. Los sistemas basados en LIDAR se ven afectados también por las ramas de los árboles, que se mueven y mueven objetos que son obstáculos para los sensores.
- Detección precisa: las imágenes multiespectrales se usan normalmente para rociado selectivo y recogida de hierbas ya que los robots podrían distinguir malas hierbas del cereal bueno. Sin embargo, el ambiente de las tierras es dinámico y complejo, lo que hace aún más difícil clasificar las plantas por los cambios de apariencia, estado de crecimiento, condiciones climáticas, superposición de objetos o incluso oclusión parcial. En segundo lugar, los robots usados para los cultivos automáticos deberían

ser capaces de identificar los diferentes tipos de frutas y vegetales, su estado de madurez, tamaño, propiedades de la textura y otros propósitos. Desafortunadamente las diferentes verduras y frutas y las huertas poco estructuradas con condiciones ambiente dinámicas hacen que el desarrollo de las labores se degrada cuando se aplican patrones de reconocimiento clásicos. En tercer lugar, los campos extensos deben estar monitorizados a corto tiempo de respuesta para que las mejores plantas se puedan encontrar. Esto necesita métodos de clasificación rápida para distinguir lo bueno de lo malo.

- Acciones inteligentes: hay tres búsquedas fundamentales que son la localización de objetos, localización de tareas, y la interacción humano-robot. La localización de objetos precisa es un requerimiento central para asegurar operaciones infalibles y minimizar las influencias externas de los alrededores. La planificación de secuencias de tareas optimizadas para los sistemas robots agrícolas y la coordinación entre los múltiples robots es crítico para mejorar el desarrollo en términos de energía y su eficiencia, tiempo consumido y fiabilidad. Una interacción apropiada entre granjeros y maquinaria agrícola autónoma es extremadamente necesaria para mejorar la productividad y el beneficio, y prevenir accidentes potenciales.
- c- **Inteligencia artificial:** la AI representa un papel importante en RAS. Con la clasificación, logística, análisis y toma de decisiones, AI también está siendo aplicada a otros aspectos en agricultura, como un sistema de apoyo para toma de decisiones (ADSS), sistema experto de agricultura móvil, y análisis predictivo. Normalmente se usa ADSS para el planeado de misiones, manejo de fuentes de agua, adaptación del clima, y control de comida gastada. Hoy en día se está centrado mucho la AI en la salud animal y su monitorizado.

Como se puede ver en la **figura 2.24**, un sistema experto móvil es otra de las claves para la aplicación de la AI en la agricultura. Los granjeros y agricultores pueden usar ahora fácilmente sus móviles inteligentes para identificar las pestes y enfermedades de sus plantas. También serán capaces de identificar problemas del suelo por ellos mismos. El progreso de los cultivos se puede seguir a través de imágenes vía satélite, que después se analizan en un software AI. Las aplicaciones móviles simultáneamente visualizan los resultados para que los agricultores puedan comprender el estado de manera remota. Finalmente, analítica predictiva agraria y tecnologías de big data son capaces de prever las condiciones climáticas, previendo el rendimiento de los campos, modelando la volatilidad del mercado agrícola, y estimando los precios.

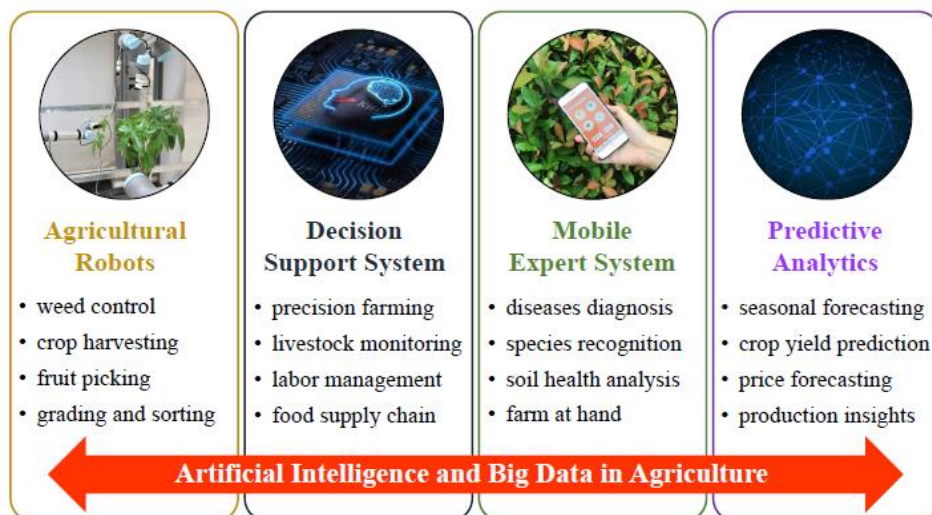


Figura 2.24. Aplicaciones clave para AI e industria agraria de big data. Fuente: "From Industry 4.0 to agriculture 4.0: current status, enabling technologies and research challenges"- Ye Liu et al.

La agricultura es el área que más reto supone en la AI por las siguientes razones:

- Es difícil encontrar una solución única: al contrario que las condiciones estandarizadas en las industrias, las condiciones en los campos de agricultura están continuamente cambiando, haciendo que las estadísticas difíciles. Todos los factores como el clima, calidad del terreno, pestes... tienen un impacto en el desarrollo de la AI. Como resultado, un algoritmo de aprendizaje mecanizado (ML) que ejecuta las tareas bien en un terreno a lo mejor falla en el del vecino, por no hablar de otras regiones.
- Brecha entre los agricultores y los investigadores de AI: para adoptar AI en agricultura con éxito son cruciales los pasos entre los problemas agrícolas y los modelos de toma de decisiones. Los agricultores normalmente se topan con un montón de problemas, pero los investigadores de AI no están al tanto de estos problemas, que podría solucionarse con AI. Y más importante aún, la AI es práctica solo después de entender completamente las soluciones a los problemas. Normalmente los desarrolladores de AI no tienen conocimientos acerca de la agricultura. Es por ello que hay que conectar a los profesionales en agricultura y desarrolladores de AI.

- Aprendizaje mecánico distribuido con seguridad: para implementar satisfactoriamente una red de trabajo, sistemas de control y otros motores AI se necesita una gran cantidad de datos para entrenar modelos de AI. Sin embargo, los datos relacionados en agricultura son mucho menos que aquellos del campo industrial dada la baja digitalización en agricultura, datos inaccesibles así como privacidad y protección de datos. Con la ayuda del despliegue de la red 5G, sensores nuevos podrán recolectar datos masivos en el futuro.

d- Análisis de Big Data: esta tecnología tiene algunas aplicaciones clave en la agricultura. IoT ayuda a recolectar los datos en cada paso de la producción agrícola y cadena de abastecimiento. Así pues, también sería beneficioso implementar análisis de big data durante la producción, procesado, logística y marketing. Si guiásemos un poco más los datos de la industria se transformaría profundamente la producción y el comportamiento de los consumidores. También puede ayudar a manejar mejor sus posesiones a los agricultores, y a enfrentarse a riesgos en términos de producción y mercado.

Además, big data juega un papel muy importante en la cadena agroalimentaria ya que ayuda con la seguridad de la comida, el suministro y los gastos.

El Big Data tiene también unos objetivos a la hora de mejorar el campo de la agricultura:

- Cuestiones técnicas: el IoT puede proveer monitorizado detallado de todos los aspectos durante el crecimiento de la comida, procesado, transporte...lo que significa que la escasez de datos agrícolas estaría resuelta. Sin embargo, es difícil integrar tal cantidad de datos viniendo de cientos de individuos diferentes. Así pues, la interoperabilidad de los datos es esencial para maximizar la recolección de datos, almacenamiento y procesado. Por otro lado, el fenotipado de plantas es muy importante para las ciencias ecológicas y sus investigaciones de cómo interaccionan el genotipo, el ambiente y el fenotipo. Atendiendo a esto, un sistema que sea capaz de interconectar objetos y eventos, así como guiando los hechos ocurridos a cada momento en una escala espacio-temporal extrayendo conocimientos biológicos debería ser investigado más a fondo.
- Cuestiones sociales: la participación de los agricultores es un factor clave para llegar al éxito del Big Data en agricultura. Es necesario demostrar los beneficios a los

agricultores, para que quieran participar en la cadena de valores del intercambio de datos. Otro obstáculo es la escasez de expertos en big data agrícola. Casi todos los ingenieros de Big Data no poseen conocimientos en el terreno de la agricultura.

- e- **Cadena de bloques:** en agricultura, esta tecnología tiene ciertas aplicaciones importantes. Dos de ellas son el “contrato inteligente” y la ciberseguridad. En la **figura 2.25** se puede ver un contrato inteligente basado en bloques encadenados para la cadena de suministro agroalimenticio. El IoT ofrece sensores de precisión a través de toda la cadena. Con el contrato inteligente, todas las transacciones se graban. Un historial inmutable de transacción desde los suministradores hasta los consumidores ayudará a mejorar el control de calidad de la comida e incrementar la trazabilidad. La transformación digital de la cadena se espera que esté habilitada por una cadena de tecnologías inteligentes.

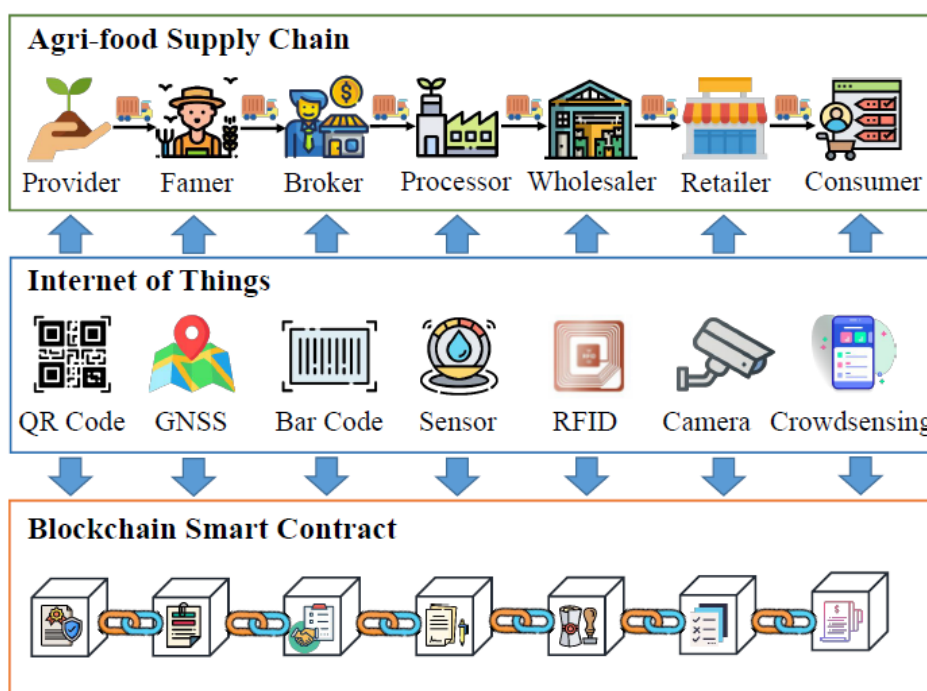


Figura 2.25. Correlación inteligente de bloques para la trazabilidad de la cadena agroalimentaria. Fuente: "From Industry 4.0 to agriculture 4.0: current status, enabling technologies and research challenges"- Ye Liu et al.

La ciberseguridad es altamente importante hoy en día. Los ataques a la integridad de los datos a través de inyección de datos maliciosos son la primera amenaza en aplicaciones agrícolas. Por ejemplo, un sistema de riego inteligente se podría “piratear” para que no riegue como debe. Una segunda amenaza serían ataques a datos confidenciales, que puede llevar a hacer sufrir daños económicos y estados negativos de emoción a los

propietarios. Y, por último, un ataque posible sería al ciclo de descanso, a través de ondas que perturben dicho ciclo, y esas instrucciones falsas tendrían consecuencias nefastas en la producción. Es por ello que la ciberseguridad en este ámbito también es fundamental.

La adopción de la cadena de bloques durante la producción agraria es una oportunidad para mejorar la trazabilidad, transparencia y confianza entre los proveedores, agricultores, consumidores... Sin embargo, muchos cuellos de botella técnicos se necesitan resolver y estudiar para adoptar este método en la agricultura. Estos cuellos de botella son:

- Interoperabilidad: actualmente hay varios proyectos de cadena de bloques en activo. El problema es que cada uno tiene sus características, sus lenguajes de programación, protocolos... y hace difícil solucionar un problema de una cadena que no tiene nada que ver con el resto. Por eso hay que mejorar la comunicación entre bloques de diferentes cadenas.
- Escalabilidad: la velocidad de las transacciones en las redes de bloques es menos de 20 por segundo. Una velocidad rápida de red es esencial desde que existen tantas transacciones que deben ser procesadas.
- Consumo de energía: es demasiada la que se consume en las transacciones entre bloques, y hay que reducirla.
- Seguridad y privacidad: el almacenado de datos inmutables, la red descentralizada y la comunicación entre iguales son tres características clave que hacen posible la seguridad y privacidad en IoT. Sin embargo, la cadena de bloques es un objetivo para los hackers también.

en conclusión, la agricultura y ganadería monocultivo son patrones típicos hoy en día. Sin embargo, el daño que conlleva al medio ambiente, salud pública y animal son limitaciones que hay que considerar. Aunque actualmente la producción agraria y los procesos están mecanizados e informatizados en su mayoría, falta aún mucha digitalización y conocimiento, que son obstáculos para mejorar la capacidad de automatización.

2.1.4.4.3 En el campo de la metrología, ¿que se espera?

Lo cierto es que en 2011 un grupo de expertos alemanes investigadores y empleados de la industria prepararon una previsión relacionada con el futuro de la metrología en la producción industrial. Se publicó bajo el nombre “Manufacturing Metrology 2020”. El mapa descrito en dicho documento cubre

los retos y tendencias de la metrología bajo cuatro áreas que llamaron “rapidez”, “precisión”, “fiabilidad” y “flexibilidad”, que se verá a continuación. A estos cuatro títulos se le añadió el de “holístico”, para subrayar la importancia de los sistemas más complejos que comunican con el mundo virtual, no solo para una captura holística de las características de los productos sino también para mejorar la precisión de las medidas y su fiabilidad, así como la flexibilidad. En la **figura 2.26** se muestran los requerimientos que se esperaban de la metrología para el 2020.

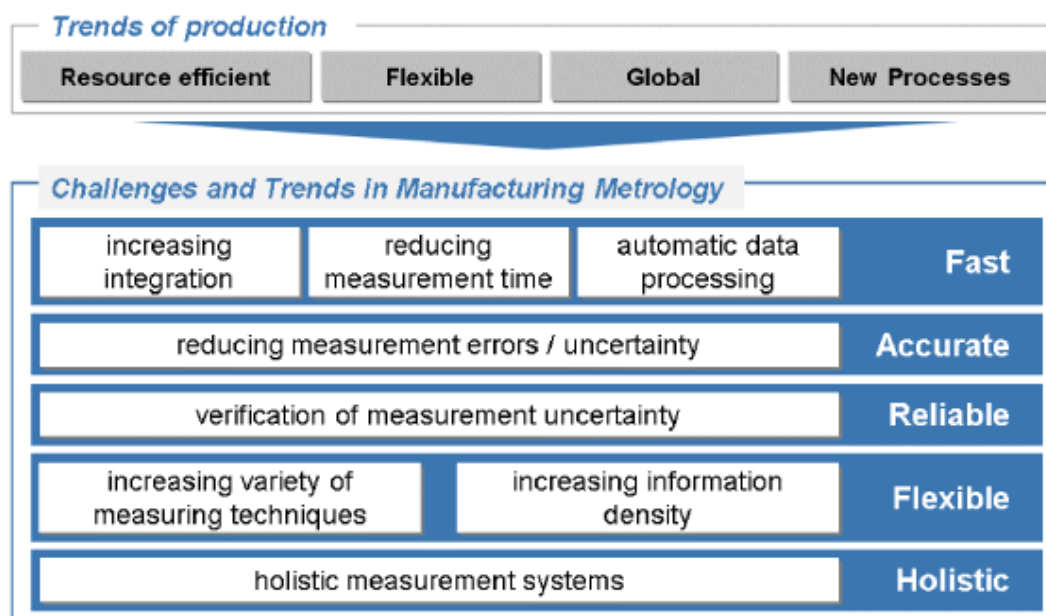


Figura 2.26. Requerimientos y tendencias del mapa de tendencias de la metrología en la manufactura, por VDI/VDE. Fuente: “Challenges and trends in manufacturing measurement technology”-Dietrich Imkamp

En el contexto de la Industria 4.0, la importancia de las tecnologías de medida y su integración en la producción se vuelven más importantes, ya que se espera que una mejora en los sensores y tecnología de medición.

- Rapidez: la rapidez juega un papel muy importante en la producción. Esto es especialmente verdad para la tecnología de medición, que en producción entrega información ampliamente para el control de los procesos. Esta información debe entregarse de manera veloz para no ralentizar los procesos de producción.

