UNITED NATIONS
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

INFRAESTRUCTURA DE CALIDAD INTELIGENTE

forjando un futuro sostenible

UNITED NATIONS
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION

INFRAESTRUCTURA DE CALIDAD INTELIGENTE

forjando un futuro sostenible

AGRADECIMIENTOS

La Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) preparó esta publicación bajo la dirección general de Bernardo Calzadilla Sarmiento, Director de la División de Producción Justa, Normas de Sostenibilidad y Comercio. Dorina Nati y Rebeca Gallardo Gómez, ONUDI, coordinaron los aportes técnicos.

La publicación se basa en el trabajo de Daniele Gerundino, Nigel Croft y Leopoldo Colombo. El documento fue revisado por sus pares Sean Mac Curtain y Bart Slob, y se benefició enormemente de los comentarios constructivos recibidos de Mara Rolando, ISO. Reconocemos la valiosa contribución y el apoyo de varios miembros del equipo central de ONUDI: Juan Pablo Dávila, David Tomlinson y Freya Gruenberg.

Brigitt Roveti editó el documento y Radhika Nathwani lo diseñó.

Esta publicación fue financiada por ONUDI y por Suiza a través de la Secretaría de Estado para Asuntos Económicos (SECO) y el Programa Global de Calidad y Estándares (GQSP).

DESCARGO DE RESPONSABILIDAD

Copyright © 2022 Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial.

Este documento ha sido elaborado sin la edición oficial de las Naciones Unidas. Las designaciones y la presentación del material en este documento no implican la expresión de opinión alguna por parte de la Secretaría de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) con respecto al estatus legal de todo país, territorio, ciudad o área de sus autoridades, o sobre la delimitación de sus fronteras o límites, o sobre su sistema económico o grado de desarrollo. Designaciones como “desarrollado”, “industrializado” y “en desarrollo” tienen por objeto la conveniencia estadística y no expresan necesariamente un juicio sobre la etapa alcanzada por un país o área en particular en el proceso de desarrollo. La mención de nombres de empresas o productos comerciales no constituye un respaldo por parte de la ONUDI. Aunque se ha tenido mucho cuidado para mantener la precisión de la información presentada, ni la ONUDI ni sus estados miembros asumen ninguna responsabilidad por las consecuencias que puedan derivarse del uso del material. Este documento se puede citar o reimprimir libremente, pero se solicita reconocimiento. Para referencia y cita utilice: Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial. 2022. Infraestructura de Calidad Inteligente para la Sostenibilidad. Viena, Austria.

CONTENIDO

PRÓLOGO 9

RESUMEN EJECUTIVO 10

LISTA DE ACRÓNIMOS 12

1. TRES REVOLUCIONES INDUSTRIALES Y UNA INFRAESTRUCTURA EMERGENTE 14

1.1 LA 1ª Y 2ª REVOLUCIONES INDUSTRIALES 14

1.2 EVOLUCIÓN CONSTANTE EN EL TIEMPO ENTRE EL SRI Y TRI 16

1.3 LA TRI MARCÓ UN MOMENTO DE CAMBIO IMPORTANTE 17

2. NUEVAS FRONTERAS DEL DESARROLLO INDUSTRIAL 18

2.1 EL PAPEL DISRUPTIVO DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES 18

2.1.1 LA INFORMATIZACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN LOGRARON AVANCES 18

2.1.2 EVOLUCIÓN Y DIFUSIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE LAS TELECOMUNICACIONES 20

2.2 EL ASCENSO DE LA 4RI 22

2.3 ABORDAR EL IMPERATIVO DE SOSTENIBILIDAD A TRAVÉS DE LA 4RI 23

3. IC INTELIGENTE APOYANDO LA INNOVACIÓN Y SOSTENIBILIDAD 30

3.1 TECNOLOGÍAS AVANZADAS DE PRODUCCIÓN DIGITAL DE LA INDUSTRIA 4.0 30

3.2 LA 4RI Y LA INDUSTRIA 4.0 IMPACTAN EN IC INTELIGENTE 33

3.2.1 LA TRANSICIÓN DE LA IC HACIA PROCESOS INNOVADORES Y SERVICIOS DE IC INTELIGENTE 34

3.3 CONTRIBUCIONES CLAVE DE IC INTELIGENTE A LA 4RI 39

3.4 LA IC INTELIGENTE Y SU CONTRIBUCIÓN A LA SOSTENIBILIDAD 40

4. PERSPECTIVAS DE FUTURO PARA LA IC CON RESPECTO A INDUSTRIA 4.0 Y 4RI 44

5. CALIDAD INTELIGENTE 46

5.1 CALIDAD INTELIGENTE EN LAS EMPRESAS 46

5.1.1 DEFINICIÓN DE "CALIDAD INTELIGENTE" 46
5.1.2 EL ROL DE LA GESTIÓN DE CALIDAD EN LA CALIDAD INTELIGENTE 46
5.1.3 TENDENCIAS QUE IMPULSAN LA CALIDAD INTELIGENTE 47
5.2 CALIDAD INTELIGENTE E INDUSTRIA 4.0 MANO A MANO 47
5.3 DIGITALIZACIÓN Y CALIDAD INTELIGENTE 48
5.4 HERRAMIENTAS DE CALIDAD INTELIGENTE PARA PROCESOS TÍPICOS DE SISTEMAS DE GESTIÓN DE CALIDAD (SGC) 49

6. CALIDAD INTELIGENTE EN LA CADENA DE SUMINISTRO 56
6.1 DE EMPRESAS A CADENAS DE SUMINISTRO A CADENAS DE VALOR INTELIGENTES 58
6.1.1 CADENA DE SUMINISTRO 58
6.1.2 CADENA DE VALOR 58
6.1.3 CADENA DE VALOR VS. CADENA DE SUMINISTRO 59
6.1.4 CADENA DE VALOR INTELIGENTE 59
6.2 DIGITALIZACIÓN Y SG EN CADENAS DE VALOR INTELIGENTES 61
6.2.1 OTRAS TECNOLOGÍAS QUE AFECTAN LA GESTIÓN DE LA CALIDAD 68
6.3 CAMBIOS PARA EL PROFESIONAL DE GESTIÓN DE CALIDAD 70

7. TENDENCIAS FUTURAS PARA LA IC INTELIGENTE 73
7.1 CALIDAD INTELIGENTE EN LAS EMPRESAS 73
7.2 GESTIÓN DE CALIDAD Y PRODUCCIÓN INTELIGENTE EN CADENAS DE VALOR INTELIGENTES EN PAÍSES EN DESARROLLO 74
7.3 TENDENCIAS FUTURAS EN LA CADENA DE VALOR INTELIGENTE 74
7.4 CADENAS DE VALOR INTELIGENTES EN PAÍSES EN DESARROLLO 75

8. CONCLUSIONES 78

ANEXO 1 DOS CASOS PARA RESALTAR EL PAPEL CLAVE DE LA ESTANDARIZACIÓN 80

ANEXO 2 DOS CASOS PARA DESTACAR LOS DESARROLLOS EN TORNO A LA CALIDAD Y LA LOGÍSTICA 84

ANEXO 3 UNA DICOTOMÍA FUNDAMENTAL QUE ENFRENTAN LAS ORGANIZACIONES DE DESARROLLO DE ESTÁNDARES 86

PRÓLOGO

En el siglo XVIII, la fabricación moderna llegó a Europa con la primera revolución industrial. Desde entonces, la transformación industrial ha estado profundamente entrelazada con el establecimiento y la evolución de lo que llamamos "infraestructura de calidad" (IC), con la metrología y la estandarización como base fundamental. La IC es el sistema que asegura la calidad, seguridad y sostenibilidad ambiental de los bienes, servicios y procesos.

Con el tiempo, esta relación simbiótica se fortaleció y expandió, apoyando e influyendo en el desarrollo industrial. Hoy en día, la industria se encuentra en un punto de inflexión con fuerzas fenomenales que transforman el sector impulsado por la digitalización, nuevos patrones de globalización, mercados que cambian rápidamente, las preferencias de los consumidores y el imperativo de la sostenibilidad social y ambiental.

Una nueva revolución industrial se está desarrollando de una manera tan profunda que probablemente superará la escala y el impacto de las anteriores. La publicación de ONUDI "Reinicio de la infraestructura de calidad para un futuro sostenible" proporciona información sobre cómo la IC apoya el logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). La presente publicación destaca la íntima relación entre la industria y la IC y cómo ha evolucionado con el tiempo, con miras a presentar las tendencias y desafíos actuales y también brindar indicaciones para el desarrollo futuro. Aborda el tema desde dos perspectivas:

- Cómo la transformación digital está rediseñando la IC en lo que ahora llamamos " IC Inteligente" y "Calidad Inteligente".

- Cómo la IC está haciendo posible la cuarta revolución industrial y cómo contribuye y asegura que esta se alinee con el paradigma de la sostenibilidad social y ambiental.

Durante más de 50 años, ONUDI ha estado apoyando el desarrollo de IC para mejorar el desempeño industrial y económico de los países en desarrollo. Para que la IC sea eficaz y sostenible, la IC debe avanzar rápidamente, respaldada por un desarrollo sostenible.

Necesitamos fortalecer y expandir las instituciones de IC para ayudar a los consumidores a tomar decisiones informadas, alentar la innovación y para que las empresas e industrias líderes adopten prácticas de producción justas mediante tecnologías sostenibles.

Espero que esta publicación ayude a promover la "IC Inteligente" y muestre cómo puede apoyar la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, particularmente en los países en desarrollo. Esta publicación muestra que tenemos la solución para impulsar el "progreso mediante la innovación" y lograr un desarrollo sostenible.

Gerd Müller,

Director General
ONUDI

RESUMEN EJECUTIVO

INTRODUCCIÓN

El mundo ha experimentado tres revoluciones industriales con una cuarta en curso y una quinta en el horizonte. Estas transformaciones han traído cambios importantes en la forma en que trabajamos y vivimos y también en la forma en que funciona la industria. Estos cambios han desafiado no solo a la industria, sino también a la infraestructura de calidad (IC), que ha tenido que responder y adaptarse de una manera que asegure que se materialicen los beneficios de la transformación actual. La publicación también explora cómo la gestión de calidad (GC) están innovando en respuesta a los desafíos de la digitalización y de la Industria 4.0.

LAS TRES PRIMERAS REVOLUCIONES

Esta publicación hace un breve repaso de las tres últimas revoluciones industriales. Cada una de ellas ha dado lugar a nuevas tecnologías e invenciones, que nos impulsaron aún más por la senda de la industrialización. Con estos cambios llegaron las primeras actividades de seguimiento y control que indicaban el surgimiento de la infraestructura de la calidad.

Durante la segunda y tercera revoluciones industriales (SRI y TRI) hubo importantes desarrollos en la infraestructura crítica global con el surgimiento de sectores clave como la electrificación, los ferrocarriles, el sistema de telégrafo y las redes telefónicas. Las Guerras Mundiales dieron lugar a la fabricación en masa y a las líneas de montaje modernas. La infraestructura de calidad evolucionó de forma paralela en respuesta a las exigencias de estas transformaciones. La metrología vio la introducción de la Convención del Metro y la adopción del sistema métrico. La evaluación de la conformidad se centró inicialmente en la prueba y la inspección como reflejo de los riesgos asociados con la fabricación de recipientes a presión y calderas.

La electrificación, redes telefónicas, automóviles e infraestructura vial posteriores a la Segunda Guerra Mundial experimentaron un crecimiento exponencial. El aumento en la actividad económica elevó la necesidad de la IC de adaptarse y adecuarse a las nuevas necesidades de la industria.

Indiscutiblemente, el desarrollo más importante de la TRI fue la llegada de las tecnologías de la información, incluidas las primeras computadoras personales. Con esta espectacular evolución de la tecnología surgieron problemas de incompatibilidad de equipos, software y datos. Estas incompatibilidades impedían que la industria maximizara los beneficios de las nuevas tecnologías. La difusión de la tecnología inalámbrica con la progresión del sector móvil (teléfonos móviles y tabletas) supuso, en el mismo período, un cambio significativo que dio como resultado los teléfonos inteligentes que tenemos hoy. Este uso de las tecnologías de la información y comunicación nos brindó los motores de búsqueda, redes sociales, comercio electrónico y medios digitales.

LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

La cuarta revolución industrial (4RI) dio lugar a la explosión de la digitalización y las nuevas tecnologías. La producción digital fue impulsada por estas tecnologías digitales avanzadas, tales como el Internet industrial de las cosas (IIoT), big data y análisis, robótica avanzada, inteligencia artificial (IA) y aprendizaje automático (AA), computación en la nube y fabricación aditiva (impresión 3D). Las tecnologías digitales avanzadas trajeron una transformación radical de la industria y específicamente de la fabricación.

IMPERATIVO DE SOSTENIBILIDAD

La tierra no puede sostener el nivel actual de producción indefinidamente a menos que algo cambie. El mundo necesitaba un nuevo modelo de industrialización y el desarrollo de infraestructura que permita conservar la tierra para las generaciones futuras y de ahí nació el imperativo de la sostenibilidad. El imperativo de la sostenibilidad es desvincular el crecimiento

económico del uso de energía y recursos materiales. En los últimos tiempos, las consideraciones impulsadas por la responsabilidad social en torno a la inclusión, representación, accesibilidad y trabajo decente, entre otros, también han ganado impulso en la discusión de los efectos y usos de la 4RI y las tecnologías e innovaciones asociadas. Esta publicación examina cómo la 4RI aborda el imperativo de sostenibilidad social y ambiental y cómo una " IC Inteligente" puede contribuir a la innovación y la sostenibilidad. La 4RI también apoya una economía más justa y circular que, a su vez, respalda la sostenibilidad y tiene el potencial de corregir las desigualdades sociales.

INFRAESTRUCTURA DE CALIDAD INTELIGENTE

El advenimiento de las "tecnologías digitales avanzadas" abrió nuevas oportunidades para la IC y sus organizaciones. Asimismo, las necesidades de la 4RI en materia de IC están redefiniendo la noción de "calidad". Esto está dando lugar a la transformación de la IC en una "Infraestructura de Calidad Inteligente" (IC Inteligente) y más flexible. Este documento explora las adaptaciones y cambios en cada uno de los principales componentes del la IC Inteligente (Metrología Inteligente, Estandarización Inteligente, Evaluación De Conformidad Inteligente, Acreditación Inteligente).

CALIDAD INTELIGENTE

La publicación también aborda el impacto que la digitalización en la calidad no solo a nivel de empresa sino también en la cadena de suministro. La integración de estas nuevas tecnologías ejerce una presión importante sobre la gestión de calidad de la cadena de suministro y la obliga no solo a seguir el ritmo de la digitalización sino también a innovar. La calidad que responde a los desafíos de las nuevas tecnologías se conoce como "calidad Inteligente". La publicación identifica las tecnologías avanzadas que se pueden utilizar para cada uno de los procesos del sistema de gestión de la calidad, desde la gestión estratégica hasta la gestión de riesgos, los procesos de marketing y atención al cliente, producción y prestación de servicios, mantenimiento, supervisión, medición y resolución de problemas.

CALIDAD INTELIGENTE EN LA CADENA DE SUMINISTRO

La publicación aborda la diferencia entre las cadenas de suministro y cadenas de valor y el impacto de las tecnologías avanzadas en ambas. La digitalización junto con las cadenas de valor inteligentes y sostenibles ha facilitado el concepto de fabricación inteligente y fábrica inteligente. Las partes interesadas de la cadena de valor inteligente deben revisar las funciones de gobernanza y calidad en sus estructuras, y actualizar e integrar el sistema de gestión de calidad en toda la empresa para facilitar procesos mejorados de gestión de calidad en la cadena de suministro de varios niveles.

PAPEL DEL PROFESIONAL DE LA CALIDAD

Los profesionales de GC deberán adaptarse para respaldar la transformación digital, ayudando a las empresas a diseñar y rediseñar sistemas y procesos, a traducir el big data en valor real en términos de prevención de fallas y a la resolución de problemas complejos. La publicación identifica las habilidades que necesitarán los profesionales de calidad en el futuro.

TENDENCIAS FUTURAS EN LA CADENA DE VALOR INTELIGENTE

Predecir lo que depara el futuro es difícil, ya que la velocidad del cambio probablemente será cada vez mayor a medida que la tecnología se adapte y cambie. No obstante, el documento identifica y discute posibles tendencias para el futuro.

LISTA DE ACRÓNIMOS

44RI	Cuarta Revolución Industrial
AA	Aprendizaje automático
ACB	Organismo de Certificación Acreditado (por sus siglas en inglés)
AM	Fabricación aditiva (por sus siglas en inglés)
API	Interfaces de programación de aplicaciones (por sus siglas en inglés)
ASTM	Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales (por sus siglas en inglés)
B2B	Business to Business (por sus siglas en inglés)
B2C	Business to Consumer (por sus siglas en inglés)
BIPM	Oficina Internacional de Pesas y Medidas (por sus siglas en francés)
C2C	Consumer to Consumer (por sus siglas en inglés)
CAD	Diseño asistido por computadora (por sus siglas en inglés)
CAM	Fabricación asistida por ordenador (por sus siglas en inglés)
CB	Organismo de Certificación (por sus siglas en inglés)
CEN	Comité Europeo de Estandarización (por sus siglas en inglés)
CENELEC	Comité Electrotécnico Europeo de Estandarización (por sus siglas en inglés)
CGMP	Conferencia General de Pesos y Medidas
CIPM	Comité Internacional de Pesos y Medidas
CPS	Sistemas Ciber Físicos (por sus siglas en inglés)
CR	Riesgo crediticio financiero (por sus siglas en inglés)
DLT	Tecnología de Contabilidad Distribuida (por sus siglas en inglés)
DoE	Diseño de experimentos (por sus siglas en inglés)
EC	Evaluación de conformidad
EOL	Fin de vida (por sus siglas en inglés)
EPP	Equipo de Protección Personal
EE.UU.	Estados Unidos de Norteamérica
FMEA	Análisis modal de fallos y efectos (por sus siglas en inglés)
G2C	Government to Citizen (por sus siglas en inglés)
GEI	Gas de efecto invernadero
GPU	Unidad de Procesamiento de Gráficos (por sus siglas en inglés)
GSM	Sistema Global para Comunicaciones Móviles (por sus siglas en inglés)
IA	Inteligencia Artificial
IC	Infraestructura de calidad
I+D	Investigación y Desarrollo
IEC	Comisión Electrotécnica Internacional (por sus siglas en inglés)
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (por sus siglas en inglés)
IIoT	Internet Industrial de las Cosas (por sus siglas en inglés)

IMT	Telecomunicaciones Móviles Internacionales (por sus siglas en inglés)
IoE	Internet de Todo (por sus siglas en inglés)
IoT	Internet de las cosas (por sus siglas en inglés)
ISO	Organización Internacional de Normalización (por sus siglas en inglés)
ITU	Unión Internacional de Telecomunicaciones (por sus siglas en inglés)
KPI	Indicador clave de rendimiento (por sus siglas en inglés)
MPEG	Codificación de imágenes en movimiento y audio (por sus siglas en inglés)
ODE	Organizaciones de Desarrollo de Estándares
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
OEC	Organismo de Evaluación de la Conformidad
OEM	Fabricante de equipos originales (por sus siglas en inglés)
OMC	Organización Mundial del Comercio
ONUDI	Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial
PDCA	Planificar-Hacer-Verificar-Actuar (por sus siglas en inglés)
PIC	Pruebas, Inspección, Certificación
PLC	Controlador lógico programable (por sus siglas en inglés)
PRI	Primera Revolución Industrial
QFD	Despliegue de la Función de Calidad (por sus siglas en inglés)
QM	Gestión de Calidad (por sus siglas en inglés)
QMS	Sistema de Gestión de Calidad (por sus siglas en inglés)
RA	Realidad Aumentada
RV	Realidad Virtual
SI	Sistema Internacional de Unidades
SC	Cadena de suministro (por sus siglas en inglés)
SPC	Control estadístico de procesos (por sus siglas en inglés)
SRI	Segunda Revolución Industrial
SVC	Cadena de valor inteligente (por sus siglas en inglés)
TBT	Obstáculos Técnicos al Comercio (por sus siglas en inglés)
TC	Comité técnico (por sus siglas en inglés)
TI	Tecnologías de la Información
TIC	Tecnologías de la Información y las Comunicaciones
TPM	Mantenimiento Productivo Total (por sus siglas en inglés)
TRI	Tercera Revolución Industrial
TÜV	Asociaciones de Inspección Técnica (por sus siglas en alemán)
VC	Cadena de valor (por sus siglas en inglés)
XML	Lenguaje de Marcado Extensible

1. Tres Revoluciones Industriales y una Infraestructura Emergente

La industria moderna ha evolucionado a lo largo de casi tres siglos, experimentando cambios importantes vinculados a factores tecnológicos, organizativos y económicos. Se pueden identificar tres "revoluciones" o transformaciones principales de la industria durante este largo período, con una cuarta en proceso y una quinta en el horizonte. Las transformaciones industriales casi siempre van acompañadas de cambios importantes en la forma en que hacemos las cosas y vivimos, y las tres primeras transformaciones no fueron una excepción.

No profundizaremos demasiado en la historia de los vínculos entre las revoluciones industriales y la infraestructura de la calidad (IC), sino que prepararemos el escenario para nuestro punto focal, la relación entre la cuarta revolución industrial (4RI) y la IC. Examinaremos cómo las nuevas tecnologías de digitalización e Industria 4.0 están impactando en la IC y la calidad, lo que permite que ambos se vuelvan más receptivos e inteligentes.

Comenzaremos nuestro viaje con una breve mirada a la primera y segunda revolución industrial.

1.1 LA 1ª Y 2ª REVOLUCIONES INDUSTRIALES

La primera revolución industrial (PRI) comenzó en el Reino Unido y se extendió a Europa y Estados Unidos durante la primera mitad del siglo XIX. El elemento principal y más importante de la PRI fue la invención de la máquina de vapor. La energía de vapor y combustibles fósiles se utilizaron para proporcionar una cantidad de energía sin precedentes en apoyo de las actividades humanas. Otros logros importantes de la PRI se relacionaron con las mejoras en la minería y metalurgia y, lo que es más importante desde nuestra perspectiva, la transformación de la fabricación en producción a partir de piezas intercambiables.