La rápida provisión de información es por una parte adquirible por procesos de medida rápidos. Un ejemplo es la medida óptica de un eje. El sensor de un dispositivo de medida óptica de un eje trabaja en el principio de la sombra de la imagen. Por medio de una lente de precisión telecentrica y una cámara digital, la imagen de una pieza simétrica rotacionalmente se queda grabada instantáneamente y sin contacto. Ver **figura 2.27**.

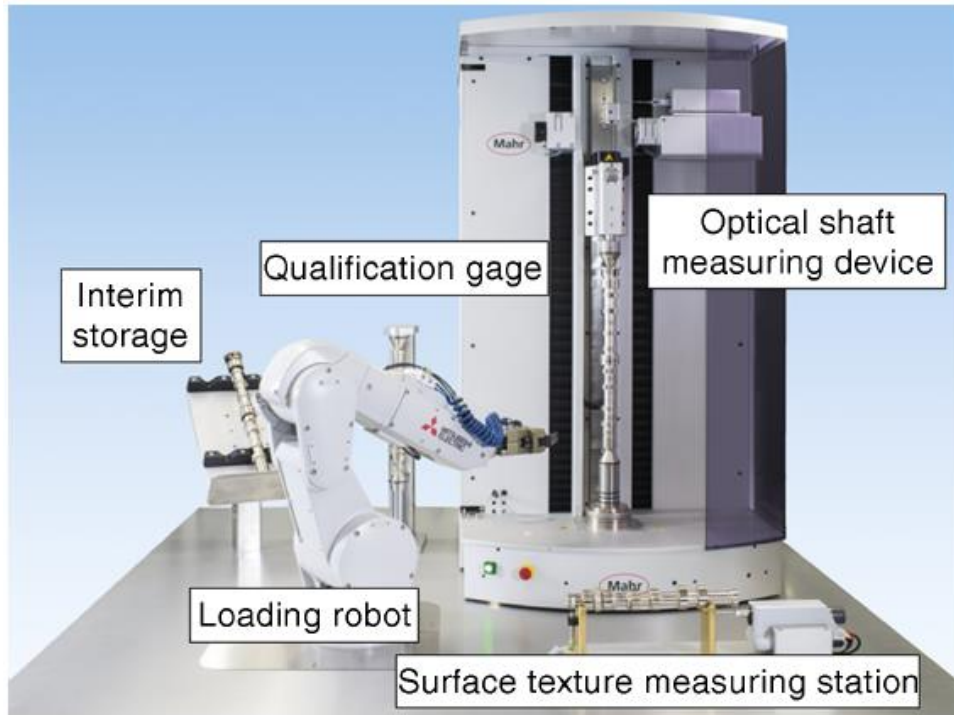


Figura 2.27. Instalación de la inspección automática completa de un árbol de levas a través de un dispositivo óptico- Fuente: "Challenges and trends in manufacturing measurement technology"-Dietrich Imkamp et al.

Por otra parte, la integración de tecnología de medida en los procesos de producción, particularmente en temas de automatización, puede contribuir a adquirir resultados más rápidamente.

- Precisión: las demandas de mejora en la calidad de los productos están directamente relacionadas con reducir las tolerancias. Este desarrollo se puede reconocer en un continuo incremento de la precisión de las herramientas y máquinas durante los últimos 150 años. También se ha mejorado la precisión en la producción de los semiconductores, pues se han alcanzado niveles atómicos.

Las mejoras en la precisión de tecnologías primarias de medida (sensores, transductores...) y su calibración siguen siendo de lo más importante para el desarrollo futuro.

Como se puede apreciar en la **figura 2.28**, la incertidumbre de medida crece desde la punta de la pirámide hasta la base cada vez que se transmite la medida. En muchas áreas de la producción moderna, sin embargo, la incertidumbre de medida muchas veces no es adecuada para las tolerancias pedidas por el estándar.

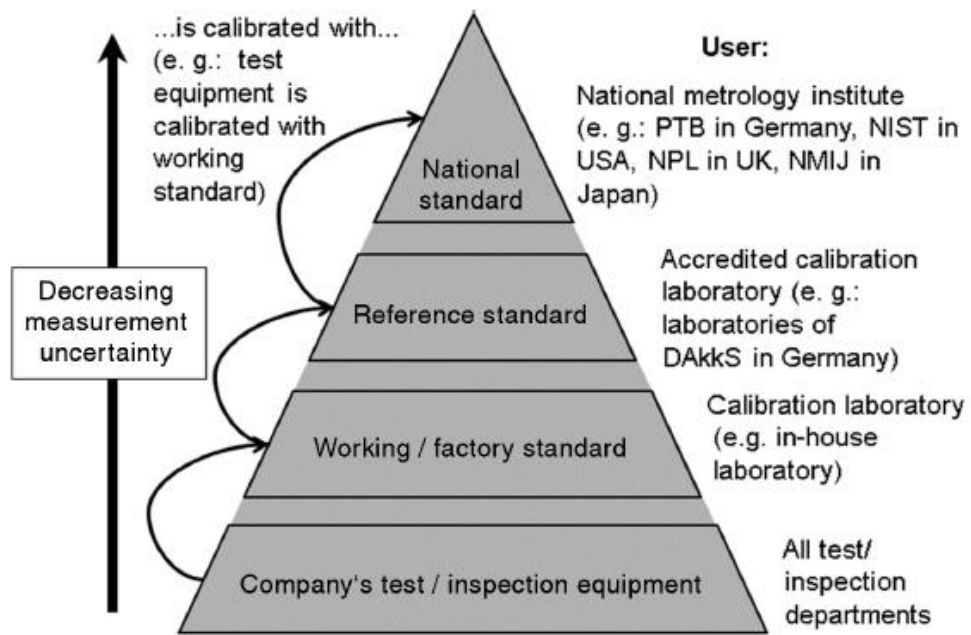


Figura 2.28 .Pirámide de calibración de la jerarquía de medida. Fuente:"Challenges and trends in manufacturing measurement technology"-Dietrich Imkamp et al.

Se puede mejorar la precisión, por una parte con acciones específicas como el uso de dispositivos más precisos, mejora en las condiciones...y por otra parte los institutos de metrología también pueden formar parte de esta mejora a través del desarrollo de nuevos estándares o incluso desarrollando nuevos métodos (quizá algo más caro), y consecuentemente calibrando los estándares nuevos con menos incertidumbre.

Para la tecnología de medición, llegar a alcanzar los requerimientos cada vez más exigentes de la industria 4.0, es un reto para el futuro. Se está llevando al primer plano la adquisición y procesado online de casi todos los datos de medida, junto con las incertidumbres, incluyendo mejoras obtenidas por fusión de información o sistemas cooperativos. La intención es crear "sistemas/procesos inteligentes" que, antes de la secuencia operacional, por ejemplo, verifique las desviaciones geométricas del dispositivo de medida, o las condiciones ambientales, y así reducir al mínimo las contribuciones varias de la incertidumbre de medida. Para ir más allá, se puede esperar que en un futuro el propio sistema sea capaz de hacer auto validaciones y auto calibraciones.

Como se ha mencionado antes, los dispositivos de medida y otros dispositivos digitales más complejos se comunicarán directamente con el mundo digital en un futuro. Contribuyendo a esto están los sensores cooperativos y sistemas de medida que, por ejemplo, pueden capturar diferentes rangos de medidas y luego fusionarlas.

- **Fiabilidad:** en la presente sección no se trata de preocuparse acerca de reducir la incertidumbre, sino más bien métodos para determinarla y en el contexto de la industria 4.0, transmitirla. Es precisamente con productos de seguridad, como los instrumentos médicos, que estos métodos están siendo más y más críticos en el sentido de que no se acepta un certificado de validación hasta que no se tiene una consideración de la incertidumbre.

En un futuro el uso de estándares de calibración para transferir electrónicamente datos importantes hará necesario el uso de certificados de calibración digitales. Y dado el aumento de software que se emplea en los sistemas de medida, la fiabilidad de dichos softwares está pasando a un plano más principal, junto con los algoritmos matemáticos y modelos subyacentes que se usan para programar dichos modelos.

- **Flexibilidad:** la variedad de los sistemas de medida usados en la industria continúa creciendo, y con ellos su capacidad de adaptarse a las diferentes tareas de medición. Especialmente remarcable aquí son los sistemas de medida como la tomografía computada y los sistemas ópticos de imagen, que son capaces de capturar muy diferentes características de un componente, y de responder flexiblemente a los cambios en los requerimientos de medida. La tecnología de medición se ha vuelto más flexible incluso a través de la combinación de diferentes sistemas de medida. Esto es especialmente común en microscopios electrónicos (**figura 2.29**), y el término “sistema de medida multi sensor” se ha aceptado.

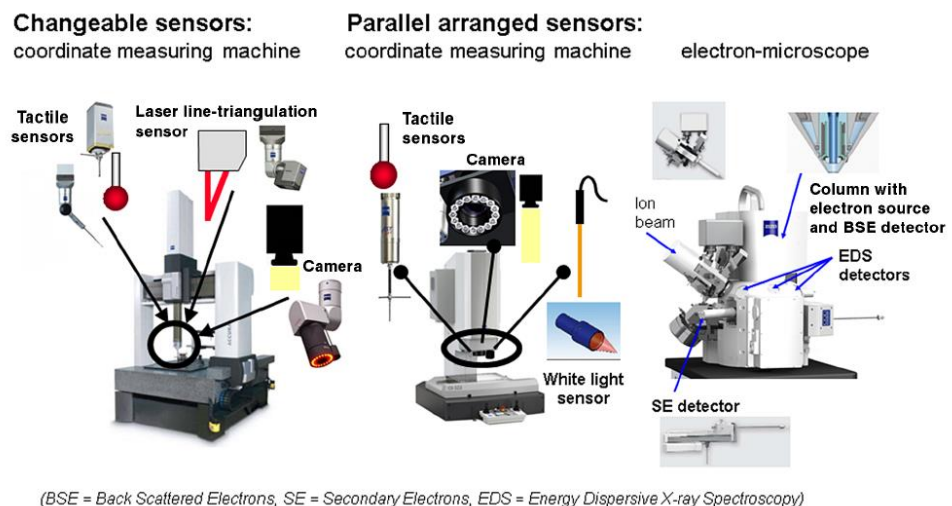


Figura 2.29. Ejemplos de implementaciones multi sensor en máquinas de medida por coordenadas y microscopios electrónicos. Fuente: "Challenges and trends in manufacturing measurement technology"- Dietrich Imkamp et al.

- Holismo: según la RAE es una corriente filosófica que defiende la concepción de la realidad como un todo distinto de la suma de las partes que lo componen. En el contexto que a nosotros nos interesa, la evaluación holística de los productos quiere decir que las características relevantes de calidad se juntan para formar unas bases de evaluación de la calidad de producto.

2.1.4.4.3.1 Retos y tendencias de la tecnología de medición en la manufactura

El área de la metrología, como es lógico, también se ve afectado por el concepto “Industria 4.0”, y por ello debe tenerse en cuenta a la hora de hablar de las tendencias que seguirá. Un mapa de tendencias de la metrología fue publicado en 2011 por VDI/VDE Society, que dentro del contexto de la revolución industrial encaja a la perfección, ya que las industrias han de adaptarse cada vez más a los productos más individualizados, y la metrología es esencial.

Aquí los CPPSs vuelven a jugar un papel importante. Recordamos que son una forma especial de los CPSs. Según VDI/VDE, los CPS son sistemas que conectan objetos reales, físicos, con procesos y objetos virtuales, que pueden conectarse en una red en cualquier momento.

Un CPPS, como dijimos en el capítulo anterior, no es más que un CPS integrado en un software de producción que puede capturar y evaluar datos en tiempo real e intervenir en los procesos. Así pues, un CPPS tiene en cuenta el producto, la producción y el sistema de producción e interactúa con ambos mundos, real y virtual, a través de interfaces. Con el concepto de Industria 4.0 la conexión de las grandes cantidades de datos es una condición básica para generar y mejorar el conocimiento de los procesos, para asegurar un control óptimo de los procesos.

En este contexto, los modelos son esenciales para tener un mapa virtual de los procesos físicos y sus componentes, y su interacción con los CPS. Por una parte, estos modelos deben describir los procesos reales y sus componentes tan eficazmente que puedan ofrecer una imagen adecuada de las funciones del sistema para su planificación y control. Por otra parte, la complejidad debe ser limitada para permitir que el modelo se cree a un coste razonable pero que pueda ser manejado por las TIC.

Los sensores, que normalmente tienen una función de medir, se usan para conectar los mundos real y virtual, como se ve en la **figura 2.30**.

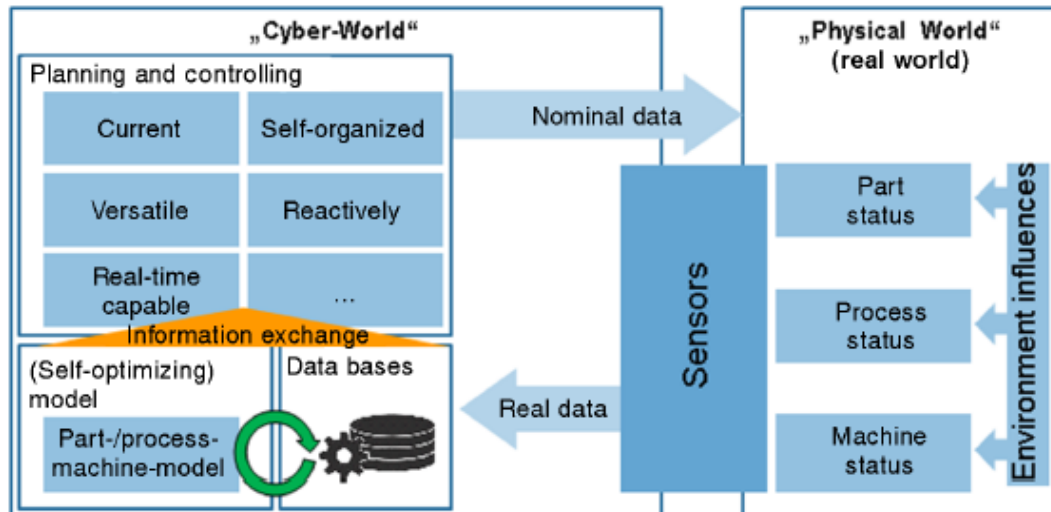


Figura 2.30. Concepto de un CPPS. Fuente: "Challenges and trends in manufacturing measurement technology"-Dietrich Impkapm et al.

El estado en cada momento se transfiere al "mundo virtual" como datos reales para recolectar información y usarla como base de los modelos que pueden adaptarse a la situación real. Este concepto forma la base para describir incluso interacciones complejas y así prevenir desviaciones de los procesos o encajar una respuesta a tiempo real. Los sistemas apropiados de sensores aportan la información pertinente del mundo real para planificar y controlar los procesos en el mundo real con la ayuda del modelo de la **figura 2.30**. La integración de los sensores y tecnología de medición es un elemento clave en el éxito de los CPPS, incluso en procesos de producción complejos. Un reto aquí es la recolección de la información "correcta", en el lugar y tiempo "correctos". Sin embargo, incluso como se recolectan los datos tiene una influencia decisiva en la calidad de la información. Una interpretación correcta de los datos medidos se vuelve más y más importante en la producción automatizada. El sistema debe también ser capaz de reaccionar a los datos conflictivos, y esta robustez es también parte de los requerimientos de la producción en un contexto de Industria 4.0.

CAPÍTULO 3: PROPUESTA PERSONAL

Esta parte del trabajo es la revisión bibliográfica propiamente dicha. Tras haber introducido el contexto en el que nos encontramos, ahora nos centramos en el campo que nos atañe, algunos de los avances de la metrología y métodos novedosos que emplean metrología, pero no sólo dentro de la industria 4.0.

3.1 METROLOGÍA FORENSE

Un equipo americano de investigadores de varias universidades relacionadas con la justicia criminal y la medicina forense desarrolló en 2011 un sistema que permite hacer relaciones morfológicas en las armas criminales, proponiendo una metodología que evalúa las estrías de las marcas con las posibles armas o herramientas que las pudieron originar. Para su estudio emplearon 58 marcas de cartuchos de 9 mm, disparados con pistolas Glock modelo 19. Las marcas se recogieron empleando un microscopio confocal de luz blanca de alta resolución. Las topografías en 3D resultantes se filtraron para extraer las líneas esenciales que ofrecen la información de las armas de fuego. Las imágenes extraídas se procesaron con softwares especiales (máquinas de soporte vectorial, SVM) y teorías de predicción conforme (CPT, conformal prediction theory) para establecer los niveles de confianza. Esta metodología básicamente se ha desarrollado porque normalmente los examinadores forenses escrutan las pruebas físicas durante los juicios en busca de comparaciones morfológicas, y con este sistema lo que se pretende es hacer lo mismo pero más rápido y con el apoyo de un sistema más fiable.



Figura 3.21. Patrón estriado producido por la acción de cizalla de la recámara de la Glock 19 contra el cartucho.