La producción a partir de piezas intercambiables trajo beneficios extraordinarios, como la facilidad de montaje y reparación de los productos, la especialización y la competencia entre los productores, todo lo cual condujo a la reducción de costos y aumento de la calidad. Tomó décadas de esfuerzo e inventores destacados para establecer la fabricación en base a piezas intercambiables. Sin embargo, también destapó multitud de problemas por abordar:

- Necesidad de mediciones precisas y confiables de materiales, partes de productos y varios aspectos de los procesos industriales.
- Especificaciones sobre la calidad de materiales y piezas (por ejemplo, tolerancias y dimensiones).
- Cómo garantizar la compatibilidad/usabilidad de los productos.
- Cómo garantizar la seguridad e idoneidad de los productos finales.

Los componentes de IC surgieron y evolucionaron para brindar soluciones a estos problemas.

El desarrollo de la industria, descrito anteriormente, dio un giro con la segunda revolución industrial (SRI), que condujo a la transformación de las economías y sociedades de lo que hoy se conoce como "países industrializados".

La SRI cubre un marco temporal que comienza en la segunda mitad del siglo XIX y finaliza al inicio de la Primera Guerra Mundial. Podemos identificar cuatro elementos esenciales:

- Innovación tecnológica.
- Cambios en los modos de producción y estructuras organizativas.
- Desarrollo de infraestructuras críticas para la industrialización.
- Surgimiento y consolidación de la IC moderna como elemento facilitador clave de la industrialización.

Innovación tecnológica

La innovación e invención tuvieron un impacto extraordinario en el desarrollo económico y la transformación de la sociedad durante la SRI. Un aspecto clave de la innovación tecnológica era la relación entre ciencia y tecnología.[1]

[1] Joel Mokyr (1990) La Palanca de la Riqueza: Creatividad Tecnológica y Progreso Económico.

Este período estuvo marcado por una serie de "invenciones" fundamentales en una variedad de campos, como la energía, química, metalurgia, agricultura y producción de alimentos y medicina, lo que resultó en el desarrollo de casi todas las industrias modernas.

Cambios en los modos de producción y estructuras organizativas de las empresas

La producción a partir de piezas intercambiables permitió aumentar sustancialmente la productividad y la producción. Este potencial fue capturado mediante la creación de nuevos procesos en base a una "definición y especialización sistemática" de las tareas de producción, junto con actividades de seguimiento y control - lo que se definió como "gestión científica". Estas innovaciones dieron origen a la fabricación en masa moderna con el desarrollo de la línea de montaje y otras infraestructuras críticas para la industrialización.

Las actividades ferroviarias fueron el primer ejemplo de organización obligada a introducir estructuras administrativas y organizacionales para gestionar la complejidad de las tareas involucradas en el funcionamiento de un negocio tan grande y diverso. Estos incluían departamentos especializados con responsabilidades definidas, cadenas de mando y sistemas detallados de informes e inspección. Este modelo finalmente condujo al establecimiento de grandes empresas dominantes en casi todos los sectores e industrias estadounidenses.

Desarrollo de infraestructuras críticas incluyendo la IC

Durante la SRI se establecieron infraestructuras clave como el transporte, la electrificación y las telecomunicaciones. Sistemas como el ferrocarril nacional, la red de telégrafos y la infraestructura eléctrica implicaban un alto nivel de complejidad. Dichos sistemas requerían una gran coordinación que fue proporcionada por la dinámica del mercado (y legal), por estándares voluntarios, instituciones gubernamentales y organizaciones intergubernamentales.

Este período también fue testigo de la consolidación de la metrología, estandarización y evaluación de la conformidad (EC) como los principales componentes de la IC moderna.

La adopción del sistema métrico fue ratificada, en metrología, a través de un tratado internacional, el Convenio del Metro (en 1875) firmado originalmente por 17 países, y aumentado, el 19 de enero de 2021, a 63 Estados Miembros y 39 Estados y Economías Asociadas. El tratado estableció las instituciones[2] que hasta el día de hoy gestionan la metrología internacional y proporcionan un marco sólido para la medición a nivel internacional, proporcionando una base indispensable para el desarrollo científico y técnico y para las actividades económicas.

Las empresas que producían bienes utilizando máquinas y nuevas fuentes de energía tenían que estructurar y gestionar sus procesos internos mediante la introducción de normas internas en base a mediciones precisas. Esto era vital para la producción de piezas intercambiables hechas a máquina, ya que se necesitaban especificaciones precisas de dimensiones, tolerancias y otros aspectos de rendimiento para ensamblar o reparar productos, y para garantizar la seguridad, durabilidad y confiabilidad de los productos.

Estos nuevos procesos incorporaron calidad en cada pieza producida y a lo largo de la línea de montaje, asegurando la calidad, identificando artículos defectuosos y verificando que las piezas cumplieran con las especificaciones. Todo esto dio lugar a nuevos roles en el proceso de fabricación (por ejemplo, el rol de inspectores).

La búsqueda de la eficiencia, las economías de escala y la competencia abrieron los mercados de materiales y piezas de productos. Se hizo evidente que los estándares individuales de cada compañía obstaculizaban el desarrollo del mercado y se requerían "especificaciones comunes" (o normas). La estandarización se convirtió en un aspecto esencial para la evolución de las empresas en su búsqueda de economías de escala y una amplia cobertura de mercado. Algo similar sucedió con la EC y la inspección, que comenzaban a desempeñar un papel en las industrias manufactureras.

El **Anexo 1** presenta dos casos que destacan el papel clave de la estandarización. El primer caso se refiere a los ferrocarriles de EE. UU. y comprende una combinación de cuestiones técnicas y comerciales y la necesidad de consenso entre las diferentes partes interesadas. El segundo caso describe los orígenes de la EC.

1.2 EVOLUCIÓN CONSTANTE EN EL TIEMPO ENTRE LA SRI Y TRI

La SRI sentó las bases para el extraordinario desarrollo de la industria, por ejemplo, el caso de la electrificación y el desarrollo de las redes telefónicas. Todos los componentes de estas dos infraestructuras clave se inventaron, refinaron

[2] Para obtener más detalles, consulte el sitio web de la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM) https://www.bipm.org/en/

e implementaron durante la SRI, junto con los modelos comerciales necesarios para respaldarlos.

De forma similar, el desarrollo del sector del petróleo y el gas después de la Segunda Guerra Mundial rápidamente asumió un papel estratégico central en el sistema económico mundial. La SRI vio la producción en masa de automóviles con el desarrollo en paralelo de infraestructuras viales. Los hidrocarburos han sido esenciales para impulsar el desarrollo industrial y el crecimiento económico, sin embargo, su papel es uno de los mayores desafíos de la actualidad, ya que el cambio climático exige una rápida descarbonización.

Todos los componentes de la IC (estandarización, metrología y EC) evolucionaron constantemente en línea con el desarrollo de los sectores económicos para alcanzar dimensiones nacionales, con una creciente interacción con los esfuerzos regulatorios del gobierno.

El control de calidad y la logística son dos áreas que tuvieron un gran impacto en el desarrollo de la industria durante las décadas posteriores a la Segunda Guerra Mundial, fusionándose y contribuyendo a amplificar la tercera revolución industrial (TRI). El **Anexo 2** presenta dos casos que describen los desarrollos en torno a la calidad y la logística en este periodo.

1.3 LA TRI MARCÓ UN MOMENTO DE CAMBIO IMPORTANTE

El concepto de "tercera revolución industrial" introducido en la década de 1980 se refiere principalmente al advenimiento de las tecnologías de la información y su impacto en la industria y la sociedad.

Las computadoras de uso general comenzaron a utilizarse ampliamente durante la década de 1960 para aplicaciones científicas y comerciales. Esto afectó a la industria a varios niveles, posibilitando el desarrollo y uso de sistemas informáticos en tiempo real para el seguimiento y control de procesos. Sin embargo, el momento definitorio de la TRI fue la invención del PLC, controlador lógico programable. Antes del PLC, la única forma de controlar los equipos en las fábricas era mediante el uso de circuitos de relés electromecánicos. Las fábricas modernas necesitaban docenas de actuadores con interruptores de Encendido/Apagado para controlar las máquinas. Un inconveniente importante era la falta de flexibilidad, ya que era un procedimiento complicado para modificar un proceso de producción.

Todo esto cambió cuando General Motors reemplazó con mucho éxito los "sistemas de relés" con un dispositivo llamado "Controlador Digital Modular" (Modicon PLC). Tras este éxito, muchas otras empresas entraron en el mercado e impulsaron el rápido desarrollo y mejora del PLC. Sin embargo, la proliferación de equipos, estructuras de datos y lenguajes de programación incompatibles creó dificultades de integración de equipos de diferentes fabricantes. Con la llegada de los microprocesadores y computadoras personales a principios de la década de 1980, el desafío fue que los programas de software se diseñaran para ejecutarse en diferentes sistemas.

La Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) inició el desarrollo de la especificación IEC 61131-3 en 1982, lo que supuso una contribución sustancial a la coherencia de los productos de software, mejorando la interoperabilidad y la integración de soluciones. Casi al mismo tiempo, también se avanzó en el uso de tecnologías informáticas para respaldar el diseño de productos, así como la integración entre el diseño digital y los sistemas de fabricación (diseño asistido por computadora y fabricación asistida por computadora, sistemas CAD/CAM).

Pronto se hizo evidente que el intercambio de datos técnicos de productos se estaba convirtiendo en un problema potencial. Los fabricantes de productos complejos (por ejemplo, en los sectores aeroespacial y automotriz) establecieron infraestructuras de cadenas de suministro grandes y complejas, que podían involucrar a miles de proveedores y cientos de clientes. Las empresas comenzaron a utilizar sistemas informáticos para mantener datos precisos y estables que pudieran compartirse con proveedores y clientes. Comprender la estructura y el formato de dichos datos digitales fue esencial para intercambiar información a lo largo de la cadena de suministro y entre los distintos socios. Todo esto condujo al establecimiento del Comité Técnico ISO TC 184, Sistemas de automatización industrial e integración, que ha desarrollado un conjunto de estándares fundamentales (ISO 10303) en este campo y ha facilitado el intercambio de datos.

2. Nuevas Fronteras del Desarrollo Industrial

Los cimientos de la 4RI se basan en el desarrollo exponencial de las tecnologías de la información y la comunicación. Consideremos tres aspectos:

» El papel disruptivo de las tecnologías de la información y la comunicación.

» El ascenso de la 4RI.

» ¿Cómo aborda la 4RI el "imperativo de sostenibilidad"?

2.1 EL PAPEL DISRUPTIVO DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES

Aquí exploramos el papel que han jugado la informatización, la estandarización y la proliferación de tecnologías de la información y la comunicación en la 4RI.

2.1.1 LA INFORMATIZACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN LOGRARON AVANCES

La invención del "transistor" y el nacimiento de la electrónica de estado sólido a principios de la década de 1950 dio inicio a la era digital. La industria de los semiconductores y la digitalización fueron impulsadas por la necesidad de miniaturizar, y esto tuvo enormes consecuencias para la electrónica y tecnología de la información (TI). Facilitó en gran medida la capacidad de incorporar dispositivos de TI en productos, servicios y procesos de casi cualquier sector y utilizar computadoras para cualquier tipo de aplicación comercial. Como consecuencia, la potencia informática pasó a ser cada vez mayor, a estar más disponible y ser más asequible, transformando la forma en que vivimos y hacemos negocios.

Nuevas generaciones de circuitos integrados y tecnologías RAM impulsaron el crecimiento exponencial de la digitalización, que se ha mantenido durante más de 50 años.

El desarrollo del sector de la electrónica y la TI tuvo un impacto importante en los componentes de la IC. La relación con la metrología es evidente, dada la carrera de miniaturización y la necesidad de asegurar una medición confiable y precisa. Además, la digitalización ha contribuido a transformar el panorama de la estandarización. La ONUDI aborda esto con mucho más detalle en su publicación Estándares y transformación digital, buena gobernanza en la era digital.

La estandarización desempeñó un papel clave en el desarrollo exponencial de las tecnologías de la información y comunicación. Vale la pena destacar los tres aspectos clave de la interacción entre la estandarización y las tecnologías de la información.

Por un lado, la estandarización ha contribuido a:

» Promover la difusión de tecnologías y el desarrollo de mercados.

» Ayudar a consolidar/estabilizar varias capas de tecnologías y apoyar la interoperabilidad entre equipos y software.

» Por otro lado, el desarrollo de las tecnologías de la información ha llevado a:

» Establecer nuevas formas para que la estandarización haga frente a la vertiginosa velocidad de cambio.

Promover la difusión de tecnologías y el desarrollo de mercados

El desarrollo de los mercados de TI y de los medios digitales amplificó la importancia de los "efectos de red" que tienen un impacto significativo en la difusión. Los efectos de red se vuelven cruciales cuando el valor de un bien o servicio en particular para un cliente se encuentra significativamente influenciado por la cantidad de otros clientes que lo usan. Por ejemplo, para un dispositivo digital, la cantidad y la calidad de las aplicaciones de software disponibles (o "aplicaciones") es un factor decisivo en la compra, a menudo más importante que las características del dispositivo en sí.

La dinámica de las industrias de red y el comportamiento de la oferta y demanda están fuertemente influenciados por las normas técnicas. Esto concierne a tecnologías propietarias (impulsadas por la industria) que dominan el mercado y a las que se conoce como "estándares de facto" - en oposición a las normas desarrolladas por organizaciones formales de estándares, denominadas "de jure". Sin embargo, los efectos de red y las ventajas sustanciales que brindan también son un factor clave para la colaboración entre los actores del mercado.

Consolidar varias capas de tecnologías y respaldar la interoperabilidad

El sector de las TI se desarrolló inicialmente a través de un conjunto de empresas que cubrían la producción de todos los componentes de un sistema informático. Las computadoras eran fundamentalmente incompatibles.

Todo cambió con la introducción de las computadoras personales, que se ensamblaban utilizando componentes y software proporcionados por distintas empresas. Esta "desagregación" de la industria informática contribuyó a la transformación y explosión del sector, lo que resultó en la especialización de los proveedores, una competencia feroz a escala mundial y la drástica reducción de la relación precio/rendimiento.

Ha habido luchas épicas en el mercado de las TI con el auge y la caída e incluso resurrección de algunas empresas, y una interacción compleja entre la búsqueda del dominio del mercado a través de tecnologías patentadas y la necesidad de respaldar la interoperabilidad a nivel de usuario, a través del desarrollo e implementación de estándares abiertos.

Nuevas formas de hacer frente a la vertiginosa velocidad de cambio de las tecnologías digitales

El sector de la tecnología de la información ha modificado el panorama de las organizaciones de estandarización, con la creación de "consorcios industriales" en el campo de las TI y en áreas influenciadas por las tecnologías digitales. Estos establecen especificaciones ("estándares") en plazos muy breves, mientras se protege la propiedad intelectual de los consorcios y empresas participantes. Las tecnologías populares en el campo de las TI a menudo llevan el nombre del consorcio matriz (por ejemplo, HDMI, DVD video, Wi-Fi, USB o Bluetooth).

Otro fenómeno importante es el enfoque de «código abierto», que es una forma de estandarización. Es un modelo alternativo al modelo de «código cerrado» con un propietario. El modelo de código abierto consiste en un enfoque cooperativo e incremental para el desarrollo de software y hardware y se basa en las contribuciones de un gran número de participantes, que tienen acceso ilimitado al código fuente (y la documentación relacionada) y están obligados a poner a disposición sus variaciones y mejoras del mismo modo.

En resumen, varias formas de "estándares" han sido fundamentales para respaldar la interoperabilidad y facilitar la difusión de tecnologías - en parte a través de consorcios industriales y proyectos de código abierto, y en parte a través de organizaciones formales como la Organización Internacional de Normalización (ISO), IEC, y el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE)[3].

2.1.2 EVOLUCIÓN Y DIFUSIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE LAS TELECOMUNICACIONES

La evolución del mundo de las telecomunicaciones y la convergencia con las tecnologías de la información, crearon lo que hoy llamamos el sector "TIC" (tecnologías de la información y las comunicaciones). Su evolución se basa en cuatro aspectos fundamentales:

- La invención e implementación de la tecnología de conmutación de paquetes.
- La desregulación del sector de las telecomunicaciones.
- La invención y amplia difusión de la world wide web (WWW).
- La mejora y amplia difusión de la tecnología inalámbrica.

Tecnología de conmutación de paquetes

La conmutación de paquetes representó una innovación radical en comparación con las redes de "conmutación de circuitos" de las compañías telefónicas, que se usaban para intercambiar datos entre computadoras. En ese momento, las comunicaciones informáticas se realizaban mediante el uso de líneas telefónicas dedicadas, con protocolos de comunicación patentados que se ejecutaban sobre ellas, diferentes para cada proveedor de computadoras. Se hizo evidente que existía la necesidad de establecer una red de telecomunicaciones más resistente y la conmutación de paquetes lo permitía. La tecnología de conmutación de paquetes es un método para mover datos en pequeños bloques separados (paquetes) a través de una red, enrutados sobre la base de la dirección de destino contenida en cada

[3] IEEE Standards Association tiene una cartera activa de casi 1200 estándares.

paquete, procesados por pequeñas computadoras.

También existía la necesidad de crear "estándares abiertos" que pudieran soportar implementaciones de software a varios niveles, permitiendo la interconexión de computadoras. Los más importantes fueron el Protocolo de control de transferencia, TCP (un protocolo para el trabajo en red de anfitrión a anfitrión) y el Protocolo de Internet, IP (para el enrutamiento de paquetes).

La difusión de las computadoras personales en la década de 1980, seguida de la instalación de redes de área local basadas en TCP/IP (como Ethernet), conectando computadoras personales y otras computadoras en las oficinas, dio un tremendo impulso a la difusión de TCP/IP y al crecimiento de la Internet.

Desregulación del sector de las telecomunicaciones

Antes de la década de 1980, el sector de las telecomunicaciones estaba compuesto en la mayoría de los países por operadores públicos de telecomunicaciones (PTO) de propiedad estatal y, en América del Norte, por monopolios privados regulados. La desregulación condujo a una reconfiguración completa del sector de las telecomunicaciones, con una transformación sustancial de las antiguas PTO, la entrada de nuevos actores, la introducción de nuevos tipos de servicios (incluido el de "proveedor de servicios de Internet") y modelos comerciales. Esta desregulación facilitó la expansión del sector.

Invención y difusión de la World Wide Web (red mundial)

La red mundial (WWW) fue inventada por Tim Berners-Lee, mientras trabajaba en la Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN) en 1990 - 1992. La WWW es uno de los muchos servicios que utilizan Internet y fue la aplicación "asesina" que abrió una nueva era en la convergencia de las tecnologías de la información y comunicación y el advenimiento de la "sociedad de la información".

Ben Segal, colega y mentor de Tim Berners-Lee, dijo: " ..... *La idea detrás de este (WWW) era que el hipertexto, un documento que contiene enlaces a otros documentos o partes de documentos, debe estar estructurado de tal forma que esos enlaces deberían poder montarse sobre redes entre ordenadores...".* Tim Berners-Lee también fundó el World Wide Web Consortium (W3C) (Consorcio Mundial de la red), cuya misión es llevar la WWW a su máximo potencial mediante el desarrollo de protocolos y directrices que aseguren el crecimiento a largo plazo de la Web (además de respaldar la visión del W3C de One Web).

Mejora y amplia difusión de tecnología inalámbrica

Las redes móviles experimentaron un crecimiento explosivo durante la década de los 2000. El desarrollo del sector inalámbrico/móvil fue organizado e impulsado por empresas de telecomunicaciones, empresas de TI y gobiernos, siguiendo un enfoque "de arriba hacia abajo". El motivo es que las tecnologías móviles utilizan el espectro radioeléctrico, que es un recurso escaso y asignado por gobiernos y acuerdos internacionales a diferentes sectores, incluidos el militar, radiodifusión y comunicaciones móviles. A nivel internacional, este asunto es abordado por el Sector de Radiocomunicaciones de la UIT (UIT-R).

El primer teléfono móvil se inventó durante la década de 1970 y se desarrolló inicialmente para su uso en automóviles, y en 1974 se probó el primer prototipo. Unos años más tarde llegó la primera generación (1G) de redes móviles, implementada en Japón en 1979 por Nippon Telegraph y Telephone Corporation y se extendió a los EE. UU. y Europa a principios de la década de 1980.

La segunda generación (2G) se basó en el estándar del Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM) desarrollado por el Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones para habilitar las redes celulares digitales utilizadas por teléfonos móviles y otros dispositivos (por ejemplo, tabletas). El estándar GSM desempeñó un papel facilitador clave para la difusión mundial de los teléfonos móviles y aceptación del mercado (alcanzando una cuota de mercado mundial de alrededor del 75% en 2007).

La tercera generación (3G) de comunicaciones móviles se introdujo para satisfacer la creciente demanda de sistemas inalámbricos móviles para habilitar servicios de información avanzados y de alta capacidad (acceso a Internet, datos y aplicaciones empresariales). Con la introducción de los sistemas de comunicación móvil 3G, los teléfonos inteligentes se hicieron populares, trayendo la amplitud y versatilidad de las aplicaciones y servicios de tecnología de la información a una plataforma móvil y permitiendo que el sector de la telefonía móvil se expandiera sustancialmente (de 1,000 millones de unidades vendidas en 2003 a 4,600 millones en 2009).

La cuarta generación (4G) de telefonía móvil y servicios de acceso a Internet se refiere al Estándar Internacional de Telecomunicaciones Móviles Avanzadas (IMT-Advanced Standard) de la UIT, que propone una solución de banda ancha móvil integral y segura totalmente basada en IP, que incluye requisitos de velocidad máxima de 100 Mbs (megabits por segundo) para comunicaciones de alta movilidad (por ejemplo, automóviles

y trenes), y 1 Gbs (gigabit por segundo) para usuarios estacionarios o de baja movilidad. La implementación de 4G dio a los teléfonos inteligentes la capacidad de aprovechar al máximo Internet y los servicios multimedia. Además, las redes 4G abrieron la posibilidad del Internet de las cosas (IoT).

Actualmente, contamos con la quinta generación (5G) de sistemas de comunicaciones móviles y el Estándar ITU IMT-2020. En base al uso de frecuencias de espectro más altas, el 5G transformará significativamente el sector de las telecomunicaciones (y las TIC). Los sistemas 5G también brindan la plataforma ideal para admitir IoT y, en particular, el Internet Industrial de las cosas (IIoT).

ITU IMT-2020 está diseñado para soportar diferentes escenarios especializados, tales como:

» Banda ancha móvil mejorada (eMBB) para administrar tasas de datos enormemente aumentadas, alta densidad de usuarios y capacidad de tráfico muy alta.