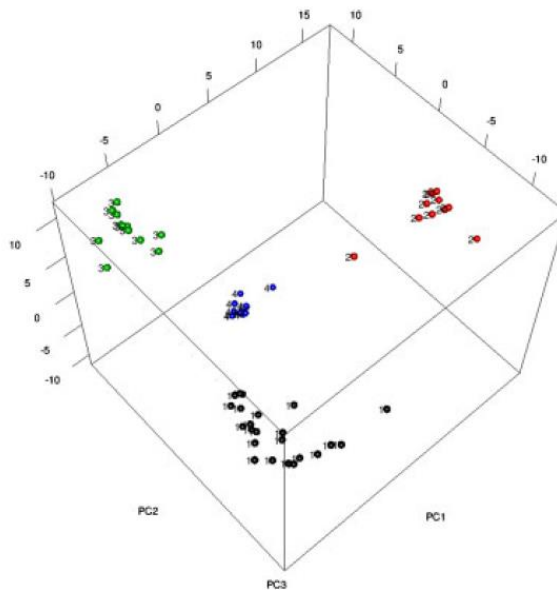


Figura 3.22. Resultados de los perfiles procesados de las 4 Glock 19.

Aunque el tamaño de la muestra no era muy grande, se puede observar que el sistema presentado puede ayudar a los forenses o examinadores en las investigaciones.

3.2 PLATAFORMA NANOMETROLÓGICA DE UN GDL (grado de libertad)

Otra de las características que ha dado lugar la Industria 4.0, como se ha nombrado más arriba, es la aplicación de la metrología a escala nanométrica. A continuación, se describe un instrumento del que publicó un informe la Universidad tecnológica de Viena en 2017, y que tiene aplicaciones en rango nanométrico e inferior.

Bien es sabido que las vibraciones mecánicas limitan el uso de herramientas nanometrológicas en los ambientes de producción. Estas vibraciones crean un movimiento relativo entre la pieza de trabajo y la herramienta de inspección, y ello distorsiona las mediciones a nivel nanométrico. Por ello la Universidad de Viena nos propone una plataforma que se monta en un brazo robot y mantiene constante la distancia entre la pieza inspeccionada y la herramienta a través de una realimentación, y que básicamente está formada por un actuador de Lorentz, un mecanismo de guiado de baja rigidez y una masa de 4 kg con frecuencias de resonancia muy altas.

La plataforma propuesta está equipada con una herramienta nanometrológica un sistema de aislamiento de las vibraciones y de posición de alta precisión. Así, puede llevarse a una distancia muy próxima de la pieza de trabajo por el brazo robot, después de que se le aplique el posicionamiento preciso. En lugar de aislar ambas, la pieza de trabajo y la herramienta de las vibraciones del

suelo, la plataforma metrológica mantiene una distancia constante entre la pieza y la herramienta.

El sistema de posicionamiento de precisión (**figura 3.5**) está compuesto por un actuador de Lorentz y un sensor de guiado de alta precisión que mide la distancia entre la plataforma y la pieza. Después de que la plataforma se mueva por el brazo robot a su posición, un actuador y un sensor se usan para comprobar la posición precisa usando un bucle de realimentación.

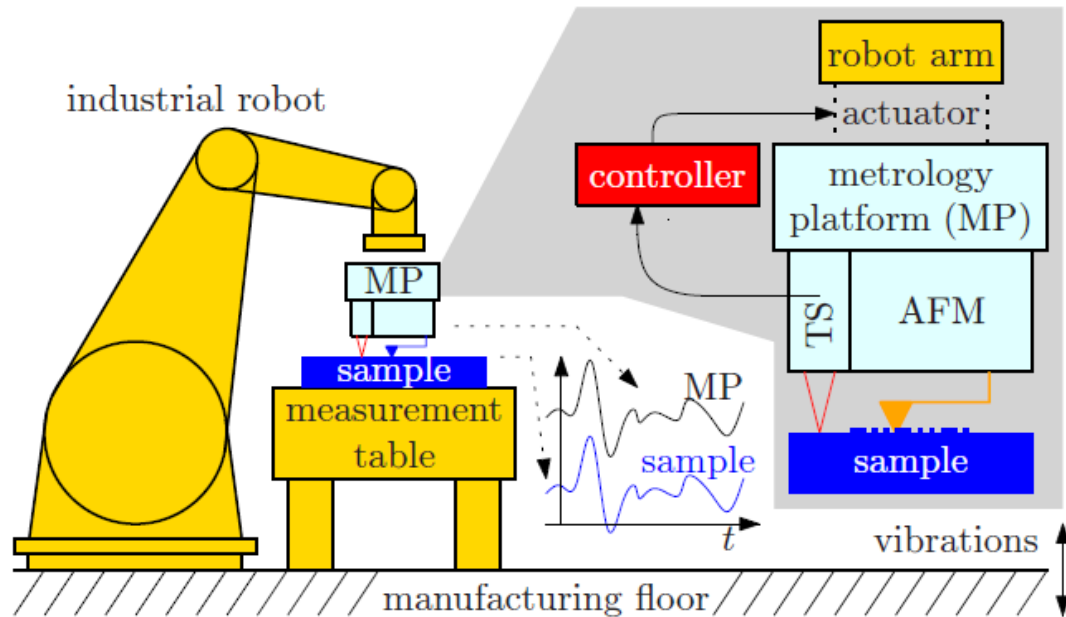


Figura 3.5. Nanometrología robótica basada en el concepto de plataforma metrológica (MP). La distancia Δz entre la plataforma de medida y la pieza de trabajo se mide por un sensor de guiado (TS) y se mantiene constante usando un bucle de control. Por lo tanto, un AFM (microscopio de fuerza atómica) puede medir la nanotopografía de la pieza. Fuente: "Integrated system and control design of a one DoF nano-metrology platform"-Rudolf Saathof et al.

La plataforma debe ser rígida y ligera para reducir la potencia consumida del actuador. Además, se requiere un mínimo de carga para cumplir con las capacidades de los robots industriales. (**Tabla 3.1**)

Tabla 3.1. Requerimientos de la plataforma de medida. Fuente: "Integrated system and control design of a one DoF nano-metrology platform"-Rudolf Saathof et al.

Measurement platform requirements.

Requirement	Value	Unit
Mass	< 5	kg
Minimum stroke	100	μm
First resonance	> 2	kHz
Residual vibration level (p-v)	< 50	nm
Vibration level to be corrected (p-v)	6	μm

El desempeño del sistema de aislamiento de la vibración depende de la combinación del sistema mecatrónico y del espectro de la vibración. Los requerimientos del diseño del sistema mecatrónico, como el control del ancho de banda, se derivan de evaluación de la señal de vibración, que se mide en el lugar de producción (**figura 3.6**).

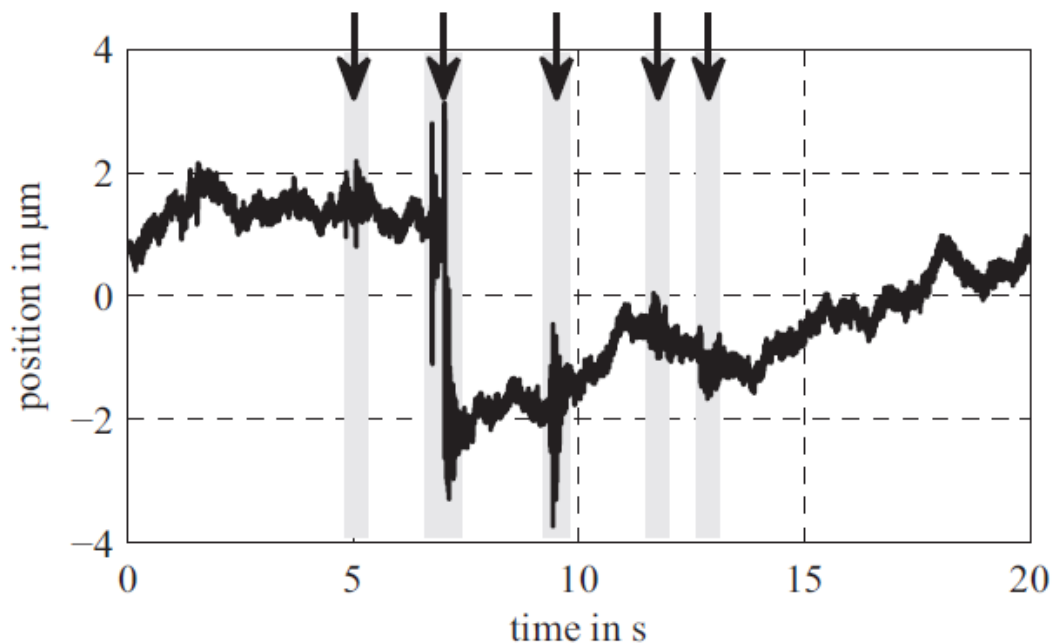


Figura 3.6. Vibración de la señal medida en un ambiente de producción. Las señales de vibración continua tienen unos valores de pico a valle de 400nm, y los impulsos tienen una amplitud de 6 micrometros (área gris). Fuente: "Integrated system and control design of a one DoF nano-metrology platform"-Rudolf Saathof et al.

Las señales grabadas se separan en dos lotes de impulsos, los de las zonas grises y los continuos. La señal grabada tiene las siguientes características:

- (i) Las vibraciones continuas son causadas por, por ejemplo, las máquinas de producción. Estas partes se separan en intervalos de 1s. El valor de pico a valle en los intervalos de tiempo de 1 s es de 1.3 micrómetros. Como las características estadísticas de estos intervalos son similares, esta parte de la señal se asume que es estacionaria. La densidad espectral de potencia (PSDs) de estos intervalos se puede ver en la **figura 3.7**, y se ven vibraciones significantes en 25, 50 y 100 Hz.

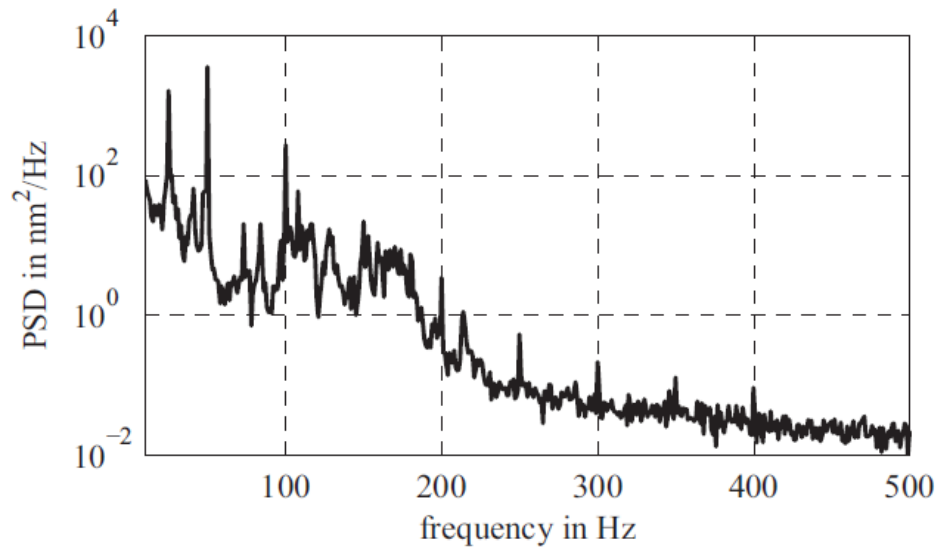


Figura 3.7. Densidad espectral de potencia media de las vibraciones continuas de la figura (anterior), zona no gris. Fuente: "Integrated system and control design of a one DoF nano-metrology platform"-Rudolf Saathof et al.

- (ii) Los impulsos están creados por ejemplo por el personal operante. Como en esta ocasión la señal es muy corta para determinar los parámetros estadísticos, no puede ser tratado como un proceso estacionario. Más bien estos impulsos se asumen como representativos con respecto a su amplitud y contenido espectral.

Estas características aportan los siguientes 3 criterios: en el caso de la característica (i), las vibraciones continuas deberían estar reducidas a un nivel donde se pueda hacer una medida correcta con una vibración residual menor de 50 nm de pico a valle (p-v). Para la característica (ii) las vibraciones deben reducirse tanto que no dañen la herramienta de trabajo, necesitando para ello una vibración residual de menos de 1 micrómetro.

Para verificar el diseño del sistema, el ancho de banda obtenido y el nivel de vibración, la frecuencia y el tiempo de respuesta se reúnen en la **tabla 3.2**.

Tabla. Resumen de los resultados experimento

Parameter	Performance
Peak to valley (continuous)	25 nm
rms position error (continuous)	4.4 nm
Peak-to-valley (peaks)	600 nm
Control bandwidth	850 Hz
Phase margin	17°
Gain margin	2 dB

Las señales de tiempo se recogen con el controlador (**figura 3.8**). Las perturbaciones de pico se reducen de 6 micrómetros a 600 nanómetros. El máximo error de pico a valle en periodos de tiempo de 1 s se redujo de 1.3 micrómetros a 25 nanómetros.

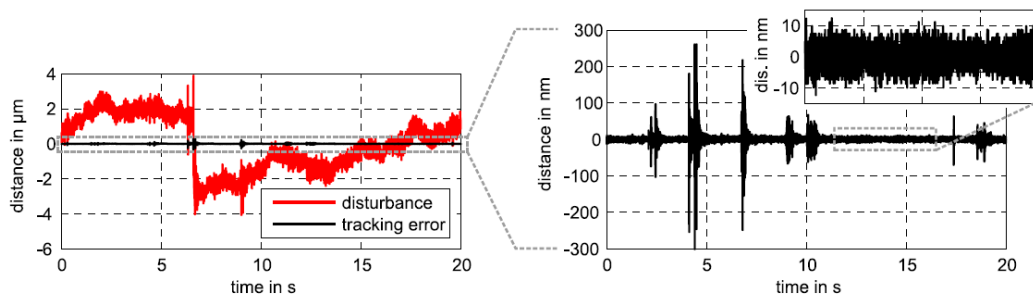


Figura 3.8. Señal de tiempo medida comparada con el error residual.

La nanometrología es una herramienta importante para las líneas de producción, ya que mejoran la calidad final de las superficies de los productos. Existen herramientas como los microscopios de fuerza atómica (AFMs, de Atomic Force Microscopy) y los interferómetros de luz blanca (WLLs, de White Light Interferometer) que pueden medir propiedades estructurales con una precisión de nanómetros.

3.3 HAFM

El instituto tecnológico de Massachusetts presentó en 2010 un diseño y unos resultados experimentales de una cabeza para un AFM (atomic force microscopy), para usar en metrología dimensional. La HAFM (atomic force microscopy head) usa unas flexuras monolíticas que están diseñadas para el mínimo error de movimiento. Un piezoeléctrico conduce la cabeza en un rango de 20 micrómetros. La HAFM usa una sonda AFM que se opera en amplitud

constante. Un controlador de tiempo está implementado en una placa FPGA (field-programmable gate array). Este controlador guía la superficie manteniendo un periodo de resonancia constante. Para evitar mezclas falsas, el muestreo del controlador se hace sincronizado con las oscilaciones de resonancia. Hay tres sensores que miden directamente el movimiento de la superficie.

La HAMF está especialmente diseñada para integrarse con una máquina de medida sub atómica (SAMM). La HAMF claramente sustituirá los microscopios confocales ya que superan sus límites de resolución ópticos. Para medir las superficies de las muestras, la HAMF usa una sonda AFM, que elimina la necesidad de usar un mecanismo sensorial físico, lo que hace más compacto el sistema. Usando la realimentación de la sonda, el controlador de ciclo cerrado de la HAFM guía el muestreo de la superficie con intervalos constantes. Un actuador piezoeléctrico mueve la sonda 20 micrómetros, y para un error de movimiento menor, la HAFM usa flexuras monolíticas para constreñir su movimiento.

La HAFM se posiciona en el marco metrológico de la SAMM usando tres fijaciones. La sonda del AFM se ajusta al final del HAFM para medir la superficie de las muestras. La plataforma de la HAFM mueve la sonda perpendicular al plano de la muestra. Se usan tres sensores de desplazamiento para hacer el seguimiento del perfil de la muestra. En principio solo haría falta un sensor de desplazamiento para medir el movimiento axial de la HAFM, se usan tres sondas colocadas simétricamente en la periferia de la cabeza de la HAFM para permitir un agujero central que se usara para formar una imagen de la punta y de la muestra. El uso de tres sensores también permitirá calcular dos errores de rotación de la plataforma de HAFM.

La **figura 3.9** muestra el diseño mecánico de HAFM. La sonda está fija en el fondo de la plataforma móvil, que está restringida a movimiento axial. Un actuador piezoeléctrico conduce la plataforma móvil en un rango de 20 micrómetros. Un doblez de desacoplamiento conecta el actuador piezoeléctrico a la plataforma móvil. Esta parte es rígida solamente en la dirección axial, y por lo tanto atenúa los errores del piezoeléctrico por lo menos con un factor de 80.