» Comunicaciones masivas tipo máquina (mMTC) para IoT, que requieren un bajo consumo de energía y bajas velocidades de datos para una gran cantidad de dispositivos conectados.

» Comunicaciones ultra confiables y de baja latencia (URLLC) para permitir aplicaciones críticas por su misión o para la seguridad.

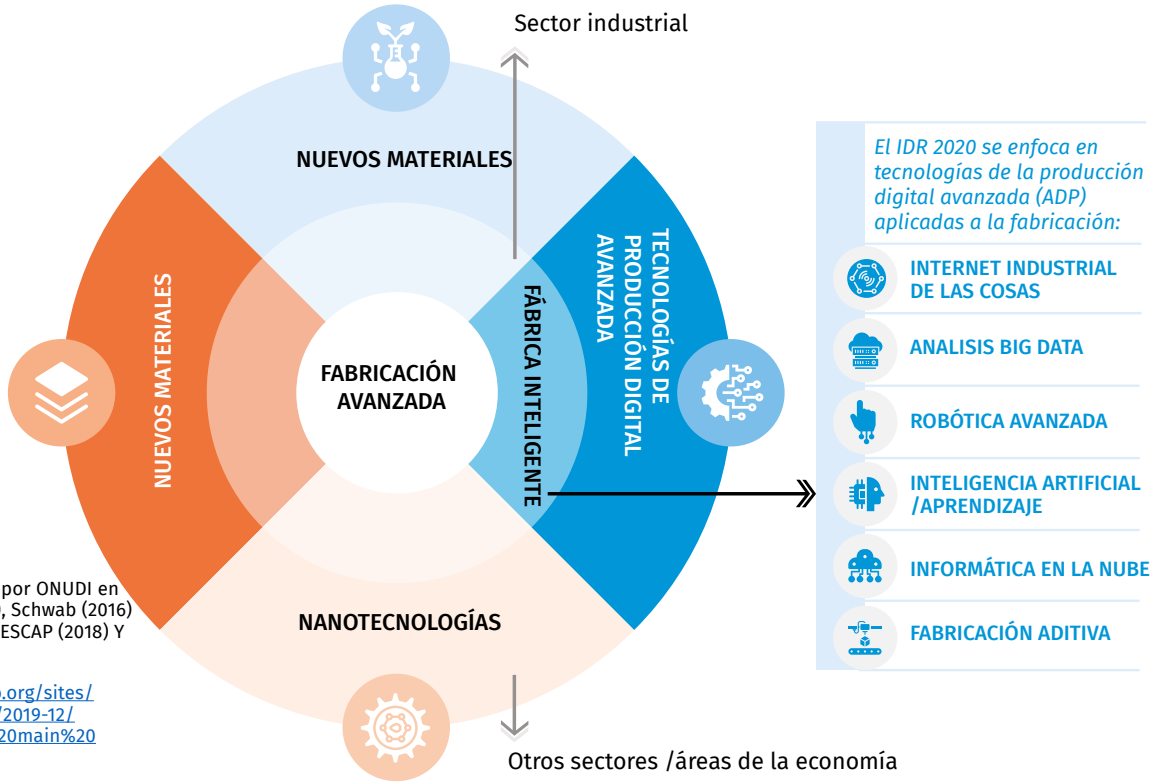
En resumen, los desarrollos de los últimos 10 -15 años han cambiado el mundo, incluidos los motores de búsqueda, redes sociales, comercio electrónico, y la difusión y uso de medios digitales en una amplia variedad de formatos. Todo ello ha dado lugar a las empresas dominantes y todopoderosas de la era de la información, las llamadas "GAFAM" (Google, Apple, Facebook, Amazon y Microsoft) y más. Estas transformaciones han sentado las bases en cuanto a infraestructuras, tecnologías, aplicaciones y servicios que están posibilitando la cuarta revolución industrial.

2.2
EL ASCENSO DE LA 4RI

En esta publicación utilizamos el término "Industria 4.0" cuando nos referimos a la transformación de la producción relacionada con la automatización de la fábrica, en un sentido muy amplio, y 4IR cuando consideramos una perspectiva más general, relacionada con la transformación de la economía y la sociedad en su conjunto.

El término "Industrie 4.0" fue acuñado por el Prof. Wahlster (Profesor de Inteligencia Artificial en Alemania) quien explicó que para mantener su papel de liderazgo en la fabricación, era esencial que Alemania dominara la revolución industrial impulsada por Internet y comprendiera el "puente" entre el mundo digital y el físico. Esta idea pronto se difundió con la publicación de Klaus Schwab (Presidente del Foro Económico Mundial)

FIGURA 1: **GRANDES ÁMBITOS TECNOLÓGICOS DE LA 4RI**



Fuente: Elaborado por ONUDI en base a OCDE (2017), Schwab (2016) UNACTD (2018), UNESCAP (2018) Y ONUDI (2017)

https://www.unido.org/sites/default/files/files/2019-12/UNIDO%20IDR20%20main%20report.pdf

"Dominando la Cuarta Revolución Industrial" en 2015, y la selección de la 4RI como tema central para la reunión del Foro Económico Mundial de 2016 en Davos, Suiza. Schwab declaró que "*En comparación con las revoluciones industriales anteriores, la Cuarta está evolucionando a un ritmo acelerado exponencial en lugar de un ritmo lineal. Además, está afectando a casi todas las industrias en todos los países. Y la amplitud y profundidad de estos cambios presagian la transformación de sistemas completos de producción, gestión y gobernanza*".

El extraordinario poder de procesamiento de información junto con la capacidad de almacenar y mover información en volúmenes sin precedentes y a una velocidad ultrarrápida han abierto nuevos campos de aplicación. También se ha producido una transformación similar en campos que se han desarrollado en fuerte asociación con las tecnologías digitales, en particular las ciencias y tecnologías biológicas, la ciencia de los materiales y las nanotecnologías.

La interacción y convergencia de estos desarrollos está bien representada en la siguiente figura, tomada del Informe de Desarrollo Industrial 2020 de la ONUDI.

Estas tecnologías (ver figura 1) y su aplicación tienen un impacto significativo en las empresas y ya han alterado profundamente las cadenas de valor existentes (incluso antes de la pandemia del COVID-19). Están surgiendo nuevos modelos de producción, uso de materiales y piezas, y nuevas formas de satisfacer las necesidades de los clientes, modificando la forma en que creamos valor. Los líderes empresariales y los formuladores de políticas deben reconocer y adaptarse a esta innovación que se desarrolla a un ritmo exponencial, y por lo tanto diseñar estrategias, enfoques de gestión y políticas.

En esta publicación centramos nuestra atención en las tecnologías de "fabricación avanzada" y en particular en las "tecnologías de producción digital avanzada" en el núcleo de la 4RI y más cerca del concepto de "Industria 4.0". La siguiente sección analiza en profundidad la relación entre la IC y la 4RI.

Para completar el panorama de "las nuevas fronteras del desarrollo industrial", es fundamental resaltar el **imperativo de la sustentabilidad**, el cual es de crucial importancia para determinar si la 4RI puede contribuir positivamente al futuro de la humanidad.

2.3

ABORDAR EL IMPERATIVO DE SOSTENIBILIDAD A TRAVÉS DE LA 4RI

El desarrollo sostenible se puso en el punto de mira de la comunidad internacional tras la publicación del informe Brundtland en 1987 ("Nuestro futuro común", de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, WCED) y la organización de la Cumbre de la Tierra de Río (Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, CNUMAD) en 1992.

La publicación de ONUDI "Reinicio de la infraestructura de calidad para un futuro sostenible" proporciona información sobre cómo la IC apoya y fortalece la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas. Describe cómo las IC ayudan a las economías a cumplir los ODS creando prosperidad, mejorando el bienestar de las personas y protegiendo el planeta. Este documento se centra en cómo las nuevas tecnologías de 4RI abordan el imperativo de sostenibilidad social y ambiental dentro del sector industrial. Analiza cómo los componentes de la IC Inteligente respaldan específicamente la sostenibilidad en relación con el sector industrial.

Las preocupaciones de sostenibilidad con respecto a la "responsabilidad social corporativa (RSC) y la conducta empresarial responsable", así como la importancia del cambio climático y las emisiones de carbono, solo fueron plenamente reconocidas por el sector privado en la década de 2000. Conceptos como el "resultado final triple" (que se refiere a la economía, medio ambiente y sociedad) y los "informes de sostenibilidad" se introdujeron y aplicaron por primera vez en ese momento, a menudo en base a estándares privados desarrollados por iniciativas de múltiples partes interesadas. Sin embargo, la RSC y otros conceptos relacionados se consideraban principalmente restricciones u objetivos "adicionales" en relación con las actividades, sin estar completamente integrados con los objetivos centrales y la naturaleza esencial del negocio, ya sea de fabricación o de otro tipo.

La 4RI brinda una oportunidad única para repensar y abordar la fabricación junto con consideraciones relacionadas con la sostenibilidad y responsabilidad social. Damos una visión general del tema, primero, brindando un breve resumen de los desafíos, y luego pasamos a describir, en términos generales, algunas direcciones estratégicas que la 4RI debe seguir para lograr y cumplir con el imperativo de la sostenibilidad.

2.3.1
DESAFÍOS DE SOSTENIBILIDAD

La industria, y en particular el sector manufacturero, se reconoce como un motor clave del crecimiento económico tanto para los países desarrollados como para los países en desarrollo. Sin embargo, la industrialización y el desarrollo de la infraestructura tienen lugar hoy en día de una manera radicalmente diferente a como lo hacían antes. La humanidad y nuestras economías globales están empujando los límites que la tierra puede sostener y esto tiene enormes implicaciones sobre cómo se debe buscar la industrialización y el desarrollo de infraestructura ahora y en el futuro. Las consecuencias serán enormes para nuestro planeta, personas y prosperidad si no adoptamos este enfoque correctamente.

Como señaló ONUDI (Cambio estructural para el desarrollo industrial inclusivo y sostenible , 2017): *" Se registró un aumento en las emisiones de CO2 y el uso de materiales en los sectores manufactureros en todos los grupos de países, impulsado en gran medida por el aumento de los volúmenes de producción. Esto ocurrió a pesar de la tendencia positiva en la reducción de la intensidad ambiental (impacto ambiental por unidad de producto) de la producción en todos los grupos de países, excepto en las economías de bajos ingresos.* [...] *Los esfuerzos para reducir aún más la intensidad ambiental deben acelerarse y la tecnología relevante debe difundirse lo más ampliamente posible ".*

Frente a las demandas globales de mejores condiciones laborales y más diversidad en el lugar de trabajo, la industria está interiorizando cada vez más el concepto de trabajo decente: trabajo realizado en condiciones de libertad, equidad, seguridad y dignidad humana. La importancia de la calidad del empleo como parte del imperativo de la sostenibilidad se destaca en el ODS 8, cuyo objetivo es "promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos".

La 4RI ofrece una gran oportunidad para abrazar la diversidad en el lugar de trabajo. Muchos trabajos son ahora más accesibles que nunca para las personas que sufren discriminación y/o estigmatización. Excluir a grupos de personas de puestos de trabajo en función de características personales, como el origen étnico, el género y las necesidades especiales, no solo es poco ético y, en muchos casos, ilegal, sino que también es negativo para los negocios.

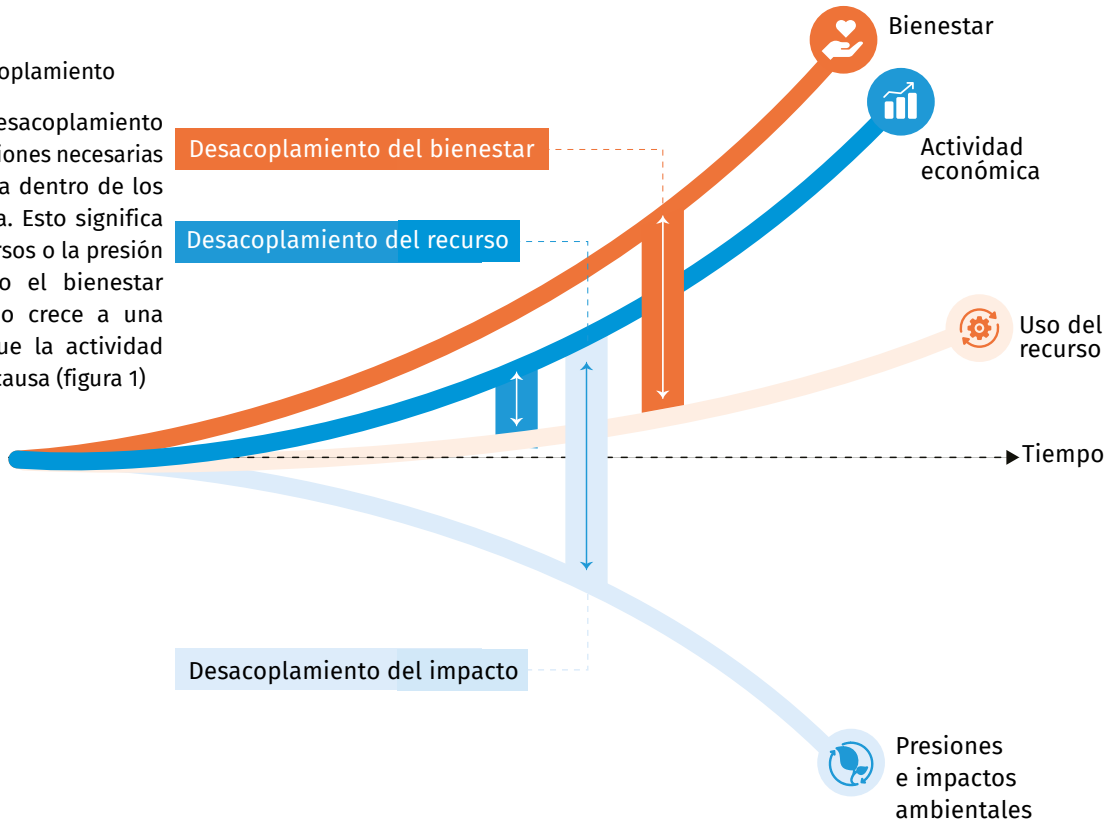
Sobre la igualdad de género, se ha observado que *"mientras la globalización y el desarrollo de largas cadenas de suministro han creado oportunidades para el empleo femenino en la manufactura de exportación, existe un debate en curso sobre hasta qué punto las tendencias recientes en el cambio tecnológico y reorganización*

FIGURA 2: **EL CONCEPTO DE DESACOPLAMIENTO**

Cuadro 1.

Concepto de desacoplamiento

El concepto de desacoplamiento describe las condiciones necesarias para una economía dentro de los límites del planeta. Esto significa que el uso de recursos o la presión en el ambiente o el bienestar humano decrece o crece a una tasa más lenta que la actividad económica que la causa (figura 1)



al interior de las empresas genera un proceso de 'desfeminización' y sesgos laborales en contra de las mujeres", afirmando además que *"el cambio tecnológico inevitablemente afecta y transforma las oportunidades de empleo. [...] Ante el imperativo de generar empleo para cumplir con los objetivos de inclusión, el desafío es asegurar un crecimiento adecuado de la producción manufacturera*"[4].

Todas las dimensiones del desarrollo industrial inclusivo, por ejemplo, las relacionadas con la discapacidad o la inclusión de los jóvenes, deben analizarse y derivarse respuestas apropiadas para garantizar la igualdad de oportunidades, el acceso y el disfrute equitativo de los beneficios.

Estos son temas fundamentales para la industria, y es apropiado dedicarles algunas reflexiones más.

No hay duda de que la economía mundial se basa en el consumismo, por ejemplo, el consumo de los hogares representa alrededor del 60 por ciento del PIB mundial (ver TheGlobalEconomy.com). El problema es que la economía mundial todavía se basa estructuralmente en un alto rendimiento y producir cada vez más bienes requiere cada vez más materiales y energía. Además, debido a que la mayoría de los bienes de consumo (incluidos los duraderos) tienen una vida útil relativamente corta y la reutilización de los componentes o materiales del producto al final de su vida útil es marginal, esto genera cantidades cada vez mayores de desechos. Para dar una idea de la escala y complejidad del desafío, veamos dos fuentes de datos importantes. Según las Perspectivas de Recursos Globales 2019 del Panel Internacional de Recursos, en 1900 el mundo consumía 7 mil millones de toneladas de materias primas. En 1970, el consumo de materiales aumentó a 26,000 millones de toneladas y en 2017 superó los 90,000 millones de toneladas. Para 2030, se espera que el uso de materias primas alcance los 120,000 millones de toneladas y para 2050, en un escenario sin cambios, alrededor de 190 mil millones de toneladas.

El informe Brecha Global de Economía Circular (2020), basado en la metodología de análisis de flujo de materiales, muestra cómo las entradas de 100,600 millones de toneladas de materiales (92 de materias primas y alrededor de 9 de materiales reciclados, en 2017) terminan como salidas: solo el 31% se convierte en "stock añadido neto" de materiales a la economía y el 8.6 % como materiales reciclados, mientras que el resto se dispersa en el medio ambiente (22.4 %), se transforma en emisiones (14.6 %) o se pierde en el medio ambiente (24 %), como residuos recogidos pero no tratados.

Para mantener la capacidad de satisfacer las necesidades de las personas sin comprometer nuestro futuro, es imperativo lograr lo que el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) ha definido como "desacoplamiento" (ver figura 2).Las actividades económicas deben aumentar drásticamente su eficiencia energética y material ("desacoplar" el crecimiento económico del uso de materiales y energía) y detener su impacto negativo en el medio ambiente ("desacoplar" el uso de recursos del impacto ambiental, apuntando a cero gases de efecto invernadero, GEI, emisiones). Esto también debería resultar en limitar la contaminación, el uso de la tierra y el daño a la biodiversidad para no ir más allá de la capacidad de absorción y regeneración del medio ambiente.

Vale la pena señalar que, de manera similar a las consecuencias relacionadas con el cambio climático que surgen de los procesos industriales que se distribuyen de manera desigual entre países industrializados y en proceso de industrialización, los resultados ambientales y climáticos causados por las operaciones industriales tienen impactos diferenciados por género. Por ejemplo, la Organización Internacional para las Migraciones (OIM) informa que el género constituye un diferenciador clave cuando se trata de la respuesta a desastres naturales y la migración ambiental, ya que "las vulnerabilidades, experiencias, necesidades y prioridades de los migrantes ambientales varían según los diferentes roles de mujeres y hombres, responsabilidades, acceso a información y recursos, educación, seguridad física y oportunidades de empleo"[5]. Por lo tanto, la desvinculación no solo tiene el potencial de detener la degradación ambiental y climática mediante el uso eficaz y eficiente de los recursos naturales y la gestión de la contaminación, sino que también señala la oportunidad de reducir y corregir algunos de los efectos de género derivados de patrones de producción y consumo insostenibles.

Es necesario resaltar algunos puntos clave antes de ver cómo la 4RI puede contribuir al "desacoplamiento":

» Las plantas de generación de energía basadas en combustibles fósiles, las plantas de fabricación contaminantes e ineficientes, el transporte/logística basados en camiones y flotas obsoletos e ineficientes crean condiciones sistémicas que son difíciles de abordar en un corto período de tiempo.

» Es fundamental tener en cuenta la "huella de material y energética" de los productos, incluido el impacto de la extracción y el procesamiento de los recursos integrados en los productos. Esto es particularmente importante considerando la estructura de las cadenas de suministro globales. La producción se basa en el ensamblaje de productos intermedios y materias primas importadas, y esto transfiere la mayor parte de los impactos ambientales a los países donde se extraen los materiales y se crean los productos intermedios.

[4] https://www.unido.org/sites/default/files/files/2018-06/EBOOK_Structural_Change.pdf

[5] https://www.iom.int/sites/g/files/tmzbdl486/files/about-iom/gender/Gender-Approach-to-Environmental-Migration.pdf

» Como se mencionó anteriormente, las industrias extractivas están gobernadas y operadas de manera desproporcionada por hombres, y las mujeres y las niñas soportan una parte desproporcionada de los impactos sociales, económicos y ambientales negativos del sector. Por ejemplo, las industrias extractivas están agravando las dependencias relacionadas con la propiedad de la tierra (cuestiones sobre el acceso a la tierra para la agricultura de subsistencia; no existe compensación para las mujeres por las pérdidas de tierras si los hombres son los titulares legales) y aumentan las cargas de cuidado de las mujeres debido a la contaminación y los efectos en la salud de las operaciones extractivas muy cerca de las comunidades locales.[6]

» También debemos considerar los impactos sociales y ambientales a lo largo del ciclo de vida completo de los productos y servicios. Necesitamos evaluar estos impactos para datos agregados (por ejemplo, para categorías de productos y sectores), y no solo "por unidad" de producción, lo que puede llevar a conclusiones engañosas.

2.3.2 DIRECCIONES ESTRATÉGICAS DE LA 4RI PARA LOGRAR LA SOSTENIBILIDAD

La fabricación tiene un papel fundamental en la transición hacia una economía sostenible. Esto plantea desafíos sustanciales con respecto a todo el proceso de diseño, abastecimiento, producción, entrega y servicio de productos. Estos desafíos son amplios y complejos y van más allá del alcance de esta publicación. No obstante, podemos esbozar algunas cuestiones esenciales.

Existen cuatro aspectos principales con respecto a la relación entre la 4RI y la sostenibilidad:

» **Aspectos directamente relacionados con las tecnologías e infraestructuras habilitadoras de la 4RI**: consumo de energía y materiales de las infraestructuras de telecomunicaciones, granjas de servidores que alimentan los servicios informáticos remotos y locales, así como consumo de energía/materiales y desperdicio de dispositivos (computadoras, teléfonos inteligentes, sensores y otros dispositivos conectados) utilizado en el marco de la 4RI.

» **Aspectos directamente relacionados con las 4RI y más concretamente con la transformación digital**: en cuanto a los impactos sociales y ambientales de los procesos de fabricación (seguridad industrial, uso de energía, emisiones, contaminación y residuos).

» **Aspectos indirectamente relacionados con la 4RI, en relación con los productos fabricados**: cómo las tecnologías que sustentan la 4IR y sus modelos de negocio contribuyen a reducir el consumo de energía y materiales y las emisiones de GEI de los productos a lo largo de todo su ciclo de vida.

» **Aspectos sobre los impactos sociales de la 4RI**: en particular, cómo las tecnologías y los procesos de la 4RI están afectando a las comunidades, el mercado laboral, condiciones de trabajo y creación y distribución de riqueza.