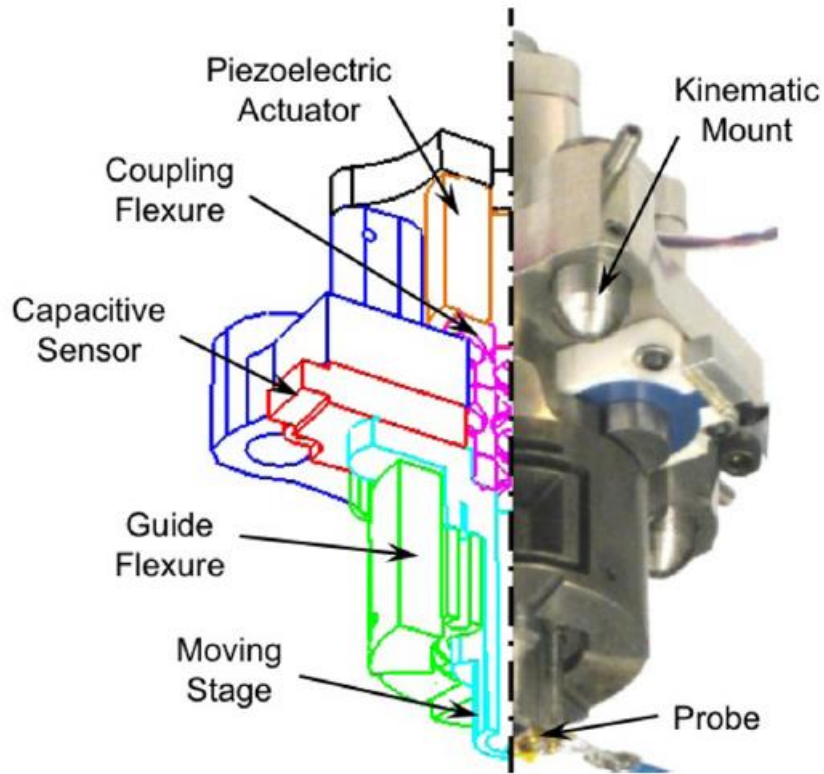


Figura 3.9. Ensamblaje de HAFM con una sección cruzada de CAD. Fuente: "High-accuracy atomic-force-microscope head for dimensional metrology"-D. Amin-Shahidi et al.

Usar una sonda AFM tiene dos ventajas, que son su alta resolución (mejor que 1 nanómetro) y una sensibilidad muy localizada (menos de 15 nm de radio de punta). Para permitir un diseño más compacto para la integración con la SAMM, la HAFM usa una sonda propia que no necesita un sistema óptico.

Para probar la HAFM en formación de imágenes se necesita usar un escáner externo que mueva la muestra en X e Y, mientras se muestrea en Z con la HAFM. En la **figura 3.10** se puede ver una imagen de dos rejillas escaneadas, TGZ01 y TGX01 a 5 y 10 micrómetros/s respectivamente. Se midió un desnivel medio de 25.6 nanómetros para la rejilla TGZ01 la cual está dentro de las especificaciones de altura de 25.5 ± 1 nanómetro.

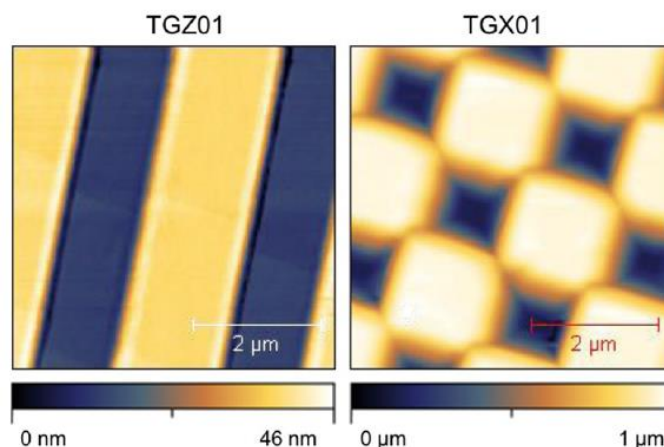


Figura 3.10. Imagen de las rejillas TGZ01 y TGX01 capturadas a velocidades de 5 y 10 micrometros/s respectivamente. Fuente: "High-accuracy atomic-force-microscope head for dimensional metrology"-D. Amin-Shahidi et al.

3.4 DETECCIÓN DE CdCl₂

Pero el uso de un AFM va más allá de la industria. En 2020, con la ayuda de dos universidades de Rusia y un instituto de Israel el uso de un AFM se ha empleado para detectar efectos nocivos del CdCl₂ en las células rojas de la sangre.

La posibilidad de detectar el efecto maligno de sales de cadmio en las células rojas en sangre (RBC) se estudió con ratas blancas de laboratorio, a las que se las incubó con concentraciones de 1, 10, 100 y 1000 microgramos/l. La evaluación cuantitativa de las RBC dañadas se hizo primero con un microscopio óptico, y después con un AFM, permitiendo así detectar características que con el óptico no se puede. Además, se pudo estudiar las propiedades mecánicas de las RBC influenciadas por el cadmio con el AFM.

En primera estancia las células rojas se estudiaron con un microscopio de luz y se encontró que para cada concentración (1,10,100 y 1000 microgramos/litro) había un 67, 80, 95 y 98% respectivamente de células dañadas. Sin embargo, con este microscopio no se puede obtener un resultado del daño de las membranas. Para una comparación visual ver **figura 3.11**.

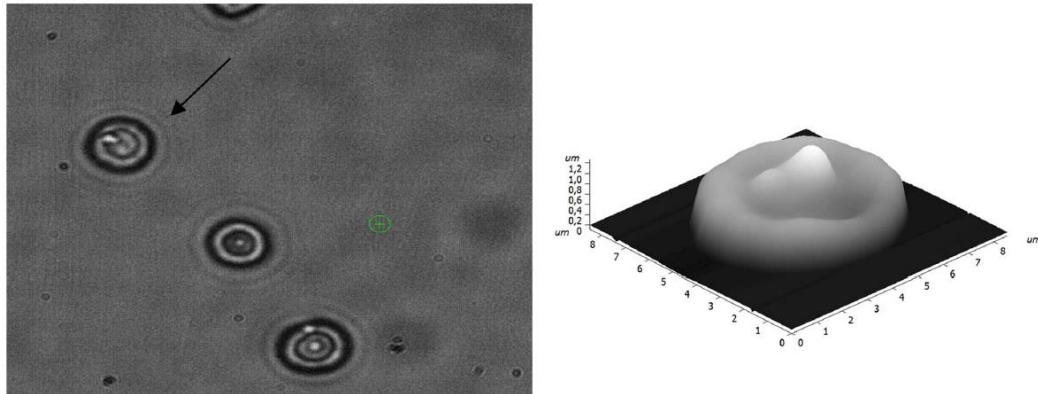


Figura 3.11. Imágenes de células rojas tratadas con 100 microgramos/l de CdCl₂ obtenidas por microscopio óptico (izquierda) y AFM (derecha). Fuente:

3.5 PROYECTO MÉDICO EMPIR

El programa de investigación de metrología europeo (EMPIR) reúne institutos de medida de 23 países para añadir retos clave a nivel europeo. Uno de esos proyectos y continuando con proyectos sanitarios, se pretende medir la cantidad de células malignas que puede haber en la sangre de alguien para detectar el cáncer lo antes posible. Esto se lleva a cabo gracias a que las capas externas de los glóbulos pueden indicar esta presencia de cáncer, diabetes, problemas cardíacos... Estos fragmentos llamados vesículas extracelulares (EV) y se ha descubierto que tienen un cometido en la propagación de las enfermedades. Las investigaciones, diagnósticos y métodos de suministro de fármacos están cerca de encontrar una solución, pero necesitan más estandarización para afianzar la detección.

El reto es que las EV son de tamaño nanométrico, y difíciles de detectar. Una técnica llamada “flujo de citometría” tiene el potencial de contar las EV con precisión, y se usa por el 70% de los investigadores en laboratorios. Trabaja pasando las partículas a través de un láser y midiendo cómo se refleja la luz. Sin embargo, se necesitan mejores instrumentos de análisis y otros métodos para comparar los resultados entre toda la comunidad que está investigando las EV.

El proyecto del programa EMPIR, “Metrological characterisation of microvesicles from body fluids as non-invasive diagnostic biomarkers” investigó nuevos métodos y herramientas para una búsqueda más consistente de la medida de EV. Se investigaron varias técnicas y al final “citometría de flujo” resultó ser la que más potencial tenía. El proyecto desarrolló una referencia que podía ser usada para calibrar los instrumentos de flujo de citometría. Por primera vez hubo conexión matemática entre lo que indicaban los instrumentos y el material de referencia.

La sociedad internacional de trombosis y hemostasia (ISTH) está promoviendo la investigación de las EV y está entusiasmada con su participación en los dispositivos de diagnóstico. Esta sociedad, junto con otras dos organizaciones (“International Society for Extracellular Vesicles” y “International Society for Advancement of Cytometry”) han formado un grupo de trabajo para llevar el guiado de la búsqueda en EV (evflowcytometry.org).

3.6 CALIBRACIÓN PARA METROLOGÍA EN INDUSTRIA 4.0: TCaI

Esta tecnología presentada en XXII Congreso Mundial de la Confederación internacional de Medidas (IMEKO 2018) básicamente consiste en realizar una calibración a distancia, teniendo una comunicación sincronizada a tiempo real entre los laboratorios del cliente y del calibrador, que podrían estar en lados opuestos del planeta. El objetivo es recaudar información del estándar de referencia y mandarla a través de una red a la unidad bajo testado (UUT, Unit Under Test), es decir el objeto a calibrar. La calibración se tiene que hacer totalmente sincronizada, como si estuviera en el mismo habitáculo.

El sistema tradicional de calibrado se basa en mandar los artefactos de calibrado de un sitio a otro, siendo efectivo, pero no eficiente. Se consume mucho tiempo y coste y además siempre hay riesgo de que el artefacto de calibración pierda sus especificaciones durante el transporte. Si pudiesen conectarse de alguna manera los laboratorios y hacerse online el proceso de calibración se ahorraría tiempo dinero y se tendría la seguridad de que en el transporte de los materiales no ocurren inconvenientes.

Una de las tecnologías que incluye esta calibración son los CPSs y CPPSs (Ciber Physical System, y Ciber Physical Production Systems), que como se comentó en el capítulo anterior, están basados en las TIC, y transforman el mundo real y virtual para crear redes donde los sujetos y objetos se comuniquen inteligentemente e interactúen el uno con el otro; la novedad de la Industria 4.0 son los “mini” ordenadores embebidos en los CPS, que dan lugar a los CPPS (**figura 3.1**) Recordando un poco el anterior capítulo, estos mini ordenadores procesan la información reunida por los sensores y son capaces de determinar y medir el estado en cada momento del proceso y del equipo, para analizar la situación y para reunir acciones particulares que puedan mejorar el proceso. Esto se realiza con un nivel superior de conexión entre el software y el hardware con las nuevas redes de trabajo. Los CPS son capaces de controlar, automatizar y regular procesos y sistemas desde la distancia y a tiempo real. Los requerimientos metrológicos principales en conexión con la Industria 4.0 son: eficiencia del tiempo y dinero, manejo fácil, ejecución a tiempo real, automatización y alta velocidad.

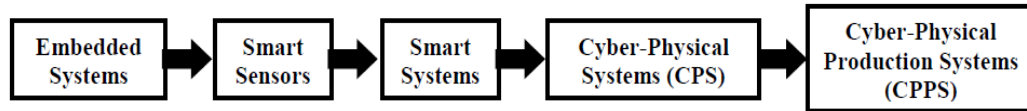


Figura 3.2 Evolución tecnológica desencadenada por la Industria 4.0. Fuente: Calibration for Industry 4.0- Sasho Andonov y Marija Cundeva-Blajer

¿Cómo funciona?

El concepto de calibración sin contacto (TCal, Touchless Calibration) se basa en el transporte de los datos de calibración al laboratorio en lugar de los del instrumento propiamente dicho (UUT). El concepto de la TCal se describe en la figura 3.2.

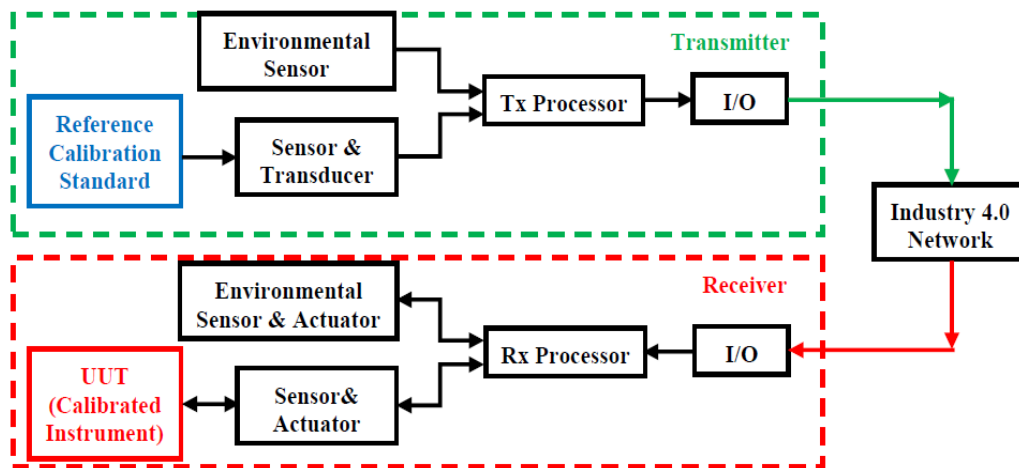


Figura 3.3 Cuadro de flujo de la TCal. Fuente: Calibration for industry 4.0-Sasho Andonov y Marija Cundeva-Blajer

El sistema TCal consiste en tres partes principalmente: un Transmisor, la red IND4.0 y un Receptor. En todas estas partes hay dispositivos basados en CPSs inteligentes (CPPSs), con poderosas configuraciones que les permiten transferir a gran velocidad, fiabilidad e integridad los datos del proceso, cálculos y operaciones.

- Transmisor: está situado en el laboratorio de calibración de referencia con el estándar de referencia solicitado, y está formado por varias partes.
 - o El estándar de calibración de referencia es una parte obligatoria.
 - o El sensor y transductor (S&T) es la parte principal. Es un dispositivo CPS capaz de medir los valores del estándar de referencia de calibración y transformarlos en señales eléctricas. Estas señales eléctricas son el equivalente a los datos de calibración necesarios para el proceso de calibración, y son llevadas al Procesador Tx.

- Sincronizado con el S&T se encuentra el Sensor Ambiental, que mide y transmite las condiciones ambientales (temperatura, presión, humedad...) del laboratorio de calibración al Procesador Tx.
- Las señales eléctricas de la calibración y del sensor ambiental se procesan y transforman en el Procesador Tx a un mensaje de calibración y este mensaje se manda al dispositivo I/O.
- I/O: es un dispositivo es una puerta estandarizada del canal de comunicación de la red IND4.0. Transforma el mensaje de calibración en un mensaje estandarizado para la red IND4.0 y lo manda al Receptor.
- El mensaje estandarizado de la red IND4.0 depende del protocolo de comunicación usado y comprende los datos de calibración, control de datos y comprobación de paridad de los datos para mejorar la fiabilidad y la integridad.
- Receptor (calibrador): recibe los mensajes estandarizados del Transmisor con su propio dispositivo I/O y lo procesa en el Procesador Rx.
 - El mensaje contiene información de la calibración, datos de control y de control de paridad, que se extraen en el propio Procesador Rx. Los datos se inspeccionan en búsqueda de errores y después se dividen en datos de calibración y datos de ambiente.
 - Los datos de calibración en el Procesador Rx se transforman en un formato que permita la comparación con los datos tomados de la UUT. Al mismo tiempo el Procesador Rx transforma los datos del ambiente en un formato apropiado que se llevará hasta el sensor y actuador ambiental (S&A).
 - El S&A ajusta las condiciones ambientales del laboratorio a las condiciones mismas que el cliente, y las mantiene en concordancia.
 - El S&A también mide los valores de la UUT y produce una señal eléctrica. Esta señal eléctrica se lleva al Procesador Rx y se compara con los datos recibidos del estándar de referencia. Las diferencias entre estos datos se registran y procesan para después calcular los errores y la incertidumbre del instrumento.

Puede notarse que en el lado del Transmisor el flujo de datos es en una dirección mientras que en el Receptor es en dos sentidos. La razón de esto es que el proceso de calibración se realiza propiamente en el lado del Receptor, y todas las comparaciones y ajustes se hacen aquí en base al lado del Transmisor. Esto significa que el Procesador Rx debe ser superior en velocidad y capacidad al Procesador Tx.