Estos aspectos, que se relacionan de alguna manera con las personas, planeta y prosperidad, deben abordarse para garantizar una contribución positiva de la 4RI al bienestar humano. Por ejemplo, en relación con el primer aspecto señalado anteriormente sobre el impacto ambiental de las tecnologías digitales, vale la pena destacar que:

» en 2019, el mundo digital estaba compuesto por 34 mil millones de equipos con 4,1 mil millones de usuarios y la masa de este mundo digital ascendía a 223 millones de toneladas .

» el equipo de red consta de 1,100 millones de enrutadores de fibra/línea de suscriptor digital (DSL), 10 millones de repetidores GSM (2G a 5G) y alrededor de 200 millones de otros equipos activos de red de área amplia (WAN).

» existen unos pocos miles de centros de datos con aproximadamente 67 millones de servidores alojados.

Todos estos equipos son responsables de una parte importante del consumo mundial de electricidad y de las emisiones de carbono. Se espera que crezcan sustancialmente en los próximos años y " *para 2030, alrededor del 25 % de la energía mundial (la mayor parte de la cual se produce al quemar combustibles fósiles ricos en carbono) podría ser consumida por dispositivos electrónicos si no se hace nada para hacerlos más energéticamente eficientes*".[7]

Si eso no es suficiente, los desechos electrónicos son el tipo de desechos de más rápido crecimiento en el planeta. Según Global E-waste Monitor, en 2019 se generaron más de 53.6 millones de toneladas métricas de desechos electrónicos. Solo el 17.4% por ciento de estos desechos electrónicos se registraron, recolectaron y reciclaron formalmente. Los desechos electrónicos tienen un impacto social significativo, ya que las personas involucradas en actividades de reciclaje a menudo están expuestas a riesgos para la salud y la seguridad. Según la OMS, hasta 12.9 millones de mujeres trabajan en

[6] https://www.scribd.com/fullscreen/28872387?access_key=key-1jqxr250wrtppeois351

[7] Theresa Duque, ¿Cómo pueden los chips de computadora de próxima generación reducir nuestra huella de carbono? (2021)

el sector informal de los desechos, lo que las expone potencialmente a desechos electrónicos tóxicos y las pone en riesgo a ellas y a sus hijos por nacer. Los padres o cuidadores a menudo involucran a los niños en el reciclaje de desechos electrónicos. Otros niños viven, van a la escuela y juegan cerca de los centros de reciclaje de desechos electrónicos donde los altos niveles de sustancias químicas tóxicas, principalmente plomo y mercurio, pueden dañar sus capacidades intelectuales. Los niños expuestos a los desechos electrónicos son particularmente vulnerables a los productos químicos tóxicos que contienen debido a su tamaño más pequeño, órganos menos desarrollados y una tasa rápida de crecimiento y desarrollo. Absorben más contaminantes en relación con su tamaño y son menos capaces de metabolizar o erradicar sustancias tóxicas de sus cuerpos.[8]

El impacto ambiental de las tecnologías digitales es un problema que se ha reconocido y se está tomando en consideración. Por ejemplo, el Estándar IMT-2020 incluye requisitos específicos de eficiencia energética para redes 5G, y existen muchos desarrollos tecnológicos y organizativos que apuntan a abordar el tema. Los centros de datos han seguido programas de mejora de la eficiencia, incluido el cambio a configuraciones de hiper escala, para frenar la intensidad energética. Se están diseñando nuevas generaciones de chips para aumentar la eficiencia energética. Las nuevas aplicaciones y el desarrollo de la electrónica de potencia pueden mejorar la eficiencia energética en varios dominios.

El aumento de los costos de la energía también dictará un enfoque más intenso de las tecnologías y estrategias de ahorro de energía. Sin embargo, desde la perspectiva de la transformación digital, se deben tomar muchas otras acciones para aumentar la eficiencia energética. Algunas direcciones críticas incluyen:

» Sensores más inteligentes y más eficientes energéticamente.

» La necesidad de enfoques inteligentes para la conectividad de sensores.

» La necesidad de electrónica de potencia avanzada y altamente eficiente para controlar motores eléctricos y otros dispositivos.

Con respecto al impacto ambiental de los procesos de fabricación, la eficiencia energética y de los materiales son impulsores clave de la innovación y las tecnologías centrales de la 4RI pueden contribuir significativamente a ello. El uso de energía y las emisiones relacionadas con el proceso de fabricación se pueden medir y rastrear utilizando tecnologías digitales, mientras que la optimización de tareas y el uso de sistemas ciber físicos pueden reducir los tiempos de inactividad y el uso de energía. Además, la fabricación aditiva (impresión 3D) se puede aplicar a la producción de piezas, ahorrando materiales y energía, etc.

2.3.3
LA 4RI POSIBILITANDO UNA ECONOMÍA MÁS JUSTA Y CIRCULAR

Los desarrollos como los descritos anteriormente van en la dirección correcta, sin embargo, se necesita hacer mucho más. La sostenibilidad debe convertirse en un imperativo estratégico para la fabricación e integrarse en todos los niveles de los procesos de una empresa. En este sentido, la dirección más efectiva es el vínculo entre la 4RI y la economía circular. La "comunidad de sostenibilidad" ve la 4RI como una oportunidad única para establecer una economía circular.

La economía circular es un modelo de producción/consumo que:

"se basa *en tres principios, impulsados por el diseño:*

» Eliminar los desechos y contaminación.

» Hacer circular los productos y materiales (en su valor más alto)

» Regenerar la naturaleza

Se sustenta en una transición hacia energías y materiales renovables. Una economía circular desvincula la actividad económica del consumo de recursos finitos. Es un sistema resiliente que es bueno para los negocios, personas y medio ambiente " (Fundación Ellen MacArthur, Introducción a la economía circular).

Brevemente, la economía circular indica una dirección estratégica para cumplir con el ODS 12 (patrones de consumo y producción sostenibles). Tanto la economía circular como la Industria 4.0 abordan la transformación de los sistemas de producción del mundo. Además, la economía circular aborda las modalidades de consumo y cómo afrontar el fin de vida de los productos (algo que no está contemplado explícitamente en la Industria 4.0). Para cumplir con el imperativo de la sostenibilidad, ambos deben ir de la mano. Tal como lo entiende la "comunidad de sostenibilidad", la Industria 4.0 -si se dirige adecuadamente (es decir, si los estrategas, ingenieros, profesionales de producción y comerciantes están alineados con objetivos de sostenibilidad claros y concretos) - puede desempeñar un papel clave en el desencadenamiento de la economía circular. Aunque es un asunto complejo, reseñamos algunos aspectos importantes:

[8]OMS (2021). El aumento vertiginoso de los desechos electrónicos afecta la salud de millones de niños, advierte la OMS. [en línea] Who.int. Disponible en: https://www.who.int/news/item/15-06-2021-soaring-e-waste-affects-the-health-of-millions-of-children-who-warns [Consultado el 7 de octubre .2022].

El primer aspecto (y posiblemente el más importante) es el diseño del producto, ya que los productos deben diseñarse teniendo en cuenta todo el ciclo de vida del producto, generando objetivos de diseño con criterios circulares y de sostenibilidad, que incluyen:

El segundo aspecto son las tecnologías de la Industria 4.0 que sirven de apoyo tales como:

» El uso de modelado de diseño avanzado (por ejemplo, utilizando "big data" e inteligencia artificial, AI) para permitir la prueba de conceptos y simulaciones, con el objetivo de incorporar una combinación óptima de criterios de circularidad.

» Se deben utilizar "gemelos digitales"- es decir, "copias" digitales de productos (y partes) para capturar no solo datos sobre la estructura y propiedades, sino también información sobre la composición del material y su huella ambiental. Esto puede ser un habilitador clave para el uso de pasaportes de productos digitales (DPP), una herramienta fundamental que respalda la circularidad a varios niveles del ciclo de vida del producto.

» Establecer bucles de retroalimentación entre las fases de producción y el uso de productos y componentes, lo que permite comprender mejor los comportamientos y descubrir posibles mejoras. La investigación adicional y complementaria y la recopilación de datos sobre los comportamientos diferenciados de los usuarios/consumidores mujeres y hombres sería beneficiosa, ya que permitiría la destilación de conocimientos sobre enfoques y filosofías de consumo de género.

El tercer aspecto es el establecimiento y operación de cadenas de suministro inversas para la circularidad.

Esta es probablemente el área donde la economía circular se aleja más significativamente de la economía lineal. La recolección adecuada de productos al final de su vida útil (EOL) es esencial para valorizar los componentes y materiales del producto, lo que permite extender los ciclos de vida del producto y reducir el abastecimiento de materiales primas. Las iniciativas de recolección de productos, como los programas de devolución (por ejemplo, a través de plataformas de comercio electrónico), ya permiten a los consumidores devolver productos a minoristas, proveedores de servicios o fabricantes. Las mujeres deben ser empoderadas para convertirse en impulsoras clave del cambio en este sentido, ya que "es más probable que las mujeres reciclen, minimicen los desechos... y participen en iniciativas de ahorro de agua y energía a nivel doméstico". Ciertos estudios sugieren que las mujeres parecen dar preferencia a los productos electrónicos que tienen una función al final de su vida útil.[9]

Sin embargo, lo que se necesita es una alineación radical de las cadenas de valor. En esencia, las cadenas de suministro inversas requieren:

» Un sistema eficiente y coordinado de recolección de productos (devoluciones de productos nuevos y recolección de productos EOL).

» Centros de inspección y clasificación para determinar las opciones de recuperación de objetos EOL (productos completos, partes de productos o materiales extraídos de partes). La clasificación y la categorización determinan qué productos son viables para su reutilización y cuáles requieren reparación, reacondicionamiento o actualización antes de su reutilización. Las piezas que se consideran no reutilizables se envían a instalaciones especializadas para la recuperación de materiales.

» Reinyección en cadenas de suministro de productos y piezas reutilizables, y redireccionamiento de componentes no reutilizables a centros de reciclaje.

Las empresas implementan algunos elementos de este sistema de forma individual (por ejemplo, Google ha implementado un sistema interno para inspeccionar y clasificar las computadoras EOL utilizadas en sus granjas de servidores, extraer y restaurar componentes desmontados para que estén disponibles como repuestos en sus almacenes). El verdadero desafío circular es organizar dichos sistemas a nivel de sector o subsector. Dependiendo de las economías de escala, la concentración de conocimientos y costos de transporte, estos sistemas podrían organizarse desde una dimensión mayoritariamente local/nacional hasta una totalmente internacional.

Los estándares y regulaciones juegan un papel fundamental aquí junto con las iniciativas lideradas por el gobierno e industria. En muchos países, existe una tendencia a regular la responsabilidad extendida del productor (REP) para los productos. Este tipo de regulación tiene como objetivo transferir la carga financiera de la recolección y el tratamiento de desechos de las autoridades locales (y los contribuyentes locales) a los fabricantes. Además, alienta a las empresas a reparar y reutilizar productos, reducir los desechos y adoptar la circularidad.[10]

[9] https://www.oecd-ilibrary.org/sites/7ff96708-en/index.html?itemId=/content/component/7ff96708-en

[10] Cf. ISO (2022). [en línea] Disponible en: https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:iwa:19:ed-1:v1:en:term:3.14 [Consultado el 7 de octubre de 2022].

El cuarto aspecto es la Industria 4.0, que puede tener una contribución fundamental en este ámbito:

» Los DPP y los mecanismos para etiquetar piezas facilitarían sustancialmente las actividades de inspección y clasificación. El etiquetado digital después de la inspección, junto con el intercambio de información logística a lo largo de la cadena, también permitiría la automatización de varios pasos de la cadena de suministro inversa.

» Los gemelos digitales facilitarían la inspección de productos EOL y la restauración/re-fabricación de piezas de productos.

» Los DPP y otros mecanismos que proporcionen información detallada sobre los materiales serán invaluables para alimentar las plantas de reciclaje.

Se aplican consideraciones similares al reciclaje y otros aspectos, y ya hemos descrito cómo la Industria 4.0 puede contribuir a la sostenibilidad de los procesos de fabricación.

El último aspecto se refiere al impacto social de la 4RI.

Algunas de las cuestiones más sociales, en concreto las relativas al trabajo, la desigualdad y aspectos éticos, incluyen:

» Impacto en el mercado laboral: es probable que la 4RI conduzca a la reducción de puestos de trabajo en las fábricas y el sector servicios. En muchos casos, la adopción de tecnología ahorra mano de obra - por ejemplo, cuando se implementan robots en la fabricación o cuando la tecnología aumenta la productividad para que se requieran menos trabajadores. Además, un número creciente de personas confía en las plataformas digitales para generar ingresos. Los avances tecnológicos impulsan la sustitución laboral y crean nuevos puestos de trabajo, pero también dividen el trabajo existente en trabajos más pequeños y reestructuran fundamentalmente los mercados laborales.[11] Además, la investigación realizada por la ONUDI ha encontrado que "la mejora tecnológica está asociada con la desfeminización del trabajo en las industrias manufactureras, [...] atribuible al hecho de que muchos trabajos que normalmente ocupan mujeres poco calificadas consisten en habilidades manuales no rutinarias que todavía representan cuellos de botella para la automatización".[12] Además, se postula que una reducción de la brecha digital de género, particularmente en los países en desarrollo, podría abrir caminos para que las mujeres asuman roles gerenciales y participen más en los procesos de toma de decisiones.

» Desigualdad: La digitalización y globalización han habilitado servicios en base a información que pueden ampliarse rápidamente para alcanzar una dimensión global. Las empresas pueden crecer utilizando solo una pequeña fracción de la fuerza laboral. Esto genera enormes ganancias en beneficio, principalmente, de los altos directivos y principales accionistas de un grupo restringido de empresas, con una rápida y masiva concentración de riqueza y poder. En muchas de estas empresas, existe una relajación de la comprensión compartida de lo que significa ser un "trabajador" o un "empleador". La desvinculación de la protección social del empleo y desafíos relacionados con organizar a los trabajadores que trabajan por cuenta propia y no comparten el mismo lugar de trabajo (como la planta de una fábrica) son problemas que afectan a un número cada vez mayor de personas en la fuerza laboral. Las personas y las comunidades que no tienen acceso a la tecnología, o las habilidades necesarias para interactuar con ella, o que son víctimas de sesgos incrustados en ciertos algoritmos, se enfrentan a una desventaja significativa. Esto profundiza la brecha digital dentro y entre los países.[13]

» Aspectos éticos: por ejemplo, en relación con las máquinas autónomas que van desde perspectivas filosóficas hasta aspectos legales. Y muchas otras preguntas que se refieren al uso de sistemas autónomos o semiautónomos en campos sensibles como la sanidad, seguridad, información y medios. La producción industrial avanzada debe garantizar que las máquinas (semi)autónomas no reproduzcan los sesgos inconscientes y las creencias discriminatorias de las personas que las fabrican o programan. Si esto no se aborda, puede conducir a una mayor desigualdad en la sociedad.

» Privacidad: en el corazón de la 4RI se encuentra el libre flujo de datos. Esto lleva a preocupaciones sobre la privacidad. Se necesitan nuevas reglas, regulaciones y estándares para proteger la propiedad intelectual de las empresas en un sistema global en red, para proteger la información personal confidencial de los ciudadanos y los clientes, y para garantizar que los sistemas de optimización automática se mantengan bajo control.[14]

[11] OIT (2022). Perspectivas sociales y del empleo en el mundo: Tendencias 2022. [en línea] Disponible en: https://www.ilo.org/global/research/global-reports/weso/trends2022/WCMS_834081/lang--en/index.htm [Consultado el 7 de octubre .2022].

[12] https://downloads.unido.org/ot/20/10/20105985/WP_1_2021_FINAL.pdf

[13] Ibídem.

[14] EY Global (2021). Cuatro cosas que debe saber sobre la Cuarta Revolución Industrial. [en línea] Ey.com. Disponible en: https://www.ey.com/en_us/digital/four-things-to-know-about-the-fourth-industrial-revolution[Consultado el 7 de octubre de 2022].

3. IC Inteligente apoyando la innovación y sostenibilidad

La 4RI se caracteriza por una profunda interacción con la IC. Por un lado, los componentes de la IC son facilitadores esenciales de tecnologías y procesos y, por otro lado, las innovaciones y transformaciones relacionadas con la 4RI tienen un impacto significativo en la propia IC.

Las tecnologías digitales (incluidas las "tecnologías de producción digital avanzadas") abren nuevas oportunidades para la IC y sus organizaciones. Asimismo, las necesidades de la 4RI en materia de IC están redefiniendo la noción de "calidad". Esto impulsa a las organizaciones de IC a desempeñarse de manera diferente y brindar nuevos tipos de servicios. Esta transformación a menudo se presenta como "Infraestructura de calidad 4.0" o, como preferimos llamarla, "Infraestructura de Calidad Inteligente" (IC Inteligente), para enfatizar la importancia no solo de las tecnologías, sino también de los factores organizativos y humanos.

Comenzamos con una descripción del componente de "tecnologías de producción digital avanzada" de la Industria 4.0 y seguimos con un análisis de la infraestructura de calidad inteligente emergente.

3.1 TECNOLOGÍAS AVANZADAS DE PRODUCCIÓN DIGITAL DE LA INDUSTRIA 4.0

La transformación de la industria - y específicamente de la fabricación - respaldada por la Industria 4.0 tiene como objetivo:

- Establecer operaciones de fabricación flexibles que puedan modificarse fácilmente para producir variaciones de productos existentes o productos completamente nuevos.
- Utilizar sistemas ciber físicos (robots, actuadores y sensores) capaces de gestionar de forma autónoma las actividades de la planta de producción (incluida la manipulación de materiales y piezas, ejecución de tareas y actividades de seguimiento y control).
- Implementar sistemas eficientes y seguros de captura e intercambio de datos para todos los equipos conectados, y permitirles interactuar entre sí y con centros de diseño y control locales o remotos.
- Producir copias digitales ("gemelos digitales") de artículos de productos en cualquier etapa relevante del proceso de fabricación, copias que los diseñadores pueden validar o modificar cuando sea necesario, interviniendo directamente en el proceso.

Estos desarrollos están impulsados por la combinación de tecnologías avanzadas de producción digital, como **IIoT , big data y análisis, robótica avanzada, IA/aprendizaje automático (AA), computación en la nube, fabricación aditiva (impresión 3D)**. Estas tecnologías son habilitadores esenciales para la 4RI y la Industria 4.0.

El impacto de cada uno de los anteriores se describe brevemente a continuación.

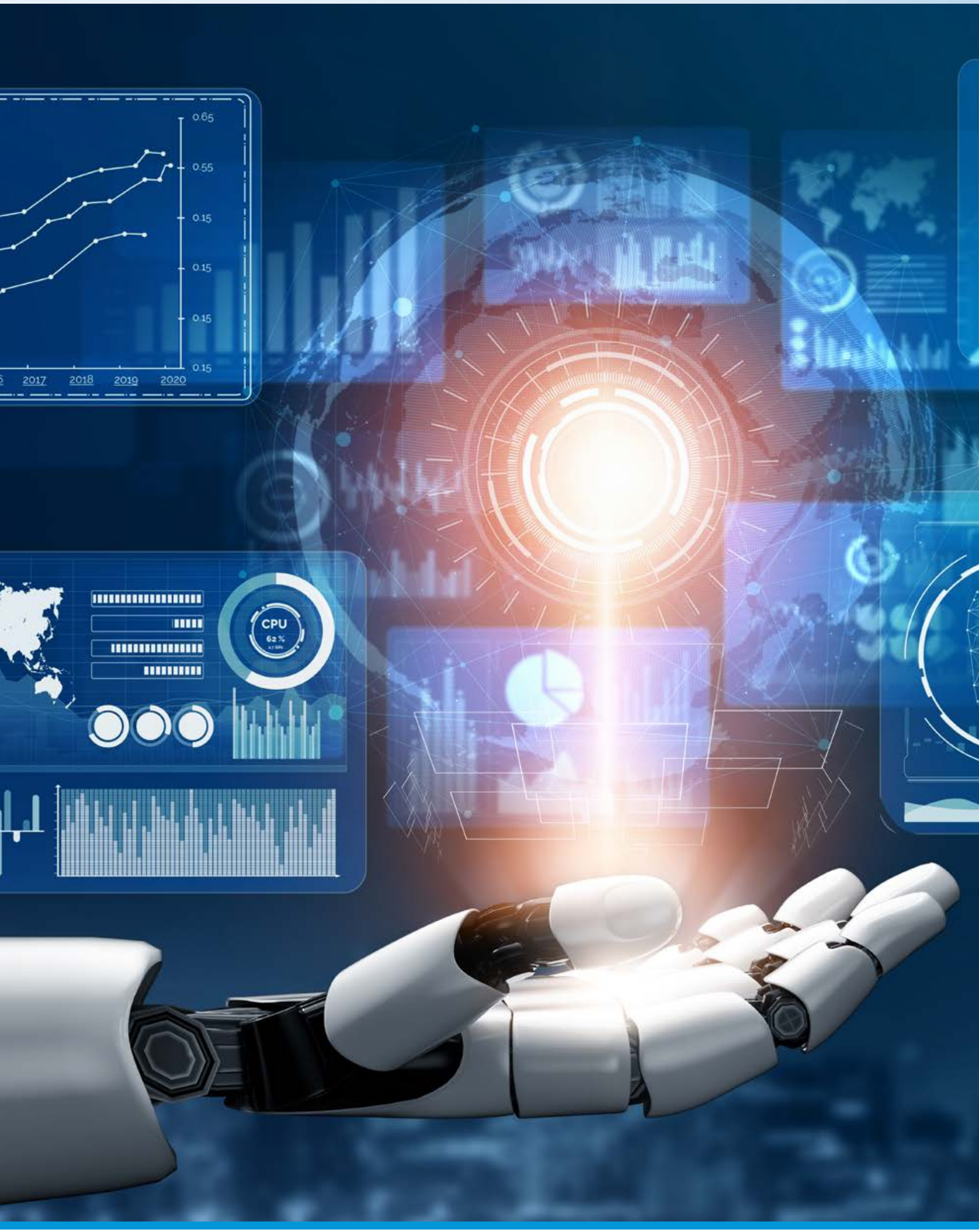
Internet industrial de las cosas

El IIoT está pensado como una extensión del Internet de las cosas (IoT), específicamente para el entorno de la fábrica. Va más allá de la conexión de dispositivos físicos "convencionales" (por ejemplo, dispositivos portátiles como relojes, dispositivos domésticos inteligentes, dispositivos de atención médica simples). Está especializado en soportar la conexión inalámbrica (a través de la nube[15] y los sistemas informáticos de borde[16]) y la interoperabilidad de robots y sistemas de control industrial. Cuestiones estrictamente relacionadas se refieren a la velocidad, fiabilidad, seguridad y consumo de energía.

Big data y análisis

La ISO/IEC 20546:2019 define el big data como "*conjuntos de datos extensos, principalmente en lo que se refiere a su **volumen**, **variedad**, **velocidad y/o variabilidad** - que requieren una tecnología escalable para su almacenamiento, manipulación, gestión y análisis eficientes*".

[15]La computación en la nube se refiere a "TI bajo demanda".
[16]Computación perimetral se refiere a la computación distribuida donde los datos se almacenan y procesan más cerca de donde se originan.


0.65
0.55
0.15
0.15
0.15
0.15
2017
2018
2019
2020
CPU
62 %

Alrededor de 2010, comenzaron a generarse nuevos tipos de conjuntos de datos en volúmenes muy grandes y variados (por ejemplo, video, redes sociales, transmisiones, aplicaciones móviles, IoT), todos con diferentes necesidades en términos de velocidad, lo que generó demandas adicionales en la tecnología. En el contexto de Industria 4.0, los big data capturados y compartidos por sensores (y otros dispositivos) se utilizan para:

» Garantizar una coordinación y sincronización óptimas de los equipos.

» Realizar inspección virtual y control de calidad de los productos.

» Analizar el proceso de producción (por ejemplo, identificar cuellos de botella ocultos o potenciales).

» Apoyar la automatización a través del análisis de datos históricos.

» Utilizar sistemas de inteligencia artificial para generar cambios que puedan ser implementados directamente por sistemas ciber físicos.

Se espera que estas aplicaciones impulsen el crecimiento de los datos del 10 % del total en 2020 a alrededor del 30 % en 2025. Para apoyar el desarrollo inclusivo y sostenible, se debe considerar el sesgo de los datos, ya que una representación sesgada o incompleta puede conducir a la continuación y reproducción de las desigualdades sociales.

Robótica avanzada

Según la norma ISO 8373:2012, un **robot industrial** es un "manipulador ***multipropósito, reprogramable, controlado automáticamente,*** *programable en tres o más ejes, que puede ser fijo o móvil para su uso en aplicaciones de automatización industrial*".

Para alinearse con los paradigmas de Industria 4.0 y la 4RI, la robótica está experimentando una rápida evolución, lo que lleva a una nueva generación de robots que están totalmente conectados, son más inteligentes, más flexibles y capaces de moverse y aprender por sí mismos. Tienen un papel fundamental y habilitador en la 4RI. Los robots y cobots (es decir, humanos y robots que colaboran juntos) son cada vez más comunes en todos los aspectos de la vida actual y la industria se beneficia específicamente de ambos.

Inteligencia artificial/Aprendizaje automático

El diccionario Merriam-Webster define la inteligencia artificial (IA) como:

> 1. *una rama de la informática que se ocupa de la simulación del comportamiento inteligente en las computadoras,*
>
> 2. *la capacidad de una máquina para imitar el comportamiento humano inteligente.*

En las últimas décadas, las aplicaciones y transferencia de ideas de la IA a muchos campos diferentes se han incorporado a una variedad de productos y servicios, como motores de búsqueda, redes sociales, traducción automática, fotografía digital, asistentes digitales, pilotos automáticos, drones y robots, así como tecnologías emergentes, como automóviles autónomos, tiendas minoristas sin personal y muchas más.

El aprendizaje automático, un término definido por Tom Mitchell (Aprendizaje Automático 1997) como "*el estudio de algoritmos informáticos que pueden mejorar automáticamente a través de la experiencia y el uso de datos",* se ha convertido en el campo dominante de la IA en la actualidad. Una de sus ramas, el **aprendizaje profundo**, definido por el diccionario de Oxford como *"un tipo de aprendizaje automático en base a redes neuronales artificiales (ANN) en el que se utilizan múltiples capas de procesamiento para extraer características de nivel progresivamente más alto de los datos"* surgió tras el aumento de la potencia de procesamiento de las computadoras y la introducción de las GPU (unidades de procesamiento de gráficos).

El uso de sistemas de aprendizaje automático y aprendizaje profundo es de fundamental importancia para la Industria 4.0 como un habilitador clave de varias funciones, que incluyen:

» "Visión", por ejemplo, detección y manipulación de objetos por parte de robots y otros dispositivos que actúan en el taller de la fábrica.

» Todas las actividades descritas en la sección anterior de "big data", que proporcionan la inteligencia necesaria para:

- posibilitar la inspección y el control de calidad del producto automatizados (por ejemplo, detección de anomalías del producto, como arañazos, desgaste, suciedad, decoloración)
- análisis de diagnóstico de maquinaria y otros equipos (para comprobar si los cojinetes, rotores, cajas de cambios, etc. funcionan correctamente e identificar y describir el mal funcionamiento)
- análisis de datos en tiempo real para la optimización de procesos (prevención de cuellos de botella y tiempos de inactividad)
- análisis predictivo, trabajando en datos históricos para sugerir la mejora del proceso

» Asistencia en el diseño de productos, y particularmente en simulaciones.

Informática en la nube

La informática en la nube se refiere al uso de la disponibilidad "bajo demanda" de los recursos de TI (en particular, la potencia de procesamiento y almacenamiento de datos) mediante el acceso a servidores de datos distribuidos en múltiples ubicaciones y sin una gestión activa directa por parte del usuario.

La informática en la nube permitió la 4RI al dar lugar a un mayor precio/rendimiento de los recursos informáticos y servicios de telecomunicaciones. Esto abrió nuevas posibilidades para el uso de servicios globales, ampliables y seguros, con niveles de rendimiento ajustados a las necesidades del cliente, proporcionados a través de servidores de datos que brindan un rendimiento optimizado.

Como otro habilitador esencial para la 4RI y la Industria 4.0, algunas de las funciones más importantes proporcionadas por la informática en la nube son:

» Almacenamiento e intercambio de datos entre dispositivos conectados a través del IIoT .

» Uso de potencia de procesamiento y aplicaciones especializadas (incluidos servicios y análisis de IA).

» Apoyar la visibilidad y el intercambio de datos entre múltiples partes a lo largo de las cadenas de suministro.

» Habilitación del seguimiento de ubicación de artículos de productos dentro de fábricas y para aplicaciones de logística.

Fabricación aditiva (impresión 3D)

La ISO/ASTM 52900:2015 define la fabricación aditiva como el "*proceso de unión de materiales para fabricar piezas a partir de datos de modelos 3D, generalmente capa sobre capa, en contraposición a las metodologías de fabricación sustractiva y formativa*".

Esto se refiere a un modelo digital (generalmente creado por un diseño asistido por computadora, CAD, software o un escaneo de objetos 3D) y un proceso controlado por computadora para crear el objeto 3D.

La impresión 3D es una forma de fabricación aditiva y en la ISO/ASTM 52900:2015 se define como la "*fabricación de objetos mediante la deposición de un material utilizando un cabezal de impresión, una boquilla u otra tecnología de impresión*". Sin embargo, la impresión 3D también se utiliza como sinónimo de fabricación aditiva (FA).

Chris Hull fundó 3D Systems Corporation que comenzó a comercializar impresoras 3D a fines de la década de 1980. Fue solo en la segunda mitad de la década de 2000 que se produjo una aceleración sustancial en el "uso" de esta tecnología (y en particular de las impresoras 3D). Su evolución también involucró a las empresas de ingeniería y fabricación, yendo más allá de la simple creación de prototipos, a la fabricación de piezas de productos reales con la precisión y confiabilidad adecuadas. En este sentido, cabe destacar otros tres aspectos importantes de la evolución de la fabricación aditiva:

» En primer lugar, la aparición de un repositorio de diseños de productos (es decir, una descripción digital completa de los productos, utilizando diferentes formatos) disponibles en Internet y de mercados en línea de impresión 3D que ofrecen una variedad de servicios.

» En segundo lugar, la impresión 3D tendrá un impacto significativo en las cadenas de valor globales. El nivel de disrupción será diferente según el sector y las características específicas de las cadenas globales de valor (CGV).

» Por último, un impacto importante es que el insumo de mano de obra para estos productos es sustancialmente menor que para los procesos convencionales, y esto conducirá a una mayor producción local a pequeña escala.

Es evidente que la fabricación aditiva es un componente importante de la 4RI. Algunos de los aspectos principales junto con el impacto potencial en las CGV son:

» Prototipado más rápido y económico.

» Simplificación y aumento potencialmente enorme de la productividad en la producción de piezas: las piezas que requieren pasos de procesamiento complejos se pueden producir de una sola vez, lo que aumenta la productividad general.

3.2

LA 4RI Y LA INDUSTRIA 4.0 IMPACTAN EN IC INTELIGENTE

El escenario presentado en las secciones anteriores tiene un profundo impacto en la IC. Está claro que los servicios necesarios de IC y la forma en que se desarrollan y prestan están cambiando, en particular en términos de velocidad, complejidad, riqueza de información y capacidad para estructurar y entregar información a los destinatarios apropiados (humanos o máquina).

Según INetQI[17], la IC es un "sistema que combina iniciativas, instituciones, organizaciones (públicas y privadas), actividades y personas. Incluye las políticas, el marco legal y regulatorio relevante y las prácticas necesarias para respaldar y mejorar la calidad, seguridad y solidez ambiental de los bienes, servicios y procesos. Se requiere para el funcionamiento eficaz de los mercados nacionales, y su reconocimiento internacional es importante para establecer su credibilidad en los mercados locales y extranjeros. La IC es un elemento fundamental para promover y sostener el desarrollo económico, así como el bienestar ambiental y social". Los componentes clave de la IC Inteligente consisten en instituciones responsables de la estandarización, metrología, evaluación de la conformidad y acreditación (para más detalles, ver la publicación de la ONUDI "Infraestructura de calidad Fomentando la confianza para el comercio").

Dado lo anterior, existen dos grandes desafíos en el desarrollo de la IC Inteligente:

» Primero, cómo las mejoras de procesos (impulsadas por la digitalización y la necesidad de cumplir con los requisitos cambiantes de todas las partes interesadas) están afectando a todas las organizaciones de la IC Inteligente. Esta perspectiva es fundamental para las organizaciones de desarrollo de estándares (ODE), dado que el proceso de desarrollo de estándares es la piedra angular de sus actividades, pero también es de gran importancia para todas las demás organizaciones de la IC, en relación con los procesos que siguen para desarrollar sus respectivos productos y servicios. **El Anexo 3** ilustra la dicotomía fundamental que enfrentan las ODE. También incluye un resumen de las mejoras de proceso que pueden aplicar todos los ODE.

» En segundo lugar, los nuevos tipos emergentes de productos, servicios y soluciones que diferentes organizaciones de la IC Inteligente están desarrollando para satisfacer las necesidades de las partes interesadas, específicamente en el marco de la Industria 4.0 y la 4RI.

3.2.1 LA TRANSICIÓN DE LA IC HACIA PROCESOS INNOVADORES Y SERVICIOS DE IC INTELIGENTE

A continuación se presenta un resumen de algunas de las innovaciones emergentes para cada componente de la IC que muestra cómo están adaptando sus procesos en respuesta a las demandas de la digitalización y la Industria 4.0.

[17] https://www.inetqi.net/

METROLOGÍA INTELIGENTE

La metrología está experimentando cambios extraordinarios como resultado de la Industria 4.0 y la transformación digital. Comenzando con la redefinición de las unidades básicas del Sistema Internacional de Unidades (SI), los desarrollos recientes incluyen la metrología en química, biología y ciencias de la salud, el surgimiento de la metrología cuántica, así como el mayor desarrollo de la metrología a nano escala (nano metrología).

La automatización de pruebas y medidas ha supuesto un progreso significativo, y las tendencias futuras apuntan a asegurar y mejorar la calidad de los productos y procesos de fabricación. Esto se logra capturando y combinando datos de fabricación con datos de evaluación e inspección metrológica en "tiempo real", y procesándolos, reduciendo así la necesidad de operaciones separadas fuera de línea.

Un entorno caracterizado por una proliferación de dispositivos interconectados, un aumento espectacular de los datos, el uso de software avanzado y las acciones autónomas de los equipos están empujando a la metrología a innovar para mantener sus funciones críticas y su valor.

Las principales innovaciones de la metrología en relación con la digitalización y la Industria 4.0 incluyen:

» **Metrología en línea/en máquina**: Son mediciones realizadas como parte del flujo de trabajo del proceso, ya sea en una línea de producción o directamente en la máquina donde se fabrica el objeto.[18] La idea es incorporar inspecciones/controles en el proceso en lugar de realizarlos como una actividad separada. Esto se basa en el concepto de que la máxima eficiencia del control de calidad se produce cuando la medición se realiza en el punto más cercano al proceso de fabricación. La medición en línea y en máquina acelera el proceso y permite ajustes inmediatos. La metrología en máquina resulta especialmente atractiva porque la inspección se puede realizar simultáneamente con las operaciones de mecanizado (inspección en proceso de la máquina), con la máxima eficiencia (no se necesita tiempo adicional para la inspección) y otras ventajas (por ejemplo, comparación inmediata con los datos de diseño que toma la máquina y mecanizado de compensación si se detectan anomalías). La metrología en línea/en máquina requiere tecnologías de apoyo, a varios niveles, incluidos equipos de metrología sin contacto mejorados, software avanzado y, para metrología en máquina, integración del instrumento de medición con la máquina en cuestión.

[18] Aquí nos centramos en la fabricación discreta y la metrología dimensional.

» **Metrología sin contacto:** se trata del escaneo de objetos en alta resolución, generalmente combinado con el control remoto de instrumentos de medición. Los dispositivos sin contacto están aumentando su nivel de precisión día a día y brindan ventajas sustanciales. Son más rápidos, permiten recopilar más datos (desde diferentes perspectivas), pueden capturar formas de superficie complejas, no interfieren con el movimiento de un objetivo y son ideales para las mediciones en línea. Los instrumentos de medición sin contacto utilizan varias tecnologías, incluidos los sistemas de visión, los sistemas basados en láser, los escáneres de tomografía computarizada, la fotogrametría y el sensor de distancia de luz blanca confocal.

» **Estructuras y modelos de datos relacionados con la medición (compatibles con software avanzado):** las operaciones de medición y control en el contexto de la Industria 4.0 requieren que los datos se organicen de manera eficiente. Por lo tanto, las estructuras de datos y las aplicaciones de software son críticas. Por ejemplo, el software de realidad aumentada/realidad virtual (AR/VR) que utiliza datos de sensores permite desarrollar modelos mejorados de objetos (por ejemplo, piezas de productos pequeñas e intrincadas) para los que los datos básicos son insuficientes. Las herramientas CAD deben comparar los datos del modelo 3D y las dimensiones y tolerancias relacionadas con la información del producto capturada en el proceso de fabricación para evaluar la conformidad, evaluar los defectos y, si es necesario, dar lugar a acciones correctivas.

» **Tecnologías de inspección:** por lo general, estas se encuentran en formatos propios, lo que dificulta que las empresas usuarias desarrollen sistemas integrados. Sin embargo, esta situación puede abordarse, por ejemplo, a través de plataformas basadas en el Marco de Información de Calidad publicado como ISO 23952:2020. La filosofía de dicho marco es: "Todos los modelos de información para transportar datos de calidad deben derivarse de bibliotecas de modelos comunes para que los componentes de modelado de información comunes puedan reutilizarse a lo largo de todo el proceso de medición de calidad y, como consecuencia, todo el proceso será inherentemente interoperable."

» **Calibración sin contacto (TCal):** Este es otro concepto y tendencia importante para la Industria 4.0. La idea es establecer una conexión digital con el laboratorio de calibración, proporcionar una copia digital de la unidad a prueba, recibir datos de calibración relevantes del laboratorio y realizar la calibración en las instalaciones de fabricación. Se trata de otra forma de mejorar la eficiencia del proceso, calidad del producto y prevenir posibles paradas de producción. Con TCal, el estándar de referencia de calibración permanece en el laboratorio de calibración, mientras que la unidad a prueba permanece en el sitio. Este proceso, sin embargo, introduce nuevas incertidumbres que deben gestionarse.

Uno de los impulsores clave de la innovación en metrología es permitir la provisión de estos servicios de una manera estructurada y consistente. Subyacente a esto se encuentra la transposición del SI al mundo digital. Este esfuerzo está liderado por el Grupo de Trabajo del Comité Internacional de Pesos y Medidas (CIPM) para el "SI Digital" (TG "SI Digital"), que publicó la "Gran visión del Marco Digital SI" en 2020, destacando los objetivos a lograr.

"*El objetivo a largo plazo de la iniciativa TG "Digital SI" es establecer un marco que cumpla con FAIR (Findable, Accessible, Interoperable, Reusable) (respetando las restricciones comerciales y de privacidad) y permita acceder e interpretar digitalmente todos los aspectos del sistema de medición internacional -resultados de medición, incertidumbres, trazabilidad y procedencia- para su acceso e interpretación digital, lo que permita la comunicación y el análisis de máquina a máquina.*

El marco permitirá representar digitalmente más información, no solo los resultados de las mediciones, sino también el sistema que se mide, cómo se realizaron las mediciones y el flujo de trabajo (datos, modelos, software) asociado con el establecimiento de los resultados de las mediciones. El marco aumentará el nivel de legibilidad de la máquina desde las capacidades básicas hasta la representación completa del conocimiento procesable de la máquina".

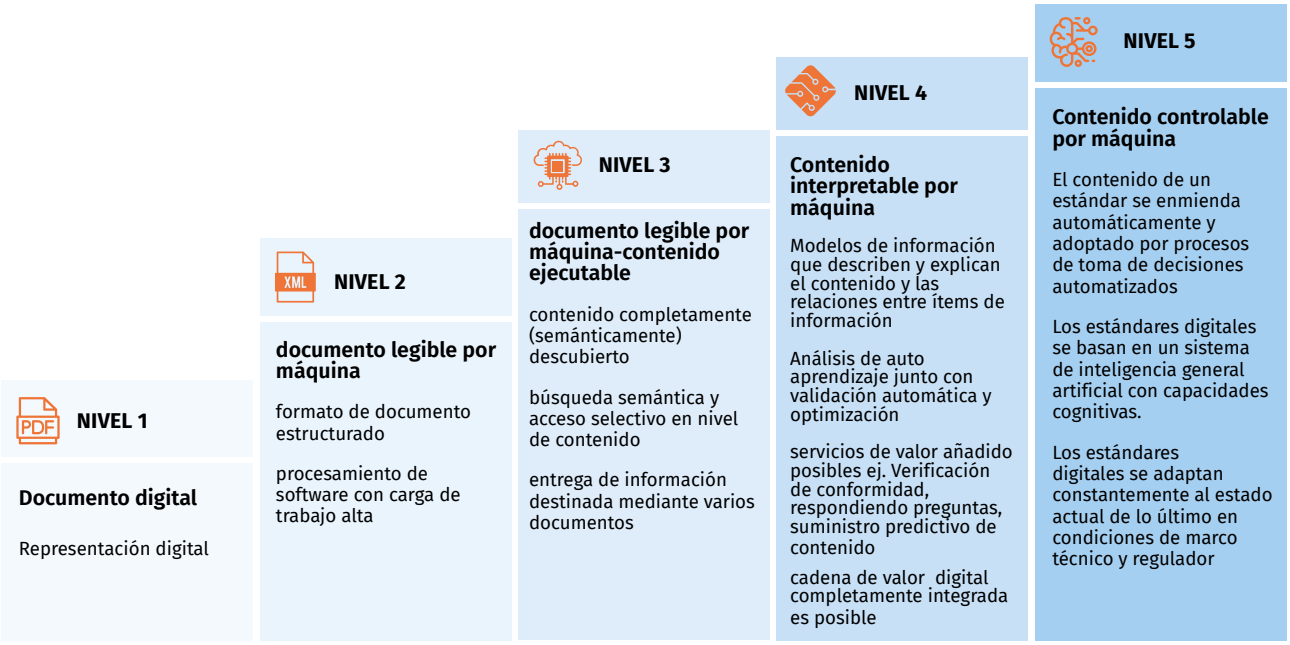
El desarrollo del Marco Digital SI se lleva a cabo en dos fases.

» La primera fase se refiere al desarrollo de modelos interoperables de datos y metadatos para cantidades y unidades del SI y la representación en forma digital del conocimiento integrado en los documentos de referencia SI primarios.

» La segunda fase se referirá a la representación digital de los procesos de medición (incluidos los procedimientos de medición, los flujos de trabajo, métodos de análisis, procedencia y cadenas de trazabilidad) para permitir que las máquinas accedan a datos de medición completos y actúen de forma autónoma.

El Marco Digital SI proporciona una referencia clara y unificadora para las iniciativas emprendidas por los Institutos Nacionales de Medición y la

FIGURA 3: **ESCENARIOS PARA LA DIGITALIZACIÓN DE ESTÁNDARES**



https://www.dke.de/resource/blob/2076816/facc9bde1806e2194a3d26a60c79bf77/idis-whitepaper-1-en---download-data.pdf

comunidad de metrología en general en apoyo de la digitalización, generalmente definida como "Metrología para la Transformación Digital".

Dada la proliferación de sensores de bajo costo y su papel crítico en la 4RI, la comunidad de metrología internacional está respondiendo al desafío de garantizar que los datos de calibración sean legibles tanto por humanos como por máquinas. Actualmente, los certificados de calibración presentan los resultados de un proceso de calibración en un formato que debe ser evaluado por un ser humano e interpretado para su uso. Sin embargo, las máquinas actualmente no tienen la inteligencia para poder comprender el contexto y, por lo tanto, deben confiar en otros métodos para interpretar los datos. El Certificado de Calibración Digital (DCC), actualmente en proceso de diseño, tiene como objetivo proporcionar formatos de intercambio universales para resultados de calibración que sean legibles e interpretables tanto por humanos como por máquinas.

Estandarización inteligente

El tema dominante con respecto a los nuevos tipos de bienes y servicios habilitados por la digitalización es el de los "estándares legibles por máquina". Muchas ODE, como ISO, IEC, CEN y CENELEC, ya están trabajando en esta dirección estratégica.

Durante décadas, los estándares se han producido primero como documentos en papel y luego como versiones electrónicas de documentos en papel, normalmente en formato PDF. Han sido desarrollados para ser leídos por el ojo humano.