El principal objetivo o reto es adquirir una transferencia precisa de los datos de calibración entre una parte y otra. Los datos medidos del estándar de calibración de referencia en el lado del Transmisor deben ser admisibles, precisos y fiables cuando se transmiten a la UUT en el lado del Receptor. La incertidumbre total, en general, consiste en fuentes de incertidumbre tradicionales de los métodos de calibración particulares que consisten en incertidumbres aleatorias y sistemáticas. Considerando que este concepto es aplicable a la red IND4.0, algunos factores que contribuirían a la incertidumbre desaparecerán por el método de calibración TCal. Sin embargo el proceso de digitalización trae consigo nuevas incertidumbres por los procesos de transmisión y muestreo de los datos de calibración. La incertidumbre total puede expresarse como la suma de varianzas de las fuentes tradicionales y de las fuentes introducidas por el concepto TCal (ecuación 3.1):

$$\sigma_{tot}^2 = \sigma_{trad}^2 + \sigma_{TCal}^2 = \sigma_{trad}^2 + (\sigma_{ds}^2 + \sigma_{tr}^2 + \sigma_{env}^2 + \sigma_{sp}^2 + \sigma_{dev}^2)$$

La medida de los valores, tanto del estándar de referencia como de la UUT debería hacerse por sensores idénticos. Así, el término σ_{ds}^2 es la varianza causada por la diferencia de características en los sensores. Los datos producidos por el S&T deben interpretarse en el S&A en la misma manera y la precisión e incertidumbre de medición se debe tener en cuenta. Así, los sensores implementados en estos dos dispositivos deberían tener las mismas características, ser parejos. Los MEMS (microelectromechanical systems) tienen un rol considerable en esta área. Como ejemplo, para la calibración de instrumentos de peso, los sensores de cristales piezoeléctricos se pueden usar. Estos sensores transforman la masa en voltaje y viceversa. La estándar de calibración de referencia de 1kg se pone en el S&T y el piezoeléctrico produce un voltaje particular. Este voltaje se procesaría en el Procesador Tx, transformado en un dato de calibración, y junto con los datos del ambiente se mandarían a través de la red IND4.0 al lado del Receptor.

El siguiente término de la incertidumbre se debe a la transmisión desde el Transmisor al Receptor, σ_{tr}^2 . Es realista esperar que algo de precisión en el mensaje se pierda. Sin embargo, si la transformación se realiza en una conversión A/D y D/A (analógico a digital y viceversa) este término se puede ver reducido. La transmisión de datos a través de la red IND4.0 no debería producir ningún problema, y por eso muchas veces este término se descarta.

La discrepancia entre las condiciones ambiente del laboratorio de calibración y del cliente es el causante del tercer término, σ_{env}^2 . El sensor ambiental del lado del Transmisor y del Receptor deberían parecerse todo lo posible, y reducir este término al máximo.

La velocidad de comunicación a través de IND4.0 es el cuarto factor, σ_{sp}^2 . Para simular una calibración como si fuese en la misma habitación es necesario proveer la máxima velocidad de comunicación para satisfacer las variaciones eventuales de la calibración y de las condiciones ambiente. Cualquier cambio en algún parámetro de la habitación debe transferirse cuanto antes. Esto depende en su gran mayoría del equipo empleado.

Y el último término, σ_{dev}^2 , es causado por los errores eventuales de los datos, que cada dispositivo involucrado puede introducir al proceso.

3.7 CALIBRACIÓN SENSORES DE TEMPERATURA

Un grupo de la empresa ETALONS S.A. de México presentó un informe en 2019 donde diseñaban un sistema muy similar que instalaron en su laboratorio de calibración para calibrar sensores. Desde el comienzo de los servicios de calibración, los certificados de calibración contienen información acerca del estado del instrumento, dependiendo del tipo y método usado para calibrar el instrumento. Con el avance de la tecnología los instrumentos se vuelven más y más sofisticados, y más precisos. Este equipo de México encontró la necesidad de calibrar sensores de temperatura en una manera más eficiente. Normalmente lo que hacían era colocar el sensor conectado a un calibrador Dry Well y comparar las temperaturas de ambos instrumentos. Muchas de las veces estas dos partes estaban a una distancia grande, razón por la cual había que comunicar los datos a través de radio o teléfono, y sumándole el transporte en caso de que lo hubiese. El primer paso que hicieron fue incluir una estación de energía, formada por una batería dc, un convertidor dc-ac, un cargador de energía y el calibrador Dry-Well. Tras conectar y montar la unidad de potencia lo que hicieron fue añadir un dispositivo resistente a la temperatura (RTD) que tiene la capacidad de conectarse a la red y para tener controlados los datos de la temperatura y el montaje del dispositivo se creó una aplicación personalizada.

3.8 CONECTIVIDAD EN MONTERREY

También a finales del 2020 la universidad de Monterrey junto con la colaboración de otras tantas ha planteado un sistema “in-line”, de conectividad para el equipo de la industria 4.0 pero enfocado para la metrología. En concreto el artículo que publicaron discute cómo la conectividad facilita el desarrollo de capacidades de manufactura inteligente a través de la incorporación de principios de la Industria 4.0 que pueden mejorar la capacidad de computación de los dispositivos. Estos conceptos se aplican al desarrollo de una estación metrológica para componentes de automoción.

El diseño de los sistemas de manufactura normalmente se esfuerza en conseguir características concretas. Por ejemplo, para los RMS (reconfigurable manufacturing system), las características deseadas incluyen escalabilidad, convertibilidad, diagnosticabilidad, integrabilidad...el informe del que saco estas líneas afirma que las máquinas de producción, incluyendo el equipo metrológico de la red in-line, deberían tener los siguientes atributos para llegar a cumplir las demandas de las aplicaciones modernas:

- Precisión y repetibilidad: estos atributos se refieren a la capacidad de la máquina para desarrollar sus funciones consistentemente entre unos límites aceptables. La función que comúnmente se asocia a estos atributos es el posicionado de la herramienta.
- Flexibilidad: se refiere a la habilidad del equipo de lidiar con las necesidades cambiantes en el piso de la tienda.
- Robustez: esta característica implica que las máquinas puedan desarrollar sus funciones de manera eficaz. Los factores que afectan esta característica son las condiciones ambiente y el operador que maneja el equipo.
- Velocidad: poder cumplir los plazos, influenciada por la velocidad de las funciones mecánicas y por la velocidad de procesado y controles de la máquina.
- Seguridad: este atributo se refiere a la capacidad de la máquina de tener en cuenta la integridad física del operador, así como de la propia máquina y sus alrededores.
- Inteligencia: poder desarrollar sus funciones de manera autónoma. Una operación automática requiere que la máquina gestione, monitoree y controle las funciones que ejecuta. La capacidad de comunicar con los alrededores y responder a los comandos es también signo de inteligencia.

Un principio básico de la Industria 4.0 es el interés particular de que los objetos se diseñen para comunicarse entre ellos, como habíamos visto en el capítulo anterior. Karimi afirma que el contenido de esta comunicación determina como de inteligentes son los procesos de las máquinas. Stock y Seliger indicaron que en estas comunicaciones deben colectarse las variables y estados operacionales de las máquinas. Borgia también añade que la información de los alrededores de la máquina es necesaria, y otros tantos estudios demuestran los beneficios en la eficiencia; se ha demostrado que la información se puede integrar incluso antes, desde la fase de diseño. En la **figura 3.13** se puede ver el protocolo de comunicación y la infraestructura de la conectividad dentro de la cual la inteligencia de las máquinas puede operar.

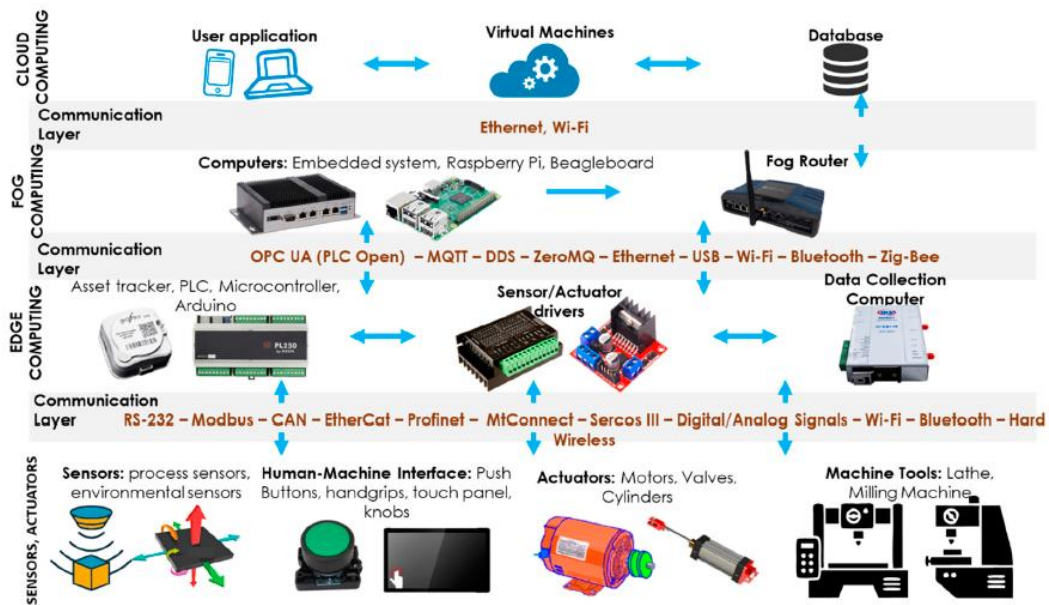


Figura 3.13. Mapa de tecnologías y protocolos que facilitan la conectividad. Fuente: "Connectivity as a design feature for industry 4.0 production equipment: application for the development of an in-line metrology system."-Ana Pamela Castro-Martín et al.

La conectividad permite el acceso a fuentes que pueden mejorar significativamente la capacidad de controlar y monitorizar un proceso dado. Las previsiones se pueden mejorar, no solo de los sistemas internos de las máquinas sino también en los cambios en el ambiente de producción. Para llegar a conseguir estas capacidades y muchas otras, la inteligencia se construye distribuyendo los datos y manejando la información a lo largo de las diferentes capas de capacidades computacionales.

Desde la perspectiva del diseño de la máquina, las tecnologías y los protocolos de la figura 3.13 se seleccionan de acuerdo con sus aplicaciones.

La conectividad es el medio por el cual los diferentes dispositivos de diferentes niveles se pueden comunicar, y trae consigo un potencial de mejorar el sistema. En el caso de equipo existente, añadir conectividad supone una mejora también.

Pero cómo se pueden aplicar los conceptos de conectividad a la metrología es la pregunta.

El desarrollo de la metrología de manufactura en un campo muy competitivo que continuamente incorpora nuevas tecnologías ara mejorar la precisión y resolución del equipo de medida. Recientemente se ha reconocido que son necesarias las técnicas más eficientes de recogida de datos de las diferentes partes en producción. Kiraci et al. propusieron el uso de sistemas inteligentes para promover el cambio de la metrología off-line a la in-line. También señalaron que el reto más importante para la introducción de la metrología in-

line es la validación de las capacidades del sistema en términos de precisión, repetibilidad y medida del tiempo.

La fuente de esta información propone que el sistema de metrología in-line debería tener características específicas que se adapten al ambiente de producción: flexibilidad, precisión, robustez, velocidad, inteligencia funcional y conectividad. Todos los componentes de una máquina in-line interactúan para conseguir estas características, aunque las 4 primeras se asocian más al hardware de la máquina. Estos conceptos se aplican en este caso a una máquina de medida in-line para la inspección de piezas de fundición:

- Análisis del proceso de calibrado y objetivos de las especificaciones:
Para prevenir productos con errores los fabricantes se esfuerzan y apuestan por una producción con cero defectos. En la práctica los fabricantes están atraídos por un proceso donde se verifican todas las operaciones de todas las partes producidas. En nuestro caso particular se trabaja con el diseño de una máquina para operaciones de fundición. En la **figura 3.14** se presenta el proceso que se sigue para producir e inspeccionar la forja del aluminio. Después del forjado, un brazo robótico coge la pieza de la máquina de forja y la lleva a un sistema de enfriamiento con agua antes de llevarla a una prensa donde se eliminan los restos. Finalmente se lleva la pieza a una estación de calibrado para hacer un test de planitud, que consiste en medir la altura de 20 puntos aproximadamente con transductores de desplazamiento lineal variable (LVDT). Las medidas se ven en un monitor.

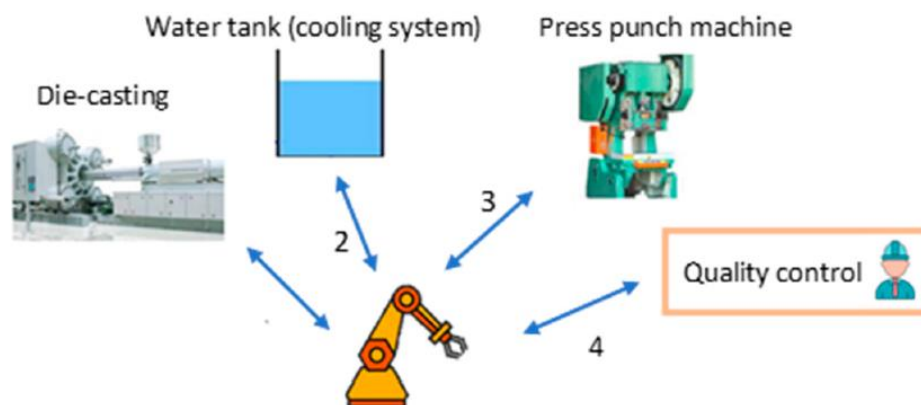


Figura 3.14. Proceso de fabricación de las piezas. El robot coge la pieza de la máquina de forja (1) y la sumerge en agua (2). Después el robot inserta la pieza en una prensa donde se quita el exceso de material. Finalmente se lleva la pieza en una estación de medida para comprobar la planitud. Fuente: "Connectivity as a design feature for industry 4.0 production equipment: application for the development of an in-line metrology system."-Ana Pamela Castro-Martín et al.

El ambiente que rodea la estación de medición es normalmente propio de una forja: temperaturas de 18 a 38°C, ambiente húmedo por el vapor de agua y ruidos y vibraciones.

En general los sistemas de calibración in-line se fabrican con robustez y velocidad. En el caso de la forja que estamos tratando las mediciones deben hacerse en 20/25 segundos para permitir al operario hacer las correcciones pertinentes. Como se ve en la **figura 3.15**, la posición de cada LVDT está fijada, y el sistema se puede utilizar solamente para la parte específica para la que fue diseñado.

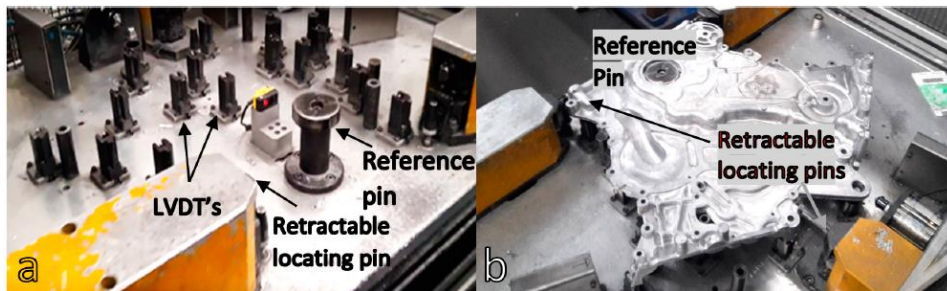


Figura 3.15. Sistema de inspección de calibración: (a) vista desde la perspectiva del operador enseñando los transductores de desplazamiento lineal variable (LVDTs) y los pines de referencia, y (b) vista desde el lado opuesto mostrando la pieza montada y preparada para la operación de medida. Fuente: "Connectivity as a design feature for industry 4.0 production equipment: application for the development of an in-line metrology system."-Ana Pamela Castro-Martín et al.

Las ventajas principales de esta estación de medida son la fiabilidad, robustez y simplicidad de operación. Por otra parte, también tiene debilidades, que son falta de flexibilidad, tendencia de los LVDT a retener escombros del ambiente y la falta de información del sistema para la integración del concepto "Industria 4.0".

La intención del nuevo diseño era mantener las ventajas del sistema actual mientras se añadía flexibilidad y conectividad a la Nube. El uso de sensores permanentemente fijos era la principal objeción para conseguir flexibilidad. Para conseguir una buena respuesta en el tiempo se propuso una sonda láser. Otra consideración que hay que tener en cuenta es el área que debe cubrir el sistema de medida (450 mm x 450 mm).

- Arquitectura de la estación de medida in-line:

Como hemos dicho se ha propuesto una sonda laser para las medidas, para reducir los riesgos de colisión entre la máquina y la pieza. Para compensar que esta sonda solo puede hacer una medida a la vez, se necesitará un sistema de posicionado de alta velocidad. El volumen total de trabajo que cubre el sistema de posicionado es de 600 x 600 x 270 mm.

La **figura 3.16** muestra la estructura de todo el sistema. Hay dos partes diferenciadas: la parte de carga y la parte de medida. La estación de medida está cerrada con el propósito de proteger el sensor láser, así como los motores lineales. Las partes son introducidas y luego recuperadas en la parte de carga, y después transportadas al área de medida por un posicionador neumático. Esta configuración requiere un sistema de fijado de piezas (**figura 3.16c**).