La idea detrás de los estándares legibles por máquina es transformar el contenido de los estándares, es decir, el conocimiento integrado en los estándares, en formatos digitales apropiados que las máquinas puedan "entender" y "actuar en consecuencia". Esto sería de un gran valor para la Industria 4.0 (y para muchos otros dominios abarcados por la 4RI). Nos brindaría la posibilidad de incorporar requisitos y otra información "granular" relevante incluida en los estándares en el software detrás del funcionamiento de las máquinas, o el análisis de datos de productos y procesos para funciones de monitoreo y control u optimización de procesos. ISO e IEC llaman a este programa transformador SMART (Standards Machine Applicable, Readable and Transferable- Máquina de Normas Aplicable, Legible y Transferible). Este programa conjunto de ISO e IEC impulsará la evolución digital de las normas internacionales para abordar las necesidades de los ciudadanos, las sociedades y las economías. Existe un intercambio constante y continuo de información con CEN/CENELEC que tienen un programa SMART similar.

En la figura 3 se muestra un modelo desarrollado por el IEC SMB – Grupo Estratégico 12, Transformación Digital y Enfoque de Sistemas, revisado y ampliado por los organismos de estandarización alemanes DIN y DKE.[19]

La Figura 3 ofrece una representación útil de los diversos niveles de legibilidad y "accionabilidad" por parte de máquinas de la mayoría de estándares digitales en el futuro. El nivel 1 representa documentos impresos en papel y el nivel 5

[19] DIN/DKE, Escenarios para la digitalización de estandarización y estándares.

representa estándares que pueden ser leídos, entendidos y aplicados por máquinas. Aunque estos niveles SMART fueron una aporte inicial clave en el programa ISO/IEC SMART, actualmente están siendo revisados para alinear la terminología y evitar confusiones y malentendidos.

ISO, IEC y CEN han comenzado a publicar estándares en el formato de lenguaje de marcado extensible (XML) NISO STS (Standards Tag Suite). *"NISO STS proporciona un formato XML común que los desarrolladores, editores y distribuidores de estándares... pueden usar para publicar e intercambiar contenido de texto completo y metadatos de estándares".* Esto cubre parcialmente el nivel 2 del gráfico anterior. Sin embargo, vale la pena señalar que el formato NISO (y las implementaciones ISO e IEC en base a él) están diseñados principalmente para facilitar la automatización de los procesos de publicación.

Algunos elementos de contenido (como tablas y fórmulas) se pueden extraer pero, en términos generales, el marcado se limita a cláusulas completas como elementos únicos. Esto significa que su aplicación para incorporar contenido de estándares granulares, como requisitos y valores de referencia, en procesos automatizados aún requiere de un trabajo manual ad hoc considerable.

Algunos ODE y empresas privadas han desarrollado aplicaciones que utilizan el contenido de los estándares para alimentar aplicaciones y sistemas de automatización industrial, pero en su mayoría son soluciones en base a proyectos o específicas del proveedor. Además, ya existen estándares que ofrecen entregables en formatos aptos para ser procesados por una computadora.

Existen proyectos SMART en marcha en ISO e IEC, así como en CEN/CENELEC, para diseñar estándares para el futuro (estándares digitales que cumplan con los requisitos de los niveles más altos de SMART descritos en la figura 3), entendiendo que estos estarían dirigidos a aquellos sectores y áreas de aplicación que necesitan estándares más "centrados en datos" que "centrados en documentos".

El asunto es complejo y requiere de importantes esfuerzos y coordinación entre expertos. Un aspecto crítico es el de cómo capturar y representar los elementos granulares de información, incluidos en los estándares con su semántica.

A continuación hay un ejemplo sencillo (relativo a la norma IEC 60376) que ilustra el tipo de problemas que deberán ser abordados.[20]

Considerando el **requisito** sobre el impacto ambiental:

"*Las mezclas de SF6, CF4 y SF6 con N2 y/o CF4 tienen un **cierto** impacto ambiental. Debido a este impacto, el SF6, CF4 y su mezcla gaseosa deben manipularse con **cuidado** para evitar la liberación **deliberada** de gas SF6 y CF4 a la atmósfera.*

El uso de palabras en negrita presupone que las personas que leen el requisito lo "comprenderán" e "interpretarán" de manera consistente y repetible. Por ejemplo, ¿qué significan los términos "**cuidadosamente**", "**cierto**" y "**deliberado**" en este caso y cómo los entiende o interpreta cada usuario de la norma? ¿Debemos anticipar la posibilidad de una acción maliciosa deliberada? Y si es así, ¿debería anticiparse y cómo debería "tratarse"?".

Es evidente, tanto para el entendimiento humano como para las máquinas, que los requisitos deben expresarse de manera unívoca e inequívoca. Para esto, se necesitan varias técnicas y herramientas de la ciencia de la información y procesamiento del lenguaje natural que puedan respaldar la creación de estándares legibles por máquina.

Otro problema (probablemente inevitable, considerando la gran cantidad de estándares publicados) es el de la extracción de información de los estándares existentes. Esto podría hacerse mediante el uso de métodos y herramientas de procesamiento de lenguaje natural y la aplicación de métodos de aprendizaje profundo/AA. Vale la pena señalar que los conjuntos de datos anotados (o etiquetados) aún no están disponibles y deben desarrollarse gradualmente.

Evaluación de Conformidad Inteligente

La transformación digital también está impactando sustancialmente en la evaluación de la conformidad (EC), impulsando la innovación en todas las organizaciones que brindan servicios de prueba, inspección y certificación (PIC).

Manteniendo el foco en la Industria 4.0 y el impacto de la digitalización, las transformaciones más importantes se refieren a:

- Automatización de las actividades de ensayo e inspección.
- Inspecciones y auditorías remotas.
- Nuevos roles y habilidades requeridas para los inspectores/auditores.
- Uso de tecnologías blockchain para la certificación y trazabilidad de productos en las cadenas de suministro.

Automatización de los servicios de ensayo e inspección

Con respecto a la automatización de las actividades de prueba e inspección, los proveedores de servicios de EC abordan muchos de los problemas relacionados con la precisión e integridad de la medición. Se ocupan de la medición en línea y sin

[20]Tomado de Hélène De Ribaupierre , et al. (2021) Extracción automática de requisitos expresados en estándares industriales: ¿un camino hacia estándares legibles por máquina?

contacto y del uso de software avanzado, incluidas técnicas de Big Data y IA/AA para agregar y analizar datos. Además, el "mantenimiento predictivo" es otra área que capta especial atención.

Como siempre habrá varios niveles de automatización implementados por las empresas de fabricación, los proveedores de servicios de CA deben adaptarse y ofrecer servicios de EC adaptados a las necesidades de las empresas. En términos generales, lo que se puede considerar hilos comunes son:

» Desarrollo de competencia en tecnologías, equipos, software y sistemas que soportan formas avanzadas de medición, captura de datos y métodos de análisis. Algunos organismos de evaluación de la conformidad (OEC) ya están ofreciendo soluciones basadas en estas tecnologías, asociándose con proveedores de sistemas especializados.

» La capacidad de brindar una combinación de soporte in situ con inspecciones y servicios remotos, usando un modelo de negocios con base en la nube. Los clientes envían datos relevantes a través de la nube para que sean procesados por el proveedor de servicios de EC y pueden obtener en línea los resultados de las actividades realizadas.

Auditorías e inspecciones remotas

Las auditorías remotas representan otro gran avance que ha experimentado un crecimiento espectacular debido a las medidas de confinamiento durante la pandemia de COVID-19. La mayoría de estas actividades se realizan en sustitución de las correspondientes "convencionales" (que requieren intervención in situ). Las auditorías e inspecciones remotas permiten a los auditores/inspectores utilizar una variedad de ayudas visuales y electrónicas.

Estas actividades se basan en el uso de diversas tecnologías con niveles de especialización según el ámbito y el contexto. Por ejemplo, las inspecciones de productos o plantas en lugares que son peligrosos o de difícil acceso (por ejemplo, dentro de una tubería o un motor o dentro de una unidad de fabricación que utiliza sustancias peligrosas), pueden requerir el uso de equipos especiales de sondeo de video (cámaras de inspección, videoscopios, boroscopios, fibroscopios), circuito cerrado de TV, sistemas de realidad virtual y aumentada y otras herramientas. Además, la publicación de la ONUDI "Evaluación remota de la conformidad en un mundo digital" brinda una descripción general de las formas en que las técnicas de evaluación/auditoría remotas se han desarrollado en los últimos años y se han aplicado en diferentes contextos de EC, incluidas sus implicaciones para el futuro.

Para actividades más habituales relacionadas con auditorías e inspecciones, las tecnologías típicas utilizadas incluyen:

» Videoconferencia, con funcionalidades relacionadas (intercambio de documentos, chats en pantalla, etc.).

» Transmisión de videos en vivo desde cámaras montadas en el cuerpo y en el equipo u otros dispositivos (por ejemplo, drones).

» Grabaciones de video y audio tomadas deliberadamente para auditorías.

» Documentación relevante (documentos y datos) en formato electrónico.

La ejecución exitosa de auditorías e inspecciones remotas requiere la adopción de buenas prácticas aceptadas para garantizar la confianza y la aceptación de los resultados.

Con respecto a las auditorías remotas, ISO y el Foro Internacional de Acreditación (IAF, por sus siglas en inglés) han publicado estándares y pautas específicos, que incluyen la norma ISO 19011:2018, Pautas para auditar sistemas de gestión, y el IAF MD 4 - Documento obligatorio de IAF para el uso de Tecnología de la información y la comunicación (TIC) para fines de auditoría/evaluación.

Un documento útil que brinda información completa sobre el tema es la Guía conjunta de ISO/IAF sobre auditorías remotas, desarrollada por el Grupo de Prácticas de Auditoría ISO 9001[21] y publicado en 2020.

Para las inspecciones a distancia, en términos generales, se aplican buenas prácticas como las establecidas para las auditorías. Las autoridades públicas de varios países han desarrollado directrices específicas e información relacionada para sectores específicos (por ejemplo, el sector médico) y organizaciones como el Consejo Internacional de Códigos, que desarrolló las *Prácticas Recomendadas para Inspecciones Virtuales Remotas.* Se están elaborando otros documentos, incluidas las directrices para la inspección remota de buques por parte del Comité de Seguridad Marítima de la Organización Marítima Internacional. Además, la norma NFPA 915 de la Asociación Nacional de Protección contra Incendios (NFPA) para inspecciones remotas establece los requisitos mínimos para que las inspecciones remotas brinden un resultado equivalente o mejorado al que se obtendría con otros métodos de inspección.

Una encuesta conjunta de IAF/ILAC/ISO[22] a más de 4,000 participantes concluyó en agosto de 2021

[21] https://committee.iso.org/home/tc176/iso-9001-auditing-practices-group.html

[22] https://ilac.org/latest_ilac_news/use-of-remote-techniques-supported-by-iaf-ilac-iso-survey/

que la mayoría de los encuestados (alrededor del 80%) prefiere auditorías remotas o combinadas (remotas e in situ), valoraciones y evaluaciones. La misma mayoría estuvo de acuerdo en que los procedimientos remotos dan la misma confianza que las auditorías in situ y más del 90% consideró que un aumento sustancial de las técnicas remotas estimulará el uso de nuevos procesos. Sobre la base de estos resultados alentadores, las tres organizaciones están planificando nuevos desarrollos para seguir avanzando en esta área.

En resumen, las transformaciones relacionadas con la digitalización requieren que los auditores e inspectores desarrollen nuevas habilidades y enfoques para poder continuar manteniendo la integridad de los servicios de evaluación de la conformidad.

Nuevos roles y habilidades requeridas para los auditores/ inspectores

Los auditores e inspectores deben adquirir conocimientos y experiencia en muchas de las tecnologías descritas anteriormente y su aplicación para establecer procesos de control y medición integrados más avanzados. Los OEC estarán, cada vez más, llamados a apoyar la puesta en marcha de los sistemas automatizados y la supervisión y seguimiento de su correcto funcionamiento, asegurando el cumplimiento de las normas de referencia y las buenas prácticas.

Usos de la tecnología blockchain

ITU-T define Blockchain como “Un tipo de libro mayor distribuido que se compone de datos registrados digitalmente organizados como una cadena de bloques en crecimiento sucesivo con cada bloque vinculado criptográficamente y protegido contra la manipulación y la revisión”.

Dicho esto, la tecnología blockchain ya está afectando a la EC. Al menos a corto plazo, se prevé que tenga un impacto, como mínimo, en tres áreas importantes:

» Verificar la conformidad de los productos en cada paso de la cadena de suministro y garantizar la trazabilidad total (por lo tanto, proporcionar formas de certificación excepcionalmente sólidas y completas).

» Marcas de conformidad, utilizadas para dar confianza al mercado al demostrar que un producto o servicio cumple con los requisitos especificados.

» Bases de datos de empresas certificadas, asegurando información actualizada y verificada sobre las empresas y sus certificaciones.

Otras áreas particularmente importantes para la Industria 4.0 incluyen, por ejemplo, la identificación precisa de productos y ensamblajes, incorporando información detallada sobre los componentes del producto, sus propiedades, orígenes y más.

Acreditación inteligente

Muchas de las áreas destacadas para la EC también son relevantes para la acreditación. El uso de tecnologías digitales por parte de los organismos de acreditación se relaciona principalmente con:

» Evaluaciones remotas (auditorías en la EC).

» Uso de la tecnología blockchain para la verificación en tiempo real de los datos de evaluación.

» Certificación acreditada de servicios que soportan transacciones electrónicas (como firmas electrónicas, servicios de entrega certificada y certificados, autenticación de sitios web).

En este sentido, se aplican las consideraciones presentadas para la EC. Sin embargo, los organismos de acreditación tienen una mayor responsabilidad con respecto a la verificación de la precisión e integridad de las actividades realizadas por los OEC. Esto incluye la confiabilidad, certeza y falta de ambigüedad de las tecnologías utilizadas por los OEC. Por lo tanto, los organismos de acreditación necesitan una mejor comprensión de la solidez de las tecnologías y su idoneidad para el propósito al evaluar la conformidad.

Además, los organismos de acreditación juegan un papel fundamental en su interacción con las autoridades públicas en relación con los aspectos regulatorios relacionados con el desarrollo de soluciones digitales, que requieren diversas formas de EC, proporcionadas por organismos de certificación acreditados. Las auditorías e inspecciones remotas y la aplicación de tecnologías blockchain en una variedad de sectores son ejemplos importantes.

3.3 CONTRIBUCIONES CLAVE DE IC INTELIGENTE A LA 4RI

La Sección 3 describe cómo la IC Inteligente está íntimamente relacionada con las tecnologías de la información y la comunicación que sustentan la 4RI. Para completar el cuadro sobre la sinergia entre IC y 4RI, presentamos dos ejemplos de contribuciones clave que la IC Inteligente está haciendo a la 4RI y la Industria 4.0.

Ejemplo 1: Desarrollo de tecnologías avanzadas de producción digital

Todas las tecnologías mencionadas anteriormente (IIoT, big data, robótica avanzada, IA, informática en la nube y fabricación aditiva) tienen necesidades específicas de estandarización y EC que son extremadamente importantes para su desarrollo e integración en una amplia variedad de campos y aplicaciones.

Estos asuntos son altamente especializados, evolucionan rápidamente y tienen cientos de organizaciones profundamente involucradas en varios niveles. A continuación, se presentan algunos de los problemas a los que se enfrentan.

El problema de **big data**

El big data abarca una amplia variedad de datos. Los enormes conjuntos de datos capturados en forma no estructurada tienden a agregarse utilizando mecanismos ad hoc por parte de los proveedores de información y empresas usuarias, creando silos de datos que se pueden utilizar bien y pueden ser difíciles de intercambiar.

La estandarización está brindando una importante contribución para abordar esto. Los estándares tecnológicos existen y admiten el procesamiento distribuido de grandes conjuntos de datos en grupos de computadoras. Se han configurado y difundido a través de iniciativas de código abierto (como Apache Hadoop) y se han integrado en las soluciones ofrecidas por los proveedores o implementados directamente por las empresas usuarias.

Se puede encontrar orientación sobre big data, potencialmente muy importante para promover la armonización, en la serie de estándares ISO/IEC 20547. Estos estándares definen una "Arquitectura de referencia de big data" (BDRA) que proporciona un lenguaje común para uso de todas las partes interesadas, un marco conceptual modelo de big data que incluye una descripción de componentes, procesos y sistemas y una categorización de roles y actividades dentro del "ecosistema" de big data.

Sin embargo, aún se necesitan más esfuerzos de estandarización para respaldar las funciones de transmisión y captura de datos en tiempo real, lo que permita procesar y analizar grandes cantidades de datos en tiempo real, o definir ontologías de dominio (por ejemplo, terminología, definiciones, clasificación) que facilitarían el intercambio de datos a través de las funciones de la empresa.

El tema de **la robótica avanzada**

Otro ejemplo es el rápido desarrollo de la robótica avanzada, que ha dado lugar a importantes iniciativas de estandarización. El creciente uso de robots industriales ha puesto en evidencia asuntos de confiabilidad, seguridad y protección. Los robots pueden funcionar mal debido a fallas mecánicas, cortes de energía y fallas de software. Estos problemas están siendo abordados por proyectos de estandarización de varias organizaciones (incluyendo el ISO TC 299, Robótica).

Las principales tendencias relacionadas con la Industria 4.0 y la digitalización están haciendo que los robots pasen de realizar tareas rutinarias específicas a tener un comportamiento "autónomo", basado en el autoaprendizaje, para volverse adaptables, principalmente a través de la interconexión con el IIoT. Está claro que se necesitan más esfuerzos de estandarización para:

» implementar mejoras sustanciales en el software de los robots, es decir, los lenguajes de programación y herramientas de software necesarias para instruir a un robot para que realice tareas mecánicas, active acciones o interactúe con sistemas electrónicos.

» definir ontologías para robótica y automatización.

» facilitar el desarrollo de bibliotecas de software y conjuntos de datos categorizados, que admitan la multitarea del robot, el control remoto, la conexión con sistemas de aprendizaje profundo de IA y más.

Blockchain es otra tecnología de rápida evolución que ha captado la atención en diferentes áreas y tiene el potencial de respaldar cambios fenomenales ("*... la tecnología aún está madurando y muchos desafíos, incluidos los técnicos, la interoperabilidad y los problemas legales, deben abordarse antes de que la tecnología pueda utilizarse en todo su potencial* " (Informe de la OMC, 2018 "¿Puede el Blockchain revolucionar el comercio internacional?").

Ejemplo 2: Interoperabilidad

Esta es un área en la que la IC Inteligente puede contribuir significativamente a la Industria 4.0. Esta última está impulsando una proliferación de dispositivos, máquinas y aplicaciones de diferentes proveedores, utilizados por empresas en fábricas en múltiples ubicaciones e intercambiando con socios a lo largo de las cadenas de suministro. La interoperabilidad entre sistemas heterogéneos es, por lo tanto, un factor clave para el éxito de la Industria 4.0.

La IC Inteligente puede contribuir significativamente a tres temas principales en este sentido:

» Modelos de arquitecturas de referencia para la Industria 4.0.

» Intercambio de datos entre dispositivos interconectados.

» Consolidación de conjuntos de datos del mundo ciberfísico, haciéndolos disponibles y adecuados para su uso por los sistemas de IA.

Modelos de referencia:

Proporcionan una estructura general y una terminología para describir y especificar arquitecturas de sistemas. Ofrecen una base de referencia para definir las entidades relevantes y comprender sus relaciones en cada dominio (en este caso, la fabricación inteligente), fomentando la claridad, coherencia de conceptos, un lenguaje común y una base para la interoperabilidad de los sistemas.

En la actualidad existen algunos modelos líderes de arquitectura de referencia y se está trabajando para lograr la armonización entre ellos:

» RAMI4.0 (Reference Architecture Model Industria 4.0) desarrollado por la iniciativa alemana Industrie 4.0.

» El modelo ISA-95 en evolución (basado en el conjunto de estándares ANSI/ISA para desarrollar una interfaz automatizada entre la empresa y los sistemas de control).

» El IIRA (Modelo de Arquitectura de Referencia de Internet Industrial).

Intercambio de datos :

El intercambio de datos entre dispositivos interconectados es otro aspecto esencial de la Industria 4.0. Algunos estándares importantes que ya están disponibles son MQTT (Message Queuing Telemetry Transport- Transporte de telemetría de colas de mensajes), OPC UA (Open Platform Communications United Architecture- Arquitectura unida de comunicaciones de plataforma abierta) y AutomationML (Automation Markup Language- Lenguaje de marcado de automatización).

Consolidación de conjuntos de datos en f ormularios adecuados:

El tercer aspecto, la consolidación de conjuntos de datos en formas adecuadas para su uso por parte de los sistemas de IA, aún no se ha desarrollado por completo, pero es fundamental para habilitar completamente la "IA industrial". Esto permitiría analizar los datos digitales en contexto e impulsar automáticamente mejoras en los procesos y productos. Estos desarrollos requieren el uso de infraestructuras de datos innovadoras y confiables, donde los datos y los servicios puedan estar disponibles, recopilados y compartidos en un entorno de confianza.

3.4 LA IC INTELIGENTE Y SU CONTRIBUCIÓN A LA SOSTENIBILIDAD

Como se señaló anteriormente, es esencial que la 4RI se alinee con el imperativo de sostenibilidad social y ambiental. En este sentido, la contribución de la IC Inteligente será invaluable siempre y cuando la propia IC Inteligente emprenda una transformación, como se describe en la publicación de ONUDI "Reiniciando la infraestructura de calidad para un futuro sostenible". Existen señales positivas en este sentido, como la "Declaración de Londres", [23] titulada "Compromiso climático de ISO", aprobada por la Asamblea General de ISO en 2021, y el "Llamado a la acción" conjunto sobre estándares que apoyan el desarrollo sostenible, suscrito por ISO, IEC y ITU en la Cumbre de Normas Internacionales para las Personas, Planeta y Prosperidad, organizada junto con la reunión del G20 en octubre de 2021. Sin embargo, queda mucho por hacer.

La IC en la 4RI necesita proporcionar a las empresas sistemas, métodos y herramientas para garantizar que los productos se fabriquen en condiciones justas y respetuosas con el medio ambiente y puedan ser utilizados por diferentes individuos y grupos que forman parte de la sociedad. Ciertos grupos aún enfrentan barreras que les impiden participar en actividades económicas en términos justos. Al comprender y abordar las causas de la exclusión estructural y la discriminación, la IC Inteligente puede apoyar el crecimiento inclusivo y reducir la pobreza. Muchos estándares ya incluyen estrategias y herramientas útiles para este fin. Algunos ejemplos de esfuerzos para promover la producción y el consumo responsables son la promoción de sistemas de código abierto y la lucha contra la obsolescencia programada. Esfuerzos como estos finalmente dan como resultado productos de calidad para todos, que pueden usarse, repararse a un costo razonable y eventualmente reutilizarse en el proceso de fabricación de otros productos.

Aquí enumeramos algunas áreas importantes en las que la IC Inteligente puede respaldar la Industria 4.0 para cumplir con el imperativo de sostenibilidad. Nos referimos a estándares y marcos de evaluación de la conformidad (entendiendo que la metrología está involucrada implícitamente de varias maneras). También es necesario aclarar que en este campo existen otras organizaciones que brindan aportes esenciales, entre ellas, las encargadas de normas privadas y voluntarias de sostenibilidad. Este tipo

[23] https://www.iso.org/ClimateAction/LondonDeclaration.html

de estándares, como los esquemas de certificación, los códigos de conducta y las etiquetas de productos, son desarrollados e implementados por empresas, organizaciones no gubernamentales, organizaciones intergubernamentales, organismos de la industria e iniciativas de múltiples partes interesadas.

Para todas las áreas descritas a continuación, la sinergia potencial entre la IC Inteligente y la Industria 4.0 es sustancial, con muchas posibilidades para apoyar prácticas justas y sostenibles.

» Definiciones, modelos y criterios para evaluar la huella material, energética e hídrica de productos (incluidos productos intermedios) y proyectos, comunicando e informando al respecto en diversos contextos.

» Marcos cada vez más detallados para evaluar, monitorear, comunicar e informar sobre las emisiones de gases de efecto invernadero.

» Definición de propiedades y métodos de prueba para materias primas secundarias (para una amplia variedad de materiales, con el objetivo de respaldar la información y la confianza adecuadas, incluidos los esquemas de certificación de EC).

» Criterios generales y buenas prácticas, y requisitos específicos del sector para el establecimiento y operación de cadenas de suministro inversas (esta área también requiere actualizaciones de acuerdos intergubernamentales, para revisar las regulaciones existentes para el comercio transfronterizo de “residuos”, en el entendido de que los productos del final de ciclo de vida no son “residuos”). Las normas internacionales sólidas y prácticas de EC serían un factor importante que contribuiría a generar confianza y eliminar las sospechas de malas prácticas.

» Enfoques y criterios de ecodiseño, con métodos de prueba relacionados y marcos de EC, con el objetivo de apoyar “productos circulares”.

» Marcos de estándares, EC y metrología que respalden “actividades y productos sostenibles” (por ejemplo, ya existen carteras que respaldan tecnologías de energía renovable, se necesita hacer mucho más para otros tipos de bienes).

La participación de las partes interesadas, inclusión, igualdad de género y diversidad son aspectos clave en el desarrollo de una IC Inteligente. Ayudan a la industria a cumplir con las expectativas de la sociedad, además de demostrar la responsabilidad corporativa.

4. Perspectivas de futuro para la IC con respecto a Industria 4.0 y 4RI

Se están produciendo grandes transformaciones en la industria y la sociedad, y las disciplinas, organizaciones y actividades que colectivamente constituyen la IC Inteligente están inextricablemente vinculadas a esta transformación. Son facilitadores clave del cambio y, a su vez, la innovación que sustenta la 4RI está contribuyendo a remodelar la propia IC.

En esta sección destacamos los puntos clave, especialmente desde la perspectiva de los países en desarrollo.

El imperativo del aprendizaje

En el contexto de la transformación y la digitalización, es vital que los países en desarrollo construyan una base de conocimientos sólida. Como mínimo, necesitan identificar y comprender las tendencias clave y sus implicaciones a corto y largo plazo. También deben involucrarse directamente y desarrollar las capacidades para poder participar en el proceso, al menos en aquellas áreas que sean cruciales para sus propias economías.

En este sentido, es de vital importancia apoyar la educación de las generaciones más jóvenes. Las mismas tecnologías digitales que están dando forma a la 4RI ofrecen de diversas maneras recursos informativos y educativos sustanciales que pueden ser aprovechados por una variedad de programas.

Capturar las oportunidades

A partir de la línea de base actual (en particular, los componentes de las cadenas de suministro globales que ya operan), es importante identificar oportunidades para conectarse con iniciativas sectoriales relevantes impulsadas por otros actores de la cadena de valor. Dar seguimiento a las iniciativas que tienen lugar en el sistema internacional de la IC Inteligente puede permitir capturar conocimiento y construir relaciones de red.

Las enormes oportunidades que ofrecen las plataformas de código abierto en muchas áreas importantes también pueden ser aprovechadas para adquirir conocimientos. Hemos visto, por ejemplo, que en el campo de la fabricación aditiva, las iniciativas de hardware abierto nos permiten implementar soluciones de formas relativamente simples y de bajo costo que pueden ser fundamentales para obtener conocimiento en el campo. Existen oportunidades similares en una amplia variedad de dominios de software.

Otras oportunidades incluyen los programas de apoyo proporcionados por la ONUDI y otras organizaciones internacionales que se enfocan en Industria 4.0 en varios niveles.

Integrar tecnologías digitales y sostenibilidad

A veces, la ausencia de una base significativa de plantas de fabricación y el uso de tecnologías más antiguas puede ser una oportunidad. Los países en desarrollo pueden saltar a los niveles más altos de digitalización al no repetir las curvas de aprendizaje de los países más desarrollados y, en su lugar, adoptar directamente tecnologías más nuevas.

La capacidad de combinar el uso de tecnologías digitales con objetivos y criterios del "imperativo de sostenibilidad" destacado en la publicación puede ser extremadamente importante y gratificante. No solo por establecer sistemas industriales que, en conjunto, contribuirán mucho más al bienestar de las personas, sino también desde una perspectiva de corto plazo, por su contribución a objetivos de carácter económicos y financieros.

Hoy en día la combinación de sustentabilidad y tecnologías digitales representa una propuesta muy atractiva y poder implementar proyectos con esta combinación puede dar una importante ventaja competitiva en la atracción de inversión extranjera.

Las "finanzas sostenibles y la inversión responsable", es decir, la inversión en actividades y proyectos que cumplen con ciertos criterios ambientales, sociales y de gobernanza (ESG) , ya son un componente sustancial de las finanzas internacionales y la forma de inversión de más rápido crecimiento. Cuenta con un fuerte apoyo de instituciones como el Banco Europeo de Inversiones y el Banco Mundial, pero cada vez más de fondos administrados por una amplia variedad de entidades del sector privado.

[24] Cf. ISO (2022). ISO/TR 32220:2021(en) Finanzas sostenibles — Conceptos básicos e iniciativas clave. [en línea] Disponible en: https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:tr:32220:ed-1:v1:en [Consultado el 8 de octubre de 2022].

5. Calidad Inteligente

Esta parte de la publicación explora la relación entre la digitalización y la Industria 4.0 y su impacto en la calidad.

A medida que las tecnologías se han vuelto cada vez más sofisticadas, culminando en la 4RI y la Industria 4.0, los últimos enfoques de calidad que adoptan dichas tecnologías han adquirido la designación "Calidad 4.0" (lo que llamaremos "calidad inteligente"). Es oportuno tratar de entender a qué nos referimos cuando hablamos de calidad inteligente en las empresas de hoy.

5.1 CALIDAD INTELIGENTE EN LAS EMPRESAS

Las empresas confían en sus cadenas de suministro para entregar un producto o servicio de calidad, a tiempo a los clientes finales, y algunos de ellos delegan muchos de los componentes de sus productos a proveedores externos. La integración de nuevas tecnologías está ejerciendo una presión significativa sobre la gestión de calidad de la cadena de suministro no solo para seguir el ritmo de la Industria 4.0 y la digitalización, sino también para innovar, utilizando metodologías compatibles con estas nuevas tecnologías dentro de un enfoque de cadena de valor inteligente de múltiples niveles.

5.1.1 DEFINICIÓN DE "CALIDAD INTELIGENTE"

En pocas palabras, ***la calidad*** es *"la capacidad de satisfacer necesidades y expectativas"*. Estas necesidades y expectativas pueden ser para un producto o servicio, para un proceso, un sistema, una persona o una organización, y normalmente las definen los clientes, los reguladores u otras partes interesadas.

En el mundo actual, donde la alta tecnología y la conciencia social y ambiental están cada vez más presentes, el concepto tradicional de "calidad inherente" de los productos y servicios ha dejado de ser suficiente. Los consumidores son más exigentes en cuanto a la forma en que se proporcionan esos productos y servicios. Esto significa, por ejemplo, que se preocupan por la sostenibilidad, incluyendo la huella de carbono o hídrica, el ciclo de vida del producto, su impacto en el cambio climático, el uso de prácticas socialmente inaceptables como el trabajo infantil o el trabajo forzoso y la gobernanza corporativa en general. Si alguno de estos factores resulta ser deficiente, puede tener consecuencias para la organización en cuestión, aunque la "calidad inherente" de su producto o servicio sea impecable. Esto ha provocado un cambio en las organizaciones más progresistas en los últimos años que han pasado de un enfoque "más limitado" de la calidad (centrado casi exclusivamente en la calidad de los productos y servicios que brindan) a una filosofía de calidad "amplia" más holística que se extiende a lo largo de la cadena de valor y aborda todas las dimensiones de la calidad que son importantes para los consumidores de hoy. Algunos de estas dimensiones se mencionan en la publicación de la ONUDI sobre "Buena gobernanza en la era digital" e incluyen temas como la confiabilidad, inclusión, sostenibilidad, responsabilidad social, interoperabilidad, seguridad y privacidad de los datos.

5.1.2 EL ROL DE LA GESTIÓN DE CALIDAD EN LA CALIDAD INTELIGENTE

El conjunto global de criterios más utilizado por las empresas que desean implementar un sistema de gestión de la calidad es el de la ISO 9001:2015 (Sistemas de gestión de la calidad: requisitos) , que se centra en que una organización pueda demostrar que es capaz de *"proporcionar productos y servicios que cumplan con los requisitos del cliente y aquellos legales y reglamentarios aplicables"*.

En el contexto de la calidad inteligente, es importante tener en cuenta que la ISO 9001 es un estándar en base al desempeño, escrito de manera que define *lo* que debe hacerse pero no *cómo* hacerlo. Depende de las organizaciones individuales decidir cómo administrar sus procesos y las interacciones de sus procesos (incluido el grado de documentación, automatización, digitalización) para que sean *efectivos* dentro de su propio contexto único. Esto significa que las empresas pueden elegir (o no) implementar las últimas filosofías y metodologías de calidad inteligente, siempre que puedan demostrar su "capacidad para proporcionar productos y servicios conformes de manera consistente".

Aunque la norma ISO 9001 no pretende abordar todos los problemas más amplios relacionados con la sostenibilidad, proporciona una base sólida para tales iniciativas y es el punto de entrada habitual para la mayoría de las organizaciones en las economías en desarrollo que desean embarcarse en un "viaje hacia la calidad".

5.1.3 TENDENCIAS QUE IMPULSAN LA CALIDAD INTELIGENTE

Dos tendencias clave están impulsando lo que ahora conocemos como calidad inteligente:

» Los profesionales de la calidad tienen una gran variedad de tecnologías sofisticadas a su disposición, muchas de ellas creadas por la Industria 4.0, que les permiten controlar procesos en tiempo real, realizar análisis predictivos, análisis de tendencias, implementar metodologías de resolución de problemas y otras herramientas para gestionar la calidad como nunca antes se había hecho. Esto es cierto independientemente de si los sectores en los que trabajan han adoptado un enfoque de Industria 4.0.

» Las empresas que han adoptado la Industria 4.0 deberán repensar su enfoque de la calidad, y aquellos profesionales que están involucrados en actividades de gestión de calidad "tradicionales" tendrán que hacer cambios fundamentales en la forma en que trabajan para seguir siendo relevantes y mantenerse al tanto de las oportunidades y desafíos que la transformación digital pueda traer.

La calidad inteligente no se basa solo en la tecnología - todas las dimensiones sociales, económicas y ambientales mencionadas anteriormente deben incorporarse a nuestras ideas sobre la calidad en el contexto de la 4RI[25] . El concepto más pragmático y sucinto detrás de la calidad inteligente es el propuesto por Oakland,[26] *"...La Calidad 4.0 (sic. calidad inteligente) es el aprovechamiento de la tecnología con las personas para mejorar la calidad de una organización, sus productos, sus servicios y los resultados que crea".*

5.2 CALIDAD INTELIGENTE E INDUSTRIA 4.0 MANO A MANO

Algunas de las principales tecnologías habilitadoras de la calidad inteligente son las mismas que se utilizan en la Industria 4.0, aunque con un enfoque diferente. Estas tecnologías ya se han descrito anteriormente en esta publicación y no se repetirán aquí.

Las formas en que la calidad inteligente y la Industria 4.0 (pg 48) interactúan dependen del contexto específico en el que se encuentran las empresas. Esto involucra tanto factores internos como externos. La Figura 4 describe los diferentes enfoques de la calidad, según el grado de transformación digital de la empresa en cuestión.

Podemos ver que hay cuatro combinaciones de la siguiente manera:

Combinación 1: (Metodologías tradicionales de calidad en organizaciones tradicionales)

En algunas regiones o sectores económicos que aún no han adoptado por completo la transformación digital, muchas empresas continúan utilizando modelos tradicionales de fabricación y prestación de servicios respaldados por metodologías de calidad tradicionales.

Combinación 2: (Metodologías de calidad tradicionales en organizaciones de Industria 4.0)

En regiones más desarrolladas o sectores económicos más sofisticados donde las empresas han implementado un enfoque de Industria 4.0, ya no será factible tratar de utilizar herramientas y metodologías de calidad "tradicionales" que no estén completamente integradas en los procesos de producción o prestación de servicios. Es poco probable que estos puedan seguir el ritmo de los procesos de toma de decisiones en tiempo real (a menudo automatizados) que son clave para el concepto de calidad inteligente.

Combinación 3: (Metodologías de calidad inteligente en organizaciones tradicionales)

En empresas que aún no han adoptado la Industria 4.0 y la transformación digital, puede haber muchos beneficios al usar calidad inteligente como impulsor del cambio tecnológico. Aunque puede que no sea factible aprovechar todos los beneficios en los procesos de producción y prestación de servicios (que probablemente requieran controles interactivos en tiempo real y análisis de datos), las herramientas y metodologías de calidad inteligente se pueden utilizar, por ejemplo, para predecir las necesidades de los usuarios y expectativas, para diseñar mejores productos y servicios, para

[25] https://www.bcg.com/publications/2019/quality-4.0-takes-more-than-technology

[26] Oakland, J y Turner, M - "Definiendo la Calidad 4.0". Quality World, verano de 2021: The Chartered Quality Institute: consulte https://www.quality.org/quality-4-point-0

brindar un soporte ágil al cliente en los centros de llamadas, o como parte de iniciativas sistemáticas de resolución de problemas y mejora de la calidad.

Combinación 4: (Metodologías de calidad inteligente en organizaciones de Industria 4.0)

En regiones más desarrolladas o sectores económicos más sofisticados, las empresas pueden aprovechar las sinergias que se obtendrán mediante el uso de enfoques de calidad inteligente como un componente integral de las estrategias de Industria 4.0. De hecho, en estos casos, es probable que haya una fusión de calidad inteligente e Industria 4.0 sin diferencias perceptibles entre los dos componentes y donde cada uno brinda oportunidades e impulsa mejoras en el otro.

5.3 DIGITALIZACIÓN Y CALIDAD INTELIGENTE

Enfoque en base a procesos

Según la norma ISO 9001:2015, "Comprender y gestionar los procesos interrelacionados como un sistema para mejorar la eficacia y eficiencia de la organización y lograr los resultados previstos".

Este enfoque permite a la organización controlar las interrelaciones e interdependencias entre los procesos del sistema, de modo que se pueda mejorar el desempeño general de la organización.

El objetivo final de la gestión de la calidad a nivel empresarial es reducir la variación del proceso a niveles que brinden total confianza en los productos y servicios resultantes y en su capacidad para satisfacer las necesidades y expectativas del cliente, al mismo tiempo que se minimizan los costos asociados para la organización.

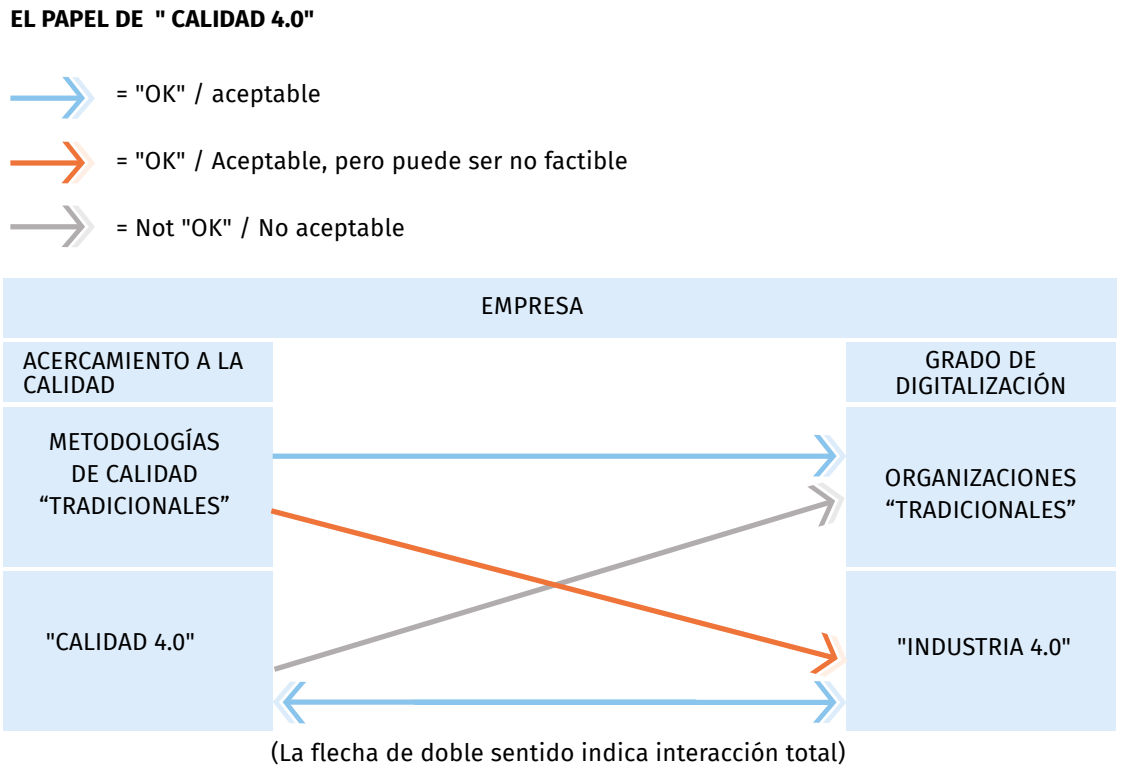
Ciclo PDCA

Todos los procesos (desde los estratégicos hasta los más mundanos, los procesos operativos del día a día) se pueden gestionar mediante el ciclo "Plan-Do-Check-Act" (PDCA por sus siglas en inglés - Planificar-Hacer-Verificar-Actuar) para impulsar la mejora continua. Las tecnologías digitales para la calidad inteligente pueden revolucionar todos estos procesos, dando como resultado un control de procesos en tiempo real y bucles de retroalimentación, ciclos más cortos, tasas de rechazo más bajas, mayor productividad y eficiencia y una mayor satisfacción del cliente.

Por ejemplo:

"Planificar 4.0" puede hacer uso de las redes sociales, los macrodatos y el análisis predictivo para observar las tendencias globales, incluida la identificación y priorización de riesgos y oportunidades para la empresa.

FIGURA 4: **VARIAS COMBINACIONES DE ENFOQUES PARA CALIDAD INTELIGENTE E INDUSTRIA 4.0**



"Hacer 4.0" puede aprovechar la robótica (incluidos los bots conversacionales) para la entrega de productos y servicios, así como la IA (inteligencia artificial) y el AA para tomar decisiones en tiempo real. La tecnología de contabilidad distribuida (DLT) puede proporcionar niveles de trazabilidad sin precedentes para los procesos, productos y servicios que pueden ser requeridos por los clientes y los reguladores, o que pueden permitir futuras iniciativas de mejora o resolución de problemas.

"Verificar 4.0" incluye control de procesos en tiempo real, el uso de tecnologías de inspección remota (drones y sensores, cámaras o vehículos operados de forma remota) para proporcionar datos de sitios de difícil acceso, transmisión de video, RV y RA para facilitar auditorías remotas, así como redes sociales y macrodatos para analizar tendencias en la satisfacción del cliente.

5.4

HERRAMIENTAS DE CALIDAD INTELIGENTE PARA PROCESOS TÍPICOS DE SISTEMAS DE GESTIÓN DE CALIDAD (QMS) por sus siglas en inglés

Podemos explorar las formas en que los avances tecnológicos recientes brindan oportunidades para la calidad inteligente al examinar algunos ejemplos de procesos típicos que se aplican a casi cualquier empresa y los últimos avances tecnológicos que pueden respaldarlos (independientemente de si los procesos están digitalizados).

La Tabla 1 muestra un resumen y una referencia cruzada entre las herramientas y algunos procesos típicos del QMS, cada uno de los cuales se analizará más adelante en esta sección.

TABLA 1 : **EJEMPLOS DEL USO DE HERRAMIENTAS DE CALIDAD INTELIGENTE EN ALGUNOS PROCESOS TÍPICOS DEL QMS**

TECNOLOGÍAS / HERRAMIENTAS	GESTIÓN ESTRATÉGICA	GESTIÓN DE RIESGOS Y OPORTUNIDADES	PROCESOS DE MARKETING Y ATENCIÓN AL CLIENTE	DISEÑO Y DESARROLLO DE PRODUCTOS Y SERVICIOS	PRODUCCIÓN Y PRESTACIÓN DE SERVICIOS	MANTENIMIENTO	SEGUIMIENTO Y MEDICIÓN	RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS
RV y RA			✓	✓	✓	✓	✓	
Transferencia Remota De Datos (Incluida La Transmisión De Video)			✓			✓	✓	
Robótica					✓	✓	✓	
IA/AA		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
IoT, IIoT		✓		✓	✓	✓	✓	✓
Análisis de macrodatos	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Analítica predictiva	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Control de procesos en tiempo real					✓		✓	
Vehículos operados a Distancia						✓	✓	
Blockchain / DLT						✓	✓	✓

“Actuar 4.0” se ve facilitado en gran medida por la velocidad de los procesos de toma de decisiones basados en datos, basados en el suministro y análisis de datos precisos y oportunos y los bucles de retroalimentación a menudo instantáneos logrados a través de equipos interconectados (IoT, IIoT e IoE, por ejemplo) junto con IA y AA.