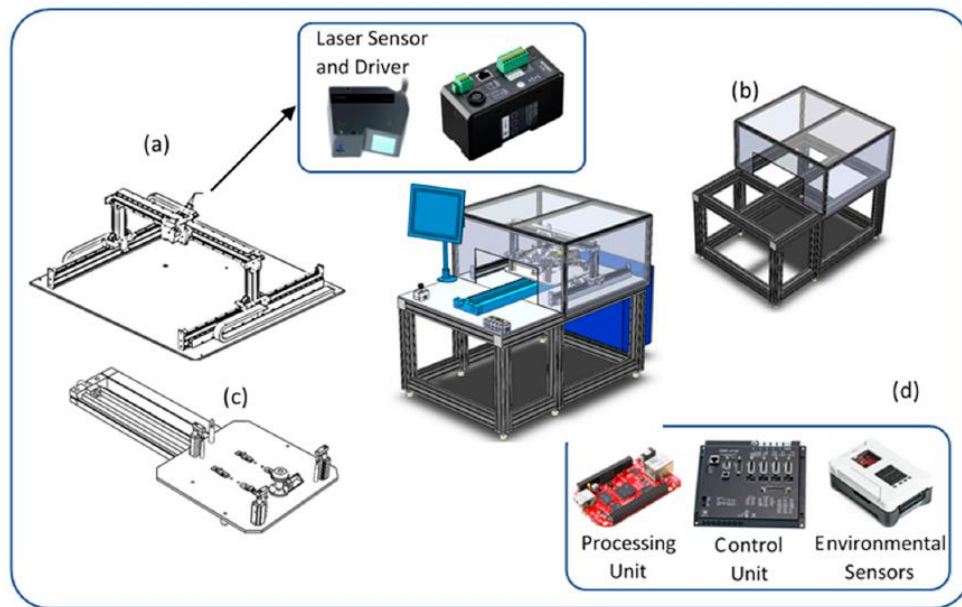


Figura 3.16. Máquina de medida in-line. (a) Posicionador cartesiano 2 ejes, (b) estructura de la máquina, (c) posicionador neumático, y (d) sistema de control. Fuente: "Connectivity as a design feature for industry 4.0 production equipment: application for the development of an in-line metrology system."-Ana Pamela Castro-Martín et al.

El proceso de medida comienza cuando el operador monta la pieza en el plato de transporte. La pieza se fija con unas pinzas neumáticas y luego llevada al área de medida. Si las medidas son las correctas el sistema libera automáticamente la pieza, si no se manda la pieza a otros procesos específicos. Este ciclo se realiza hasta que se acepta o rechaza la pieza, y los resultados se visualizan en un ordenador y mandados a la nube.

El hardware debe también estar preparado para las características de flexibilidad, precisión, robustez y velocidad, de la siguiente manera:

- Flexibilidad: el diseño propuesto incluye un sistema de posicionado de gran velocidad que usa motores lineales y sensores laser para llevar acabo las mediciones. El uso del posicionador permite que la máquina in-line opere de manera similar a un CMM (coordinate measuring machines), que puede adaptarse a las variaciones geométricas de las piezas. En

términos de funciones de medida las CMM son muy flexibles, sin embargo, es a expensas de la velocidad y fijación. Los sensores de láser no son tan precisos y pueden verse afectados por las variaciones del ambiente. Por otra parte, no están impedidos por las limitaciones de los sensores de contacto, que son más lentos. La máquina también incluye un plato de fijación que sujeta la pieza a examinar, y permite un cambio rápido de esta pieza.

- Precisión: en el diseño propuesto, esta característica se consigue con el desarrollo de capacidades de fijación del plato, sistema de posición y sonda láser. Un posicionador es el encargado de mover el láser en el plano. El uso de guías lineales y encoders permite una precisión de posicionamiento de 0,003mm con una resolución de 0,001 mm. El plato de fijación tiene tres pines que definen el plano de referencia (fija z y dos posiciones angulares), mientras que dos pines se usan para localizar la pieza en los otros 3 GDL que quedan (x,y y una posición angular).

La pieza está hecha de aluminio y la superficie generalmente está suave y reflectante. Como se puede ver en la **figura 3.17** puede haber marcas en la superficie que pueden afectar al proceso de medición.

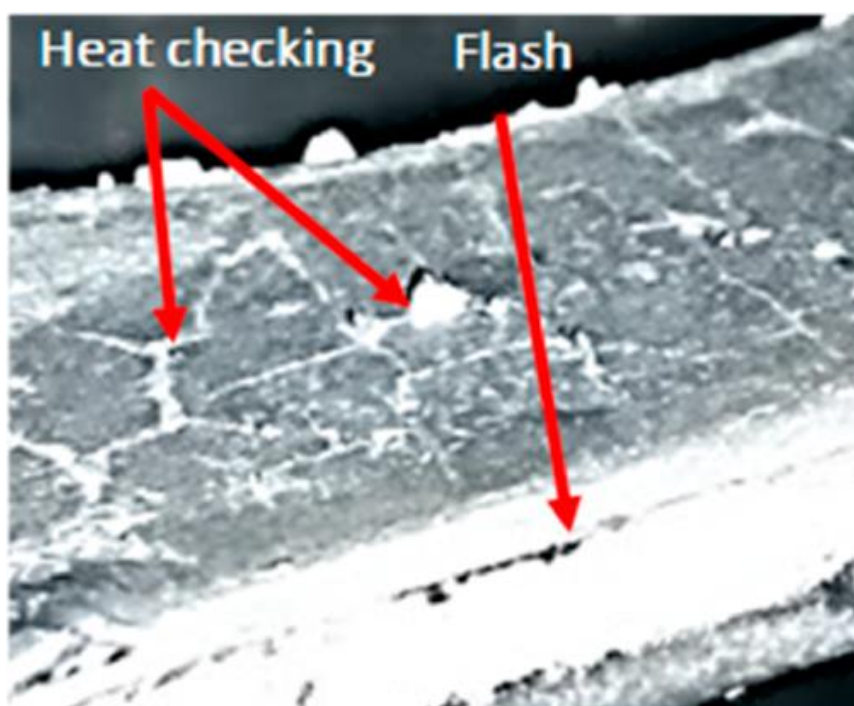


Figura 3.17. Marcas de fognazos y de control de temperatura encontradas en la superficie. Esto afecta a las medidas. Fuente: "Connectivity as a design feature for industry 4.0 production equipment: application for the development of an in-line metrology system."-Ana Pamela Castro-Martín et al.

- Robustez y seguridad: en el diseño propuesto, el laser y los motores lineales necesitan estar protegidos para asegurar una operación fiable. Por esta razón están separadas las operaciones de carga-descarga y mediciones. El operario maneja la parte enfrente de la máquina. Un actuador neumático inserta la pieza en el volumen de medición. Este volumen se mantiene relativamente aislado del ambiente por un cerramiento, que previene que se cuelean escombros y polvo que puedan afectar a las guías lineales. Este cerramiento también previene que el operario esté expuesto a láseres potencialmente peligrosos.
 - Velocidad: un ciclo de medida incluye una parte de preparado y de fijación, recolección de datos y tiempo de procesado de datos, que en este caso también incluye cálculos de las medidas, mostrado de los datos y transferencia a la nube. El plato donde va la pieza se diseñó para colocar y fijar rápidamente la pieza.
- Arquitectura del sistema de control y conectividad.

El diseño de la arquitectura juega un papel importante en la recolección de datos y tiempo de procesado. La **figura 3.18** muestra un árbol estructural de una estación de medida. El sistema se concibe para medir la planitud de la forja y para mostrar los datos.

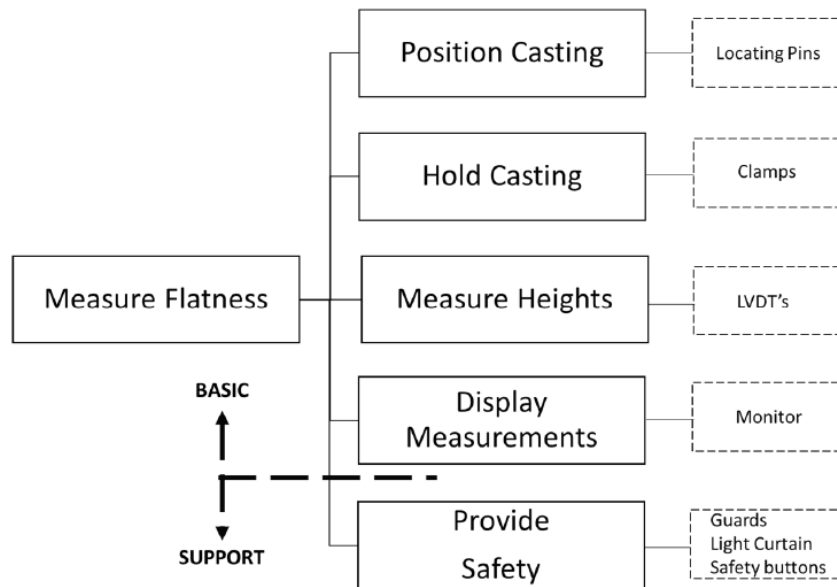


Figura 3.18. Árbol de análisis de funciones simplificado. Los componentes físicos se muestran en las cajas rayadas. Fuente: "Connectivity as a design feature for industry 4.0 production equipment: application for the development of an in-line metrology system."-Ana Pamela Castro-Martín et al.

En comparación, la **figura 3.19** muestra un nuevo diseño del árbol de funciones. La función principal, "monitor casting", tiene varios pasos como la fijación, posición, y medir la pieza, mostrar los resultados de

control de calidad, ofrecer seguridad a los operarios, controlar las condiciones ambientales y suplir de conectividad al sistema.

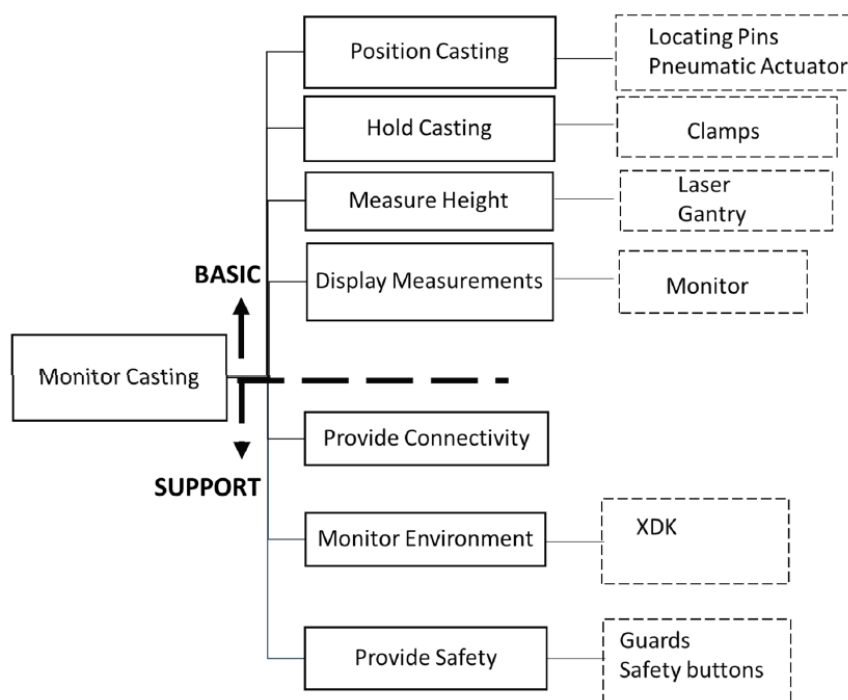


Figura 3.19. Árbol funcional para el diseño propuesto. La conectividad y monitorizado del ambiente son funciones de apoyo que ayudan a mejorar la inteligencia de la máquina. Fuente: “Connectivity as a design feature for industry 4.0 production equipment: application for the development of an in-line metrology system.”-Ana Pamela Castro-Martín et al.

Comparado con el diseño anterior, el nuevo añade un nuevo paso, “position part”. Este nuevo paso se añade como precaución para aislar la sonda y el sistema de posicionado del ambiente todo lo posible para garantizar la fiabilidad. Las otras funciones nuevas, “Provide Connectivity” y “Monitor the environment”, están orientadas a mejorar la inteligencia y control, y proveer de capacidad para responder a condiciones inesperadas. Por ejemplo, la información relativa a la pieza o lo que la máquina percibe del ambiente se puede usar para anticipar y evitar condiciones que puedan resultar un gasto de energía para los recursos. Las máquinas ejecutan una serie de funciones automáticas una vez que la pieza se fija en la zona de trabajo: anclar la pieza, insertar en el volumen de medición, medir las características objetivo, comunicarlo al operario y guardar los datos seleccionados. A todo esto hay que añadirle la conectividad que se usa para mejorar la capacidad de control del sistema y monitorizar el producto, proceso y adaptar los cambios.

- Implementación de conectividad.
En general un sistema de control para una máquina de medición tiene cuatro componentes principales que trabajan juntos para generar y

analizar los datos: sensores, finales de carrera, placas base y la Nube. La implementación de la conectividad empieza con la definición de las señales que necesitan ser transportadas para el análisis, así con el lugar de procesado donde tendrá lugar. La **figura 3.20** muestra las fuentes de información y su recorrido al hardware, así como el nivel donde se procesa para la máquina de medición in-line.

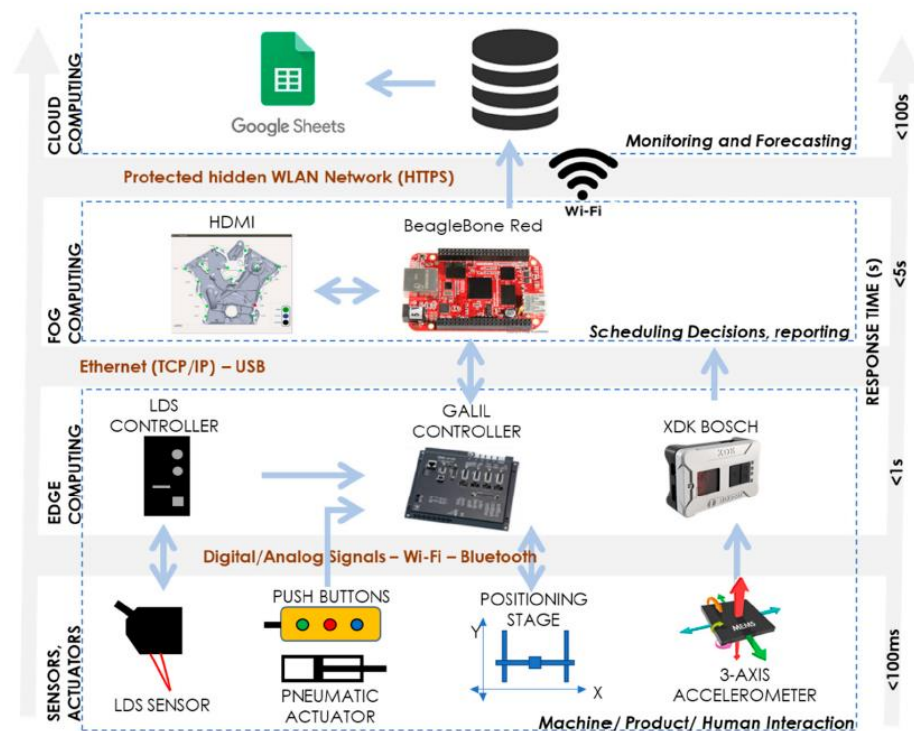


Figura 3.20. Arquitectura de control de la máquina de medición in-line. Conectividad, flujo de datos y distribución de análisis, y soporte para la toma de decisiones. . Fuente: "Connectivity as a design feature for industry 4.0 production equipment: application for the development of an in-line metrology system."-Ana Pamela Castro-Martín et al.

Como se ve en la **figura 3.20** el nivel más bajo es donde las señales básicas se controlan, y donde los actuadores responden a impulsos mandados por el control de la máquina. Generalmente, el tiempo típico de respuesta a este nivel es entre 1 y 100 milisegundos y la capacidad de manejo de datos abarca de bits a megabytes. En este caso particular los dispositivos de más bajo nivel tienen las siguientes características:

- Sensor de desplazamiento láser (LDS): mide la altura a determinadas posiciones de la pieza. Está calibrado para desarrollar 30 medidas en cada posición en 0,080 s.
- Sistema de posición: transporta el sensor láser a la posición donde hay que medir. Está movido por motores lineales, y abarca

un espacio de 600 x 600 mm. Puede alcanzar 6 m/s con una resolución de 0,001 mm.

- Caja de botones: el operario interactúa con el proceso a través de los botones. El comienzo, fin, o retirada de la pieza se registran en la Nube en cuanto se pulsan los botones.
- Actuador neumático: es responsable de transportar la pieza dentro y fuera del volumen de medición. Los sensores se activan cuando llega a su posición límite.
- Acelerómetro de 3 ejes: este sensor graba las aceleraciones en las diferentes direcciones según la máquina se desplaza en el ciclo de medidas. Esos datos se guardan para comprobar la salud de la operación.

Siguiendo la descripción previa se creó un prototipo de la máquina de medición in-line. Esta versión de la máquina se enfocó primero para un laboratorio, pero también se consideró adecuada para el uso en una planta industrial. La máquina se desplegó en una línea de producción y se testó durante 18 meses, y se utilizó como método redundante de los procesos.

3.9 ESTACIÓN CLIMÁTICA

Añadir una breve mención a la estación climática que el autor de este TFG realizó durante el curso 19/20 en la asignatura de Metrología, junto con dos compañeros.

Esta estación climática consistía en un sensor de temperatura y humedad relativa, conectado a una placa NodeMCU, que a través de la red de internet transmitía los datos a la aplicación Thinger. El registro de los datos se realizaba en base a un código que nosotros mismos programamos, es decir que podría cambiarse sin problema. La característica propia que le añadimos al código fue la función “Deep-sleep”, con la cual la estación se desactivaba cada cierto tiempo para no gastar las pilas tan rápido.

Este dispositivo se alimenta a base de pilas, el nivel de las cuales también se podía consultar a través de la aplicación Thinger.

Sin duda es un dispositivo de la Industria 4.0 ya que posee la conectividad y flexibilidad características de esta revolución industrial.

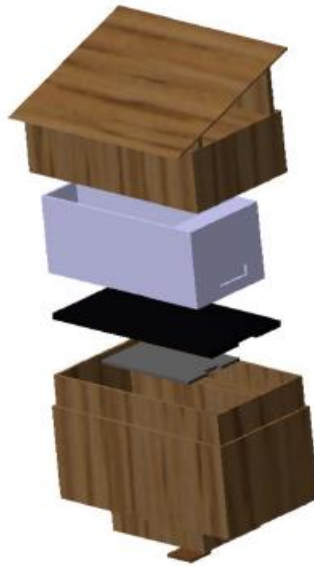


Figura 3.20 bis. Vista de la estación climática desmontada.

3.10 METROLOGÍA INTELIGENTE EN LA MANUFACTURA AVANZADA

La producción de piezas a nivel nanométrico requiere la integración de alta calidad en los procesos de manufactura. La aplicación industrial de la metrología moderna de producción empezó con la base científica de E. Abbe, William Taylor y Frederick Winslow Taylor en el siglo XIX-el “siglo de control de calidad”-el desarrollo ha llegado hasta la nanotecnología y está llegando a las dimensiones pico- y femto-.

A continuación, se describe un método empleado por el departamento de manufactura intercambiable y metrología industrial de Wien, Austria, y de la facultad Tecnológica Nacional de Buenos Aires.

Es un sistema inteligente con metrología 3D que se utiliza para comprobar los productos o escanear y digitalizar modelos de productos complejos con superficies de forma libre. Esto es útil para obtener un modelo digital del producto y para modificarlo a un diseño inteligente y luego para crearlo nuevamente habiendo modificado el modelo virtual, todo esto con impresión 3D y procesos interconectados y automatizados.

La técnica de medida inteligente cierra los bucles de control de calidad en la producción, en el sentido de que un temprano reconocimiento de los posibles errores con los resultados del análisis puede mejorar los procesos.

La **figura 3.3** muestra una aplicación de metrología 3D inteligente para apoyar la mejora y optimización de los objetos tridimensionales con complejas geometrías y estructuras finas.

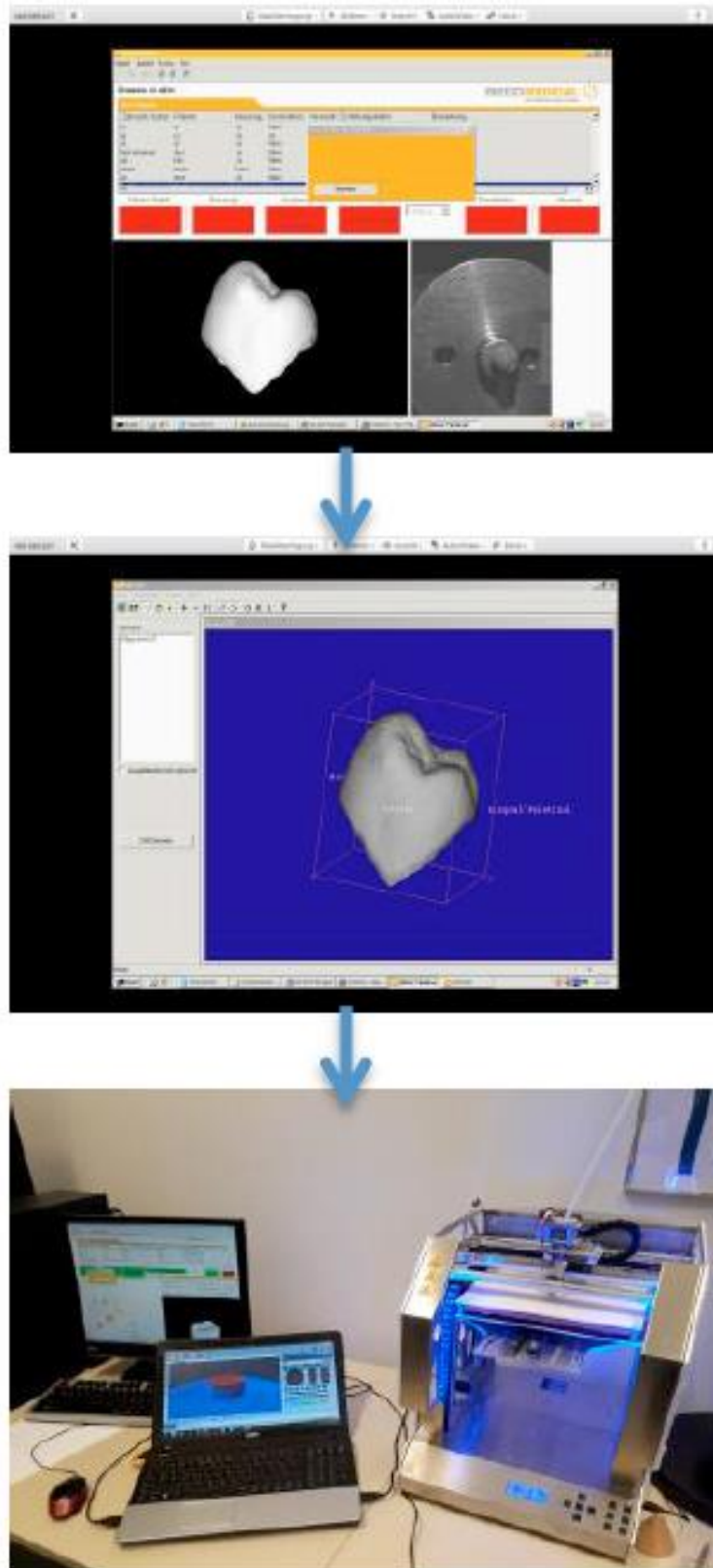


Figura 3.3. Pasos en un proceso de impresión 3D de una superficie compleja de forma libre. De arriba hacia abajo: 1-Digitalización de una superficie de forma libre con un escáner láser 3D. 2-Creación de un modelo CAD 3D. 3-Importar el modelo 3D en formato STL a una impresora 3D. Fuente: "Towards a sophisticated

La **figura 3.4** muestra los pasos seguidos en una impresión 3D de un objeto desde un modelo CAD en 3D. Esta es otra aplicación de la metrología inteligente 3D para optimizar la producción de objetos tridimensionales con geometrías complejas y estructuras muy finas. El modelo de un objeto se crea desde su dibujo técnico, desde un plano, luego se procesa usando modelado en formato STL e imprimiendo en 3D y por último se mide con un equipo metrológico de precisión para completar el proceso y realizar una inspección de calidad.

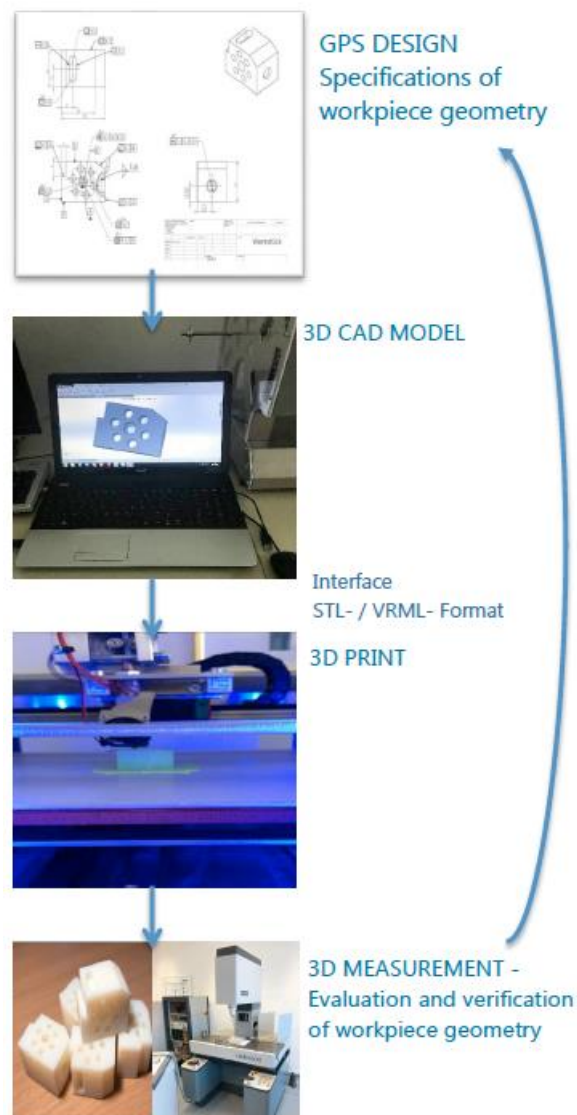


Figura 3.4. Flujo del proceso de control de calidad. De arriba hacia abajo: 1-Diseño y especificaciones de la geometría de la pieza. 2-Modelo CAD 3D. 3- Impresión 3D. 4- Medida 3D, evaluación y verificación de la geometría de la pieza

Hoy en día los sensores que se desarrollan permiten llevar a cabo los cambios en autonomización y mejoran las posibilidades de hacer un marco de referencia de todas las tecnologías que convergen en la industria 4.0. la automatización de la producción en todos los procesos se enfoca en producir 0 residuos y automatización para controlar al 100% las medidas.

Esta tecnología también la usa la empresa española Innovalia Metrology. Cada revolución industrial ha necesitado el desarrollo de herramientas y métodos que han hecho posible dicha revolución. La Industria 4.0 nos da el salto a la digitalización, automatización y virtualización de la industria de fabricación, a través de tecnologías como el digitalizado de piezas. M3 Hybrid, la combinación de Optiscan y M3 Software hacen esto posible. La integración de estas tecnologías con otros sistemas digitales nos lleva a hablar de la digitalización de los procesos.

M3 Hybrid es un sistema resultado de años de experiencia e innovación y es también una oportunidad para simplificar el proceso de medición gracias a M3 Software, un software creado para adquirir y procesar los datos de una manera singular y que gracias a su perfecta adaptación a Optiscan permite realizar copias digitales de las piezas para poder medirlas repetidamente en cualquier lugar o momento, lo que se traduce en el concepto de la metrología digital y aproximando al usuario a la fabricación cero defectos.

El sensor óptico de INNOVALIA METROLOGY, Optiscan, es un sensor inigualable en aplicaciones para piezas de plástico, y nos ofrece grandes innovaciones y mejoras en la precisión y la optimización del tiempo de medición, lo que conlleva una clara mejora del tiempo de ciclo.

M3 Software, software metrológico dimensional multisensor, se ha diseñado para ser utilizado tanto en una planta como en un laboratorio, y gracias a su capacidad en el manejo de nubes de puntos de más de 100 millones, nos permite realizar mediciones de manera rápida y precisa.

M3 Software nos ofrece una totalidad de capacidades metrológicas necesarias para un control exhaustivo de calidad apostando por tecnología innovadora y funcional diseñada para el mercado actual exigente que además de la plenitud de capacidades busca un espacio de trabajo de diseño amigable que sea intuitivo y fácil de manejar.

Sin embargo, cuando hablamos de industria 4.0, los fabricantes esperan que parte del control dimensional de sus piezas se realice en las propias máquinas de mecanizado. Si una máquina tiene la capacidad avanzada de medición incluida en sí misma, y ésta es fácilmente manejable sería todo un sueño para cualquier mecanizador, pues esto contribuye directamente a reducir el número de piezas que se fabrican incorrectamente.

Y es por eso que Innovalia Metrology lleva años desarrollando M3MH. M3MH es un software de medición que permite verificar, realizar el set y medir de forma óptima y sencilla.

Con M3MH, Innovalia Metrology ha permitido la comunicación directa con la máquina herramienta y sus controles desde el mismo software de medición.

M3MH rompe así con el paradigma actual de empaquetar y cobrar funciones y ofrece a la industria un software completo de medición que permite al usuario dirigir la máquina-herramienta desde su propio ordenador, desde un software con una intuitiva interfaz gráfica que permite realizar todas las funciones.

Además de verificar la máquina y realizar la preparación pertinente, M3MH nos ofrece unas capacidades completas de medición que están enfocadas a las necesidades de la máquina-herramienta, entre las que podemos encontrar: programación en CAD, planificación de las mediciones automatizada, alineamientos, la compensación de la herramienta (offset) e informes personalizados.

M3MH nos permite realizar la programación de la medición fuera de línea, conectar con el control de la máquina-herramienta y comunicarle los comandos concretos para realizar la medición programada.

Al realizar una gestión de calidad tan completa durante el proceso, la realimentación es inmediata y nos permite hacer un ajuste continuo de la producción.

En Innovalia Metrology, gracias a M3 Hybrid y M3MH, se ofrecen soluciones de metrología que permiten a la industria dar el salto hacia la digitalización, la automatización y la virtualización, siempre controlando los procesos, las mejoras y apostando siempre por una optimización completa del proceso productivo.

3.11 PROYECTOS EURAMET Y CEM

El CEM, centro español de metrología, ha tenido en el último año, como todo el mundo, un parón causado por el COVID-19, pero que no le ha impedido tener proyectos en desarrollo, de los cuales se pueden señalar varios:

- Uno de los proyectos es el **EMPIR PhotoQuant**, que se centra en investigar la potencia de los sensores cuánticos y fotónicos de resolución alta para desarrollar patrones de temperatura cuánticos y a escala de nanómetros.
- En otro proyecto, el **EMPRESS 2**, se realiza la construcción de termopares nuevos de la familia Pt-Rh que tienen mejor estabilidad a largo plazo; también se han estudiado las medidas para redactar su ecuación de referencia.
- En el área de la metrología cuántica, el CEM participa en **QUITEMAD**, que tiene por objetivo desarrollar las tecnologías cuánticas en Madrid.
- En el proyecto **COMET**, que se comienza este año 2021, se quiere investigar la viabilidad de los diferentes materiales bidimensionales para hacer el efecto Hall cuántico.
- Durante el año 2020 también se ha continuado con un proyecto que estaba inacabado, el **DIG-AC**, donde se quería pasar de la metrología analógica a la digital en corriente alterna.
- El proyecto **VERSICAL** el CEM colabora y tiene el objetivo de medir de manera digital la impedancia.
- Uno de los que más destaca es el **MetroHyVe**, un proyecto energético europeo que consiste en la metrología para el vehículo de hidrógeno.
- Siguiendo en el ámbito nacional, el proyecto **GEREGAS**, que se está llevando a cabo en la universidad de **Valladolid**, se están determinando varias propiedades termofísicas de 8 mezclas de gas natural enriquecido con H₂.
- **IMPRESS 2** es un proyecto que pretende desarrollar una infraestructura para medir la emisión de gases contaminantes clave siguiendo las directivas europeas.
- **ELECTROMASA** quiere redefinir el kilogramo, y para ello está trabajando en una balanza electrostática para que sea un futuro patrón primario.
- **Metrology Cloud** es un proyecto en el que el CEM participa y que tiene por objetivo realizar una plataforma digital donde se reúnen todos los servicios, infraestructuras y bases de datos en relación con la metrología legal a nivel de Europa.

Durante el 6º congreso de metrología los expositores que acudieron fueron Adler, Expomark, Femto, Geometrics, Leyro, Instrumentos Wika S.A.U, Megacal,

MTE, Prima Process Metrology S.L.U y TMC, de los cuales se exponen a continuación algunos de los instrumentos de medida más novedosos.

La empresa Adler proporciona instrumentos de precisión para laboratorios de metrología, como unos medidores de muy baja corriente como el modelo 6430, capaz de resolver 10^{-17} amperios. El nanovoltímetro 2182A se usa para medidas de bajo voltaje o calibración de termopares, gracias a la resolución de 1nV.

La empresa FemtoCal, en el área de la aeronáutica, ofrece desde banco de fuerzas que soportan cargas de compresión y tracción de 2 a 1000N, calibradores de presión para manómetros y transmisores de presión, calibradores de llaves dinamométricas, bombas de presión...En el sector sanitario ofrece balanzas de calibración de pipetas, calibradores de temperatura, presión y masa...

La metrología de los vehículos de hidrógeno 2 es un proyecto fundado por **EMPIR** y que empezó en 2020 y tiene fecha prevista de finalización en 2023. El proyecto continúa el trabajo de MetroHyVe 1 pero que añade objetivos para el testado de impurezas en la célula de combustible hidrógeno.

El cambio climático, la calidad del aire y la dependencia en los combustibles importados de fuentes no renovables requiere del despliegue de alternativas para los combustibles, como el hidrógeno, para llegar a los objetivos del 2050 (cero emisiones del transporte).



Figura 3.12. Recarga de un coche de hidrógeno en una HSR. Fuente: <https://www.sintef.no/projectweb/metrohyve-2/>

Las barreras actuales para la implementación de hidrógeno en el transporte vienen de la Directiva Europea 2014/94/EU y de las recomendaciones de la organización internacional de metrología legal (OIML) que deben ser cumplidas por todas las estaciones de repostaje de hidrógeno europeas (HSR). MetroHyVe 2 añadirá estos asuntos y desarrollará la metrología que hará posible el

hidrógeno como el fuel convencional y apoyará la transición europea de energía. El proyecto será el que introduzca retos en la metrología del flujo de hidrógeno, control de calidad del H₂, muestreo de hidrógeno y testado de las células de combustible. A través de este compromiso con las partes interesadas clave, productores de hidrógeno, operadores de las HRS, fabricantes de coches...en el anterior proyecto, permitió identificar los siguientes retos que debían añadirse para apoyar el despliegue del hidrógeno por Europa:

- Medida del flujo: un flujo preciso del hidrógeno a través de calibración con estándares secundarios.
- Control de calidad del hidrógeno: abastecer materiales de referencia para los laboratorios y que los comparen con ISO 14687 e ISO 21087.
- Ofrecer entradas científicas para el muestreo de hidrógeno desde las HRS.
- Validación de los sensores online para el control de calidad en las HRS.
- Metodología armonizada para la evaluación de los impactos de las impurezas.

En el área de las energías renovables, EURAMET está investigando en un proyecto llamado **Metro-PV** aplicaciones nuevas para la tecnología fotovoltaica. La intención de este proyecto es suministrar una infraestructura metrológica necesaria, técnicas y guiado para acelerar el mercado de las tecnologías fotovoltaicas (PV). La siguiente generación de dispositivos solares con mejor eficiencia de conversión, se van a basar en tecnología PV emergente, como puede ser la perovskita-silicio. Un objetivo de este proyecto es reducir la incertidumbre de calibración de las células, y crear estándares nuevos.

Este proyecto se apoya en el pronóstico de que la gran mayoría de energías se van a basar en el poder solar, y la gran inversión que necesita este proyecto debería ser para la metrología. Las células de perovskita han surgido como una opción de bajo coste, que las organizaciones europeas están buscando comercializar e integrar en edificios, vehículos...

Los objetivos de este proyecto se centran en la trazabilidad y caracterización de las aplicaciones PV, pero más específicamente en:

- Validar y reducir la incertidumbre, la potencia nominal de los dispositivos PV junto con la cadena de calibración acorde con los estándares IEC 60904.
- Determinar las fuentes de incertidumbre relacionadas con la potencia de salida de los módulos PV.

- Definir la calidad métrica para el comportamiento de los módulos PV en localidades sombreadas
- Preparar la clasificación de dispositivos energéticos de cultivo basados en energía PV para usar con IoT, desarrollando métodos trazables para evaluar su desarrollo en condiciones de baja luz y su influencia a diferentes factores.
- Facilitar el 'cimiento' de la tecnología e infraestructura de medida.

El impacto de este proyecto en la metrología, fija unas bases importantes para la metrología y su comunidad, así como para los científicos de PV. Las facilidades mejoradas y procedimientos elaborados por este proyecto harán posible que los laboratorios de calibración, los institutos de investigación ganen competencias en el campo de las emergentes PV y permita trazar medidas conducidas con las menores incertidumbres posibles (2% en lugar de 3%). Además, se pueden prever algunos impactos a mayores:

- Ser un ejemplo para las tecnologías futuras.
- Certificación local de la eficiencia de PV.
- Impulsar el uso de energías renovables en Europa.
- Diseminación de la buena práctica en la metrología y nuevas metodologías de medida para PV en la industria europea que mejorarán la productividad gracias al menor gasto.
- Una metrología PV adecuada, basada en las características, harán posible que los sistemas fotovoltaicos prosperen.

Cambiando de ámbito, otro proyecto de EURAMET es **HEFMAG** (2020), que trata de las pérdidas magnéticas en las hojas de acero eléctricas para conversión de energía. El acero magnético se sigue usando para los motores eléctricos/generadores y transformadores, y en ambos casos las pérdidas de energía ocurren en el ciclo de magnetismo del material, y son significantes. Para llegar a alcanzar la demanda creciente de eficiencia energética, se requieren nuevos métodos para evaluar estas pérdidas. Este proyecto se centra en los siguientes objetivos: métodos para desarrollar y validar las pérdidas magnéticas en las hojas finas de acero; extender la inducción, frecuencia y rangos de temperatura más allá de los estándares IEC 60404; estudiar y modelar las pérdidas de potencia bajo condiciones reales. Además este proyecto apoyará el diseño de nuevos dispositivos electrónicos que más adelante promoverá la Directiva Ecodesign 2009/125/EC.

Según la Directiva de Eficiencia Energética 2012/27/EU de la Comisión Europea (EC), se debe alcanzar una eficiencia del 32.5% para 2030. Hay una

urgencia que presiona a mejorar la eficiencia energética, reducir el consumo y emisiones de CO₂ para cumplir la legislación. Las hojas de acero magnéticas son el corazón de los dispositivos modernos (motores eléctricos, generadores y transformadores) que producen y convierten la energía de fuentes convencionales a fuentes renovables. Por culpa del ciclo de magnetismo de las hojas de acero la energía perdida puede llegar a superar fácilmente el 10%. Es por ello que los fabricantes de acero se están esforzando para fabricar hojas magnéticas no-orientadas (NO) y de grano orientado (GO) de gran eficiencia energética, que mejoren la permeabilidad, y compatibles con altas frecuencias. Para conseguir los objetivos de los estándares hay que tomar en consideración: medidas de las pérdidas magnéticas y modelado bajo condiciones extremas, con altas temperaturas, efectos en la piel y corrientes DC.

Como ya se ha dicho, el objetivo principal es apoyar el desarrollo y caracterización de máquinas electromagnéticas de gran eficiencia, pero existen también unos objetivos específicos:

- Crear y validar una infraestructura metrológica para la determinación de pérdidas de potencia.
- Estudiar un modelo de pérdidas de potencia con láminas en régimen DC-MHz.
- Etc...

El impacto que tiene este proyecto sobre la metrología se puede ver en que los nuevos procesos de medición para pérdidas magnéticas se harán disponibles gracias a las partes interesadas y los usuarios últimos a través de la página web y el repositorio de datos, a través de informes de EURAMET, comités, guías y publicaciones científicas de acceso abierto. Esto hará posible que los laboratorios académicos y de investigación y desarrollo mejoren sus técnicas para medir pérdidas. Las muestras de referencia producidas como resultado de las comparaciones también serán útiles para calibraciones y apoyarán la investigación en este campo. Este proyecto también ofrece caracterización óptica de superficie bajo condiciones dinámicas y de temperatura elevada que no se han estudiado antes, así como estudios de penetración de campo magnético de AC (corriente alterna) en un rango amplio de 50 Hz a 10kHz.

No hay que olvidar que este proyecto también tiene impacto en otros ámbitos. En la industria por ejemplo se hará visible un beneficio en la generación de potencia, en el sector transporte, maquinaria, producción de metal, dando lugar a transformadores y generadores de alta eficiencia, motores de aviación, coches eléctricos y bicicletas...además de nuevos servicios de calibración y medidas suministrados a las empresas europeas. También tiene efecto en la economía y el medio ambiente. Este proyecto ayudará a la caracterización de nuevos productos de acero industrial, ayudando a Europa a mantener y

expandir su clientela; y en cuanto al medio ambiente será un proyecto que ayude a reducir emisiones a la atmósfera.

CAPÍTULO 4. ESTUDIO ECONÓMICO

4.1 Recursos utilizados

Los recursos hardware son:

- Ordenador portátil ASUS ROGSTRIX G531G con 8Gb de RAM.
- Teclado Trust
- Ratón Trust

Los recursos de software son:

- Sistema operativo Windows 10
- Microsoft Power Point
- Microsoft Word
- Acrobat Reader DC

Los recursos clasificados como material de oficina son:

- Papel DIN A4 80 g/m²
- Bolígrafo BIC azul.

4.2 Costes del proyecto

4.2.1 Costes directos

4.2.1.1 Coste de personal

A lo largo de este apartado se consideran las horas trabajadas para la realización del proyecto para poder obtener los costes totales de personal.

Lo primero a considerar es el tiempo que trabaja una persona a lo largo de un año.

Tabla 4.1 Días útiles al año

Concepto	Días
Días anuales totales	365
Día comienzo redacción TFG	20/1/2021
Día fin redacción TFG	30/4/2021
Días entre comienzo y fin	100
Días de descanso	14
Días totales hábiles	86

A los días que finalmente tenemos los multiplicamos por las horas medias trabajadas al día, para conseguir las horas totales trabajadas: 86 días x 8 h/día = **688 h.**

La persona que realiza este proyecto será un Graduado en Ingeniería Mecánica. El coste anual se ve en la siguiente tabla:

Tabla 4.2 Coste total de un trabajador en un año

Concepto	Euros
Sueldo neto e incentivos	30.000
Parte proporcional	6.246,57
Prestaciones a la Seguridad Social	2.750
Coste total	8.996,57

Una vez que tenemos conocimiento de las horas que se van a trabajar y cuanto coste va a tener, calculamos el coste por hora del trabajador. Para ello dividimos el coste total del ingeniero entre el número de horas anuales. $8.996,57 \text{ €} / 688 \text{ horas} = 13,07 \text{ €/h}$.

Para terminar, se deben calcular el número de horas en los que se ha desarrollado el proyecto.

Tabla 4.3 horas empleadas en la realización del proyecto

Concepto	Horas
Planificación	10
Búsqueda de documentos	250
Lectura y traducción	320
Redacción de la memoria	106
Horas totales	686

El coste de personal se obtiene multiplicando las horas totales que se han empleado en este proyecto por el coste de las horas de trabajo: $686 \text{ horas} \times 13,07 \text{ €/h} = 8.970,42 \text{ €}$

4.2.1.2 Coste de material amortizable

Para calcular los costes del material amortizable, se considerará un coste actual y la amortización lineal de un número de años de amortización n que dependerán del material que estemos tratando. Como material amortizable nos referimos básicamente a equipos informáticos y software. Dado que la mayoría de estos aparatos se quedan obsoletos aproximadamente en el mismo tiempo que se produce la amortización, no se considerará valor residual. Además se tendrá en cuenta el número de horas que se trabajará con cada uno de los equipos.

También se tendrá en cuenta, en el precio de los ordenadores las licencias del sistema operativo (Windows 7 y XP) y el paquete ofimático (Microsoft Office

2010), ya que están instalados y se han utilizado para la ejecución de este proyecto.

Como ya se ha redactado antes, el equipo empleado ha sido un ordenador portátil junto con un teclado y un ratón.

El resultado se consigue dividiendo los euros entre los años de amortización, los días que se trabaja en el año y las horas diarias empleadas. Después se multiplica ese resultado por el número de horas totales empleadas.

Tabla 4.4 Coste del material amortizable

Concepto	Euros	Años	Días	Horas diarias	Horas dedicadas	Coste final
Ordenador portátil ASUS ROG STRIX G531G 8 Gb de RAM	800	5	181	6	1086	160
Ratón Trust	5	3	181	6	1086	1,67
Teclado Trust	15	3	181	6	1086	4,24
Total	820					165,91

Por tanto, el coste de la amortización asciende a: **165,92 €**

4.2.1.4 Coste de material no amortizable

El coste de material no amortizable se refleja en la siguiente tabla. Los conceptos relacionados son los de los materiales necesarios para el desarrollo del proyecto.

Tabla 4.5 Coste del material no amortizable

Concepto	Euros
Papel DIN A4 80 g/m ²	4
Bolígrafo	0,9
Total sin IVA	4,9
IVA 21%	1,03
Total IVA incluido	5,93

Resumiendo, los costes de material no amortizable son **5,93 €**

4.2.2 Costes indirectos

Este tipo de costes se refieren a gastos que son imprescindibles en la realización del proyecto, pero que no se pueden añadir a ninguno de los apartados anteriores.

A continuación, se muestra los gastos indirectos de éste proyecto:

Tabla 4.6 Costes indirectos

Concepto	Euros
Consumo de electricidad de los equipos	500
Calefacción	180
Iluminación	100
Total	780

Los costes indirectos son **780 €**

4.3 Coste total del proyecto

Una vez que hemos calculado, tanto los costes directos como los indirectos, sumaremos los dos para ver cuál es el coste total del proyecto.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los costes:

Concepto	Euros
Total costes directos	9.142,25
Total costes indirectos	780
Total	9922,25

El coste total del proyecto son NUEVE MIL NOVECIENTOS VEINTIDOS CON VEINTICINCO EUROS, 9.922,25 €

CONCLUSIONES

- La metrología es una rama de la ciencia que muchas veces pasa desapercibida y en realidad es la base de todo cuanto nos rodea. Es una materia que cobra más importancia si cabe cuando implica vidas humanas. Como hemos visto en dos proyectos relacionados con la medicina, la detección de enfermedades de manera prematura puede ayudar a salvar vidas de manera colosal. No hay que olvidar por supuesto el resto de proyectos y avances que nos favorecen a todos, como el MetroHyVe, que estudia la metrología del coche de hidrógeno y que sería una gran noticia que se desarrolle con todas las implicaciones que ello conllevaría.
- El desarrollo de nuevas tecnologías en metrología ayuda al ahorro de tiempo y mejora la calidad general en nuestro día a día. El ejemplo está en la calibración sin contacto, que ahorra el transporte de los materiales y de las personas implicadas. Además, con la aplicación de los principios de la industria 4.0 se puede extender este ahorro de tiempo al resto de ámbitos industriales.
- Las implicaciones que puede tener la conexión de una industria con un sistema “in-line” como se ha visto, puede ser un avance muy bueno para la propia empresa. El hecho de tener todos los datos de un proceso productivo almacenado y al alcance de la mano al mismo tiempo puede facilitar su consulta y agilizar los procesos.
- Es una gran ventaja haber podido formar parte de un proyecto relacionado con la “Metrología 4.0” como puede ser la estación climática, ya que entramos en contacto con los avances tecnológicos y con la Industria 4.0 desde nuestra formación como futuros ingenieros.
- Como predijeron los expertos que redactaron el futuro de la metrología, en esta ola 4.0 no toda la tecnología tiene por qué ser novedosa, sino que la novedad está en la mezcla de las tecnologías que ya existían anteriormente. La mezcla de un sensor y un actuador para comprobar la distancia de una plataforma a una pieza a inspeccionar puede servirnos de ejemplo (plataforma nanométrica), además de usar un robot como posicionamiento.
- A pesar de la situación tan complicada que hemos vivido en el año 2020, la metrología y sus proyectos no han parado. Como hemos visto, el CEM y EURAMET han iniciado proyectos de lo más variopintos.
- Es cada vez más importante la formación de los empleados y de las personas relacionadas con las tecnologías nuevas, pues las que nos rodean, no solo a nivel de usuarios, sino a nivel de ingenieros, pueden llevar a desconocimiento. Esto también es necesario en otros campos como en la agricultura, donde tanto los programadores como los

agricultores deben formarse más en el otro campo para evitar confusiones y agilizar los procesos.

- Revisando los objetivos, ciertamente se han cumplido en toda la medida de lo posible. El objetivo general era informar de cómo afecta el concepto de la Industria 4.0 en la metrología, y así lo he intentado transmitir. Después de ver los conceptos de la Industria 4.0 en general, describí cómo se esperaba que se desarrollase la metrología, con su rapidez, fiabilidad, precisión...y después de eso y más específicamente describí algunos de los proyectos y avances relacionados en el campo de esta materia, tanto a nivel industrial como en otros campos (metrología forense, medicina, académico...) cubriendo así los objetivos específicos.
- Es complicado resumir en un trabajo todos los avances metrológicos que surgen día sí y día también. Por ello desde la aparición del concepto “Industria 4.0” hasta hoy he escogido los que más convenientes me ha parecido, ya que el campo de la metrología es sin duda muy amplio.

LÍNEAS FUTURAS

Este trabajo no acaba aquí. La intención no es simplemente presentar algunas de las tecnologías de la industria 4.0 relacionadas con la metrología, sino que va más allá. Espero que este trabajo sirva como punto de referencia para futuros lectores, ya sean estudiantes, profesores, empleados de la industria o simplemente aficionados a la metrología. Se puede ampliar este proyecto de varias maneras:

- Investigar más a fondo las nuevas tecnologías de la Industria 4.0. La impresión 3D y 4D, la realidad aumentada, la inteligencia artificial, la robótica...cada vez estarán más conectadas unas con otras gracias a las tecnologías de conexión, y se podría hacer un estudio de la viabilidad de una industria sin humanos, es decir, una industria autónoma.
- Investigar tecnologías propiamente de la metrología, ya que dada la gran cantidad de aplicaciones que hay de la metrología en los diferentes proyectos y de nuevas tecnologías, en este trabajo sólo se incluyen algunas de ellas.