Planificación estratégica

La planificación estratégica es un proceso utilizado para definir la estrategia o la dirección de una organización y tomar decisiones sobre la asignación de recursos para seguir esta estrategia. En el contexto de la gestión de calidad, también puede incluir el establecimiento de políticas, objetivos e indicadores clave de desempeño que luego se implementan en toda la organización en las funciones, niveles y procesos apropiados.

Es poco probable (en un futuro próximo) que la transformación digital de las empresas y, por ejemplo, el uso de la IA sustituya el elemento humano de la planificación estratégica. Lo que hace es facilitar en gran medida la identificación, el cotejo y análisis de los datos en los que se basa la planificación estratégica. Los datos que proporcionan información para el proceso de planificación estratégica generalmente se recopilan de una multitud de fuentes tanto internas como externas a la empresa. Las metodologías típicas para respaldar el proceso de planificación estratégica incluyen análisis “FODA” (“Fortalezas, Debilidades, Oportunidades y Amenazas”) y “PESTEL” (“Político, Económico, Social, Tecnológico, Ambiental y Legal”).

La calidad inteligente puede, a través de un extenso modelado basado en computadora, permitir el análisis de estos diversos escenarios para respaldar el proceso de toma de decisiones estratégicas y proporcionar una reacción rápida cuando cambia el contexto comercial de la organización.

Las herramientas de calidad inteligente que pueden respaldar el proceso de planificación estratégica incluyen:

- Medios de comunicación social
- Análisis de macrodatos
- Análisis/modelado predictivo
- Gestión de riesgos y oportunidades

El análisis y tratamiento de riesgos y oportunidades es un componente central de todas las disciplinas del sistema de gestión, incluida la calidad. Hay varias metodologías y técnicas bien probadas que se pueden utilizar para respaldar el análisis de riesgos, y la norma IEC 31010 (Gestión de riesgos-técnicas de evaluación de riesgos) proporciona excelentes ejemplos. Si bien algunos de estos son relativamente simples (por ejemplo, la lluvia de ideas tradicional o los enfoques estructurados de “¿Qué pasaría si?”), otros pueden ser muy complejos y exigentes en términos de análisis matemáticos y estadísticos (como el análisis bayesiano o las simulaciones de Monte Carlo), combinando las técnicas más sofisticadas disponibles con las últimas capacidades informáticas.

Si consideramos los riesgos estratégicos de alto nivel que enfrentan las empresas, muchos de estos habrán sido analizados y abordados como parte del proceso de planificación estratégica, utilizando las herramientas de calidad inteligente mencionadas anteriormente. Sin embargo, en el nivel más operativo (y particularmente en un entorno de Industria 4.0), los factores que generan oportunidades y riesgos pueden cambiar a gran velocidad, lo que requiere un tratamiento o mitigación casi instantáneos. En estos casos, los sensores interconectados (IoT e IIoT) pueden detectar cambios en la estabilidad estadística (“incertidumbre”) de los procesos y, junto con las capacidades de IA y AA, realizar ajustes para mitigar los resultados no deseados. Los ejemplos incluyen riesgos y oportunidades asociados con el uso de robótica en líneas de producción o vehículos sin conductor que pueden programarse previamente para abordar situaciones de emergencia específicas en condiciones de manejo cambiantes. En estas situaciones “operativas”, se vuelve imposible hacer una distinción entre las metodologías de Industria 4.0 y calidad inteligente, y los dos conceptos se fusionan en una sola relación simbiótica.

Otro factor importante es la necesidad de incorporar circuitos de retroalimentación en el proceso de gestión de riesgos, particularmente cuando ocurren problemas. Algunos insumos importantes en estos circuitos de retroalimentación incluyen la información obtenida mediante la extracción de datos de las redes sociales para buscar tendencias que podrían no ser evidentes de inmediato desde una perspectiva local limitada. Otros ejemplos incluyen el uso de algoritmos de minería de datos estadísticos para detectar tendencias en eventos adversos en un entorno de atención médica o defectos relacionados con productos identificados mediante el análisis de macrodatos de múltiples fuentes, como las visitas a la sala de emergencias del hospital.

Las herramientas de calidad inteligente que pueden respaldar el proceso de gestión de riesgos y oportunidades incluyen:

- Medios de comunicación social
- IoT, IIoT e IoE
- IA/aprendizaje automático
- Análisis de macrodatos
- Analítica predictiva

Procesos de marketing y atención al cliente

Los procesos tradicionales de marketing y ventas de la mayoría de las empresas a menudo se describen en términos de un "embudo de ventas" que comienza tratando de atraer a la mayor cantidad de personas posible, antes de reducirlos hasta que solo quedan aquellos que compran el producto o servicio. Con la transformación digital generalizada de las economías locales y globales en los últimos años, este "embudo de ventas digital" es ahora una parte integral de la forma en que se planifican y operan las empresas, y está estrechamente interrelacionado con todas sus operaciones, desde la planificación estratégica hasta el producto, el servicio, el diseño y desarrollo de procesos, la gestión de recursos y proveedores, la planificación de operaciones y mucho más. Todo esto se facilita mediante el uso de tecnologías digitales que incluyen un enfoque estructurado de las redes sociales, análisis de macrodatos, análisis predictivos que analizan las tendencias de los consumidores y los clientes y el uso innovador de RA/RV para mejorar la experiencia del cliente.

A medida que el mundo avanza cada vez más hacia transacciones remotas (comercio electrónico) para casi todo (incluidas las interacciones B2B, B2C, G2C y C2C), la forma en que se logra y mide la satisfacción del cliente (uno de los objetivos clave de la gestión de calidad) también debe cambiar. Los clientes de hoy no solo quieren un "producto o servicio de calidad", sino que también la experiencia general del cliente (desde el primer contacto hasta la entrega del producto y el servicio, el pago y el soporte postventa) se vuelve importante, al igual que las consideraciones sociales, ambientales y éticas relacionados con el producto y servicio. La transformación digital facilita la interconexión efectiva de todo el proceso para garantizar que se logre sin problemas, tanto dentro de las diversas partes de una empresa como en los numerosos " puntos de contacto " entre una empresa y sus clientes.

Las herramientas de calidad inteligente que pueden respaldar los procesos de marketing y atención al cliente incluyen:

» Medios de comunicación social

» RV y RA

» Transferencia remota de datos (incluida la transmisión de video)

» Análisis de macrodatos

» Analítica predictiva

Diseño y desarrollo de productos y servicios.

En el contexto de la gestión de la calidad, el "diseño y desarrollo" implica un proceso de transformación de las necesidades y expectativas de los clientes (y otras partes interesadas) en características del producto o servicio que se proporcionará de tal manera que estén claramente definidas (con criterios de aceptación) en los procesos de producción y prestación de servicios. Las actividades asociadas con el diseño y el desarrollo a menudo no son lineales y dependen de múltiples entradas e interacciones con otros procesos para tener éxito. Aquí es donde las técnicas y metodologías de calidad inteligente pueden ser inmensamente útiles para gestionar estas complejidades y otros requisitos (a menudo conflictivos), para lograr una solución óptima, independientemente de si están asociados o no con un enfoque general de Industria 4.0 para la producción o la prestación de servicios.

Los insumos clave en el diseño y desarrollo incluyen:

» Necesidades y expectativas del cliente (por lo general, el resultado de los procesos de marketing y atención al cliente mencionados anteriormente).

» Necesidades y expectativas de otras partes interesadas (por ejemplo, requisitos de los reguladores o expectativas de la sociedad civil sobre consideraciones ambientales, sociales y éticas).

» Capacidades de producción y prestación de servicios.

» Disponibilidad de recursos (materiales, humanos, tecnológicos y de infraestructura, entre otros).

» Panorama competitivo (incluida la "propuesta de venta única" del producto o servicio en desarrollo).

» Muchas de las metodologías tradicionales de diseño y desarrollo empleadas por las empresas durante muchos años continúan siendo aplicables, pero pueden mejorarse significativamente mediante el uso de tecnología moderna para consolidar y analizar la gran cantidad de información disponible. Algunos ejemplos de esto incluyen:

- Despliegue de la Función de Calidad (QFD) [28] utilizada para transformar la "Voz del Cliente" en características del producto o servicio.
- Análisis modal de fallos y efectos (FMEA por sus siglas en inglés) para examinar las características clave del producto o

[28] https://en.wikipedia.org/wiki/Quality_function_deployment

servicio que pueden afectar negativamente la satisfacción del cliente.

- Diseño de Experimentos (DoE) utilizando (por ejemplo) técnicas estadísticas de Taguchi[29].

- Verificación y validación del diseño (que puede beneficiarse, por ejemplo, de simulaciones de RV y RA, así como de grupos focales que trabajan de forma remota, con retroalimentación en tiempo real e interacciones con el equipo de diseño).

Las herramientas de calidad inteligente que pueden respaldar el proceso de diseño y desarrollo incluyen:

» Medios de comunicación social

» RV y RA

» IA/aprendizaje automático

» IoT, IIoT e IoE

» Análisis de macrodatos

» Analítica predictiva

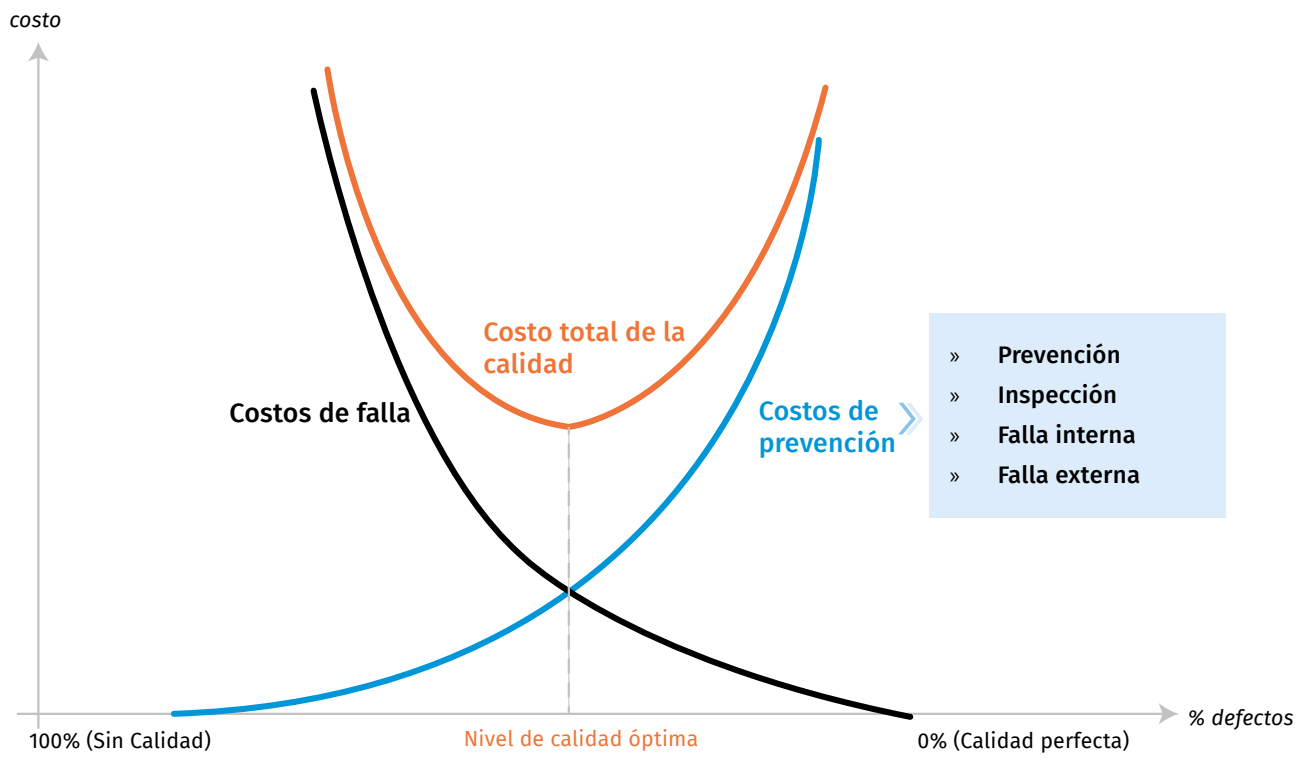
[29] https://en.wikipedia.org/wiki/Taguchi_methods

Procesos de producción y prestación de servicios

Estos son los procesos centrales de cualquier organización, y es aquí donde se obtienen importantes y revolucionarios beneficios al adoptar un enfoque simultáneo y sinérgico de calidad inteligente/Industria 4.0.

La función de "calidad" de las empresas evolucionó con el tiempo para convertirse en la responsable del aseguramiento de la calidad (y, más tarde, de la gestión de la calidad), con un mayor enfoque en garantizar la estabilidad del proceso y las actividades generales de planificación, control y mejora de la calidad. Como vimos en la sección anterior, la calidad inteligente lleva todo este enfoque al siguiente nivel, con el uso de robótica avanzada (en un entorno de fabricación de "Fábrica Inteligente" así como en la administración de "Ciudades Inteligentes"), con sensores para el monitoreo y medición en tiempo real, bucles de retroalimentación instantáneos y correcciones/acciones correctivas preprogramadas realizadas automáticamente a través de IoT, IIoT e IoE. Esto se ve reforzado por el aprendizaje automático, el análisis predictivo y la IA para mejorar continuamente los procesos de toma de decisiones "automáticos", respaldados por blockchain/DLT con fines de trazabilidad y provisión/seguimiento de datos para fines de mejora continua.

FIGURA 5: **DIAGRAMA ESQUEMÁTICO CONCEPTUAL QUE MUESTRA EL COSTO TOTAL DEL ENFOQUE DE CALIDAD**



Esta convergencia específica de las tecnologías de la Industria 4.0 y la calidad inteligente en el ámbito de la producción y la prestación de servicios merece una mayor discusión aquí. El punto en común desde la perspectiva de la gestión de la calidad es la combinación del "enfoque de proceso" y el uso del ciclo PDCA como base para el control de procesos, que es inherente a todos los sistemas cibernéticos. Por supuesto, todavía hay un elemento humano en todo esto, y la medida en que la cibernética por sí sola puede operar en un entorno de IoT e IIoT sin intervención humana dependerá significativamente del contexto de la empresa, así como de los riesgos asociados con el control de sus procesos y las oportunidades. Esto es particularmente relevante en un entorno de prestación de servicios, donde diferentes usuarios pueden tener necesidades y expectativas muy diferentes. Mientras que algunos usuarios más "expertos en tecnología" agradecen la velocidad y la agilidad proporcionadas por (por ejemplo) los bots conversacionales impulsados por IA para proporcionar información y soluciones, otros pueden preferir las interacciones humanas. En muchos casos, sin embargo, el consumidor desconoce las diversas tecnologías complejas que funcionan silenciosamente en segundo plano para respaldar tales interacciones humanas.

Dentro de un contexto de fabricación o prestación de servicios, los enfoques de calidad inteligente pueden contribuir de manera muy significativa a lograr el objetivo de "cero defectos". Si bien este concepto generalmente se consideraba pragmáticamente como una búsqueda de la perfección para mejorar la calidad en el proceso de fabricación, otra consideración importante para las empresas que buscan implementar dicho enfoque es el llamado "costo de la calidad". Esto se muestra en su forma más simple en la Figura 5. Las inversiones en sistemas cibernéticos, IA y AA y otros que están asociados tanto con la Industria 4.0 como con la calidad inteligente pueden ser significativas, particularmente para las PYMEs, por lo que es apropiado que las empresas lleven a cabo un análisis de costo/beneficio en términos de los "costos de calidad" (prevención de defectos) y los "costos de mala calidad" (costos de fallas) al tomar sus decisiones de inversión.

Las herramientas de calidad inteligente que pueden respaldar los procesos de producción y prestación de servicios incluyen:

- RV y RA
- Robótica
- IA/aprendizaje automático
- IoT, IIoT e IoE
- Análisis de macrodatos
- Analítica predictiva
- Control de procesos en tiempo real
- Blockchain/DLT

Mantenimiento

Los procesos de mantenimiento (en su sentido más amplio) merecen una mención especial en este análisis por el concepto de mantenimiento productivo total (TPM). La filosofía TPM empodera a quienes operan equipos para que se ocupen ellos mismos de su mantenimiento rutinario. Esta transformación conjunta de "operaciones y mantenimiento rutinario" es como la tendencia a aglomerar "producción e inspección" en una sola actividad integrada, y ambas se ven facilitadas por una serie de enfoques e iniciativas de calidad inteligente.

El mantenimiento predictivo (un elemento del TPM) utiliza varias herramientas y técnicas para monitorear la condición de las máquinas y equipos para predecir cuándo ocurrirán los problemas al identificar los síntomas de desgaste y otras fallas. Tradicionalmente, esto incluye el uso de sensores (por ejemplo, para monitorear la temperatura o la vibración) que luego se pueden acoplar en un circuito de retroalimentación cibernético interactivo para evitar la necesidad de un mantenimiento preventivo innecesario y, al mismo tiempo, evitar los costos adicionales (pérdida de tiempo) asociados con averías y mantenimiento correctivo.

Otras metodologías de calidad inteligente que pueden ser útiles incluyen la IA y A para interactuar (a través de IoT e IIoT) con la gestión de inventario y los procesos de compra (por ejemplo, para evitar mantener existencias innecesarias de repuestos costosos), análisis de macrodatos y análisis predictivo (para procesar múltiples fuentes de datos como parte de un enfoque de mantenimiento predictivo) y blockchain/DLT para brindar trazabilidad (por ejemplo) del uso de herramientas y el desgaste asociado. Los robots y los vehículos o equipos operados de forma remota también se pueden usar para acceder a áreas difíciles o peligrosas donde se necesita mantenimiento y para transmitir los datos apropiados (o consultar asistencia especializada mediante transmisión de video) en tiempo real.

Las herramientas de calidad inteligente que pueden respaldar los procesos de mantenimiento incluyen:

- RV y RA
- Transferencia remota de datos (incluida la transmisión de video)
- Robótica
- IA/AA
- IoT, IIoT e IoE
- Análisis de macrodatos
- Analítica predictiva
- Vehículos operados a distancia
- Blockchain / DLT

Seguimiento y medición

En un contexto de Industria 4.0, se vuelve cada vez más difícil tratar de separar las actividades de monitoreo y medición de procesos de los propios controles de procesos operativos. Sin embargo, se requieren otros procesos de monitoreo y medición para un sistema de gestión de calidad efectivo, que hacen un buen uso de las tecnologías modernas sin operar necesariamente en un entorno de Industria 4.0. Los siguientes son tres ejemplos de este tipo:

COMENTARIOS DE LOS CLIENTES

La norma ISO 9001:2015 requiere que una organización controle los comentarios de los clientes y señala como ejemplos las encuestas de clientes, comentarios de clientes sobre productos y servicios entregados, reuniones con clientes, análisis de cuota de mercado, felicitaciones, reclamos de garantía e informes de distribuidores. Todos estos pueden llevarse a cabo o complementarse utilizando metodologías como el uso de redes sociales, transmisión de video (para facilitar la retroalimentación de los grupos focales), IoT e IoE para retroalimentación automática sobre interrupciones y averías, así como análisis de macrodatos.

AUDITORÍA INTERNA

Como hemos visto en los apartados anteriores, el uso de metodologías de evaluación remota ha evolucionado significativamente en los últimos años. La calidad inteligente aplicada a la auditoría incluye el uso de metodologías como la transferencia remota de datos (incluida la transmisión de video), RV y RA, vehículos operados de forma remota (para observaciones en ubicaciones peligrosas o de difícil acceso), así como la capacidad de consultar datos de proceso de tiempo y el uso de análisis de macrodatos para buscar tendencias. Las herramientas Blockchain/DLT también se pueden usar para rastrear análisis de causa raíz y planes de acción correctivos cuando se encuentran no conformidades.

REVISIÓN DE GESTIÓN

La revisión por la dirección implica una determinación de la idoneidad, adecuación y eficacia del sistema de gestión de la calidad para lograr los objetivos establecidos. Puede requerir la recopilación y evaluación de información y datos complejos de múltiples fuentes, por lo que el uso de metodologías de calidad inteligente puede facilitar el análisis de "información sobre el desempeño y la eficacia del sistema de gestión de la calidad".Las herramientas de calidad inteligente que pueden respaldar los procesos de monitoreo y medición incluyen:

- RV y RA
- Transferencia remota de datos (incluida la transmisión de video)
- Robótica
- IA/AA
- IoT, IIoT e IoE
- Análisis de macrodatos
- Analítica predictiva
- Vehículos operados a distancia
- Blockchain/DLT

Resolución de problemas

El ejemplo final proporcionado aquí se relaciona con los procesos de mejora. Estos pueden incluir metodologías que van desde corregir y tomar medidas correctivas sobre no conformidades de procesos, productos, servicios o sistemas (lo que llamaremos aquí "resolución sistemática de problemas"), hasta mejoras continuas de pequeños pasos, cambios radicales e innovación.

Cuando se producen anomalías, en cualquier circunstancia, pueden dar lugar a no conformidades de proceso, producto, servicio o sistema (sólo se caracterizan como tales si dan lugar al incumplimiento de un requisito específico). La mayoría de los enfoques tradicionales de la gestión de la calidad han tendido a centrarse en aquellas anomalías que dan como resultado no conformidades o tienen un claro potencial para hacerlo. Esto se debe principalmente a la falta de recursos y de "arsenal técnico" para tratar de abordar todos los casos. Sin embargo, dentro de una filosofía de gestión de calidad total, las anomalías no deben simplemente ignorarse, ya que pueden tener el potencial de resultar en tales no conformidades si no se abordan adecuadamente.

Por lo general, esto implica una evaluación de riesgos intuitiva o más formal seguida, si es necesario, por un análisis de causa raíz como parte de un proceso sistemático de resolución de problemas. Esto se conoce por varios nombres, incluido el japonés "QC Story" [30]o "Metodología de resolución de problemas 8D" [31](ampliamente utilizado en la industria automotriz).

Tradicionalmente, existe una serie de herramientas

[30]Véase, por ejemplo, Dhumal et al " Metodología de resolución de problemas por historia de control de calidad- una reseña", https://www.researchgate.net/publication/317873255_Problem_Solving_Methodology_by_Quality_Control_Story_A_Review/link/594fe11ea6fdccebfa69ea34/download

[31]Consulte https://asq.org/quality-resources/eight-disciplines-8d

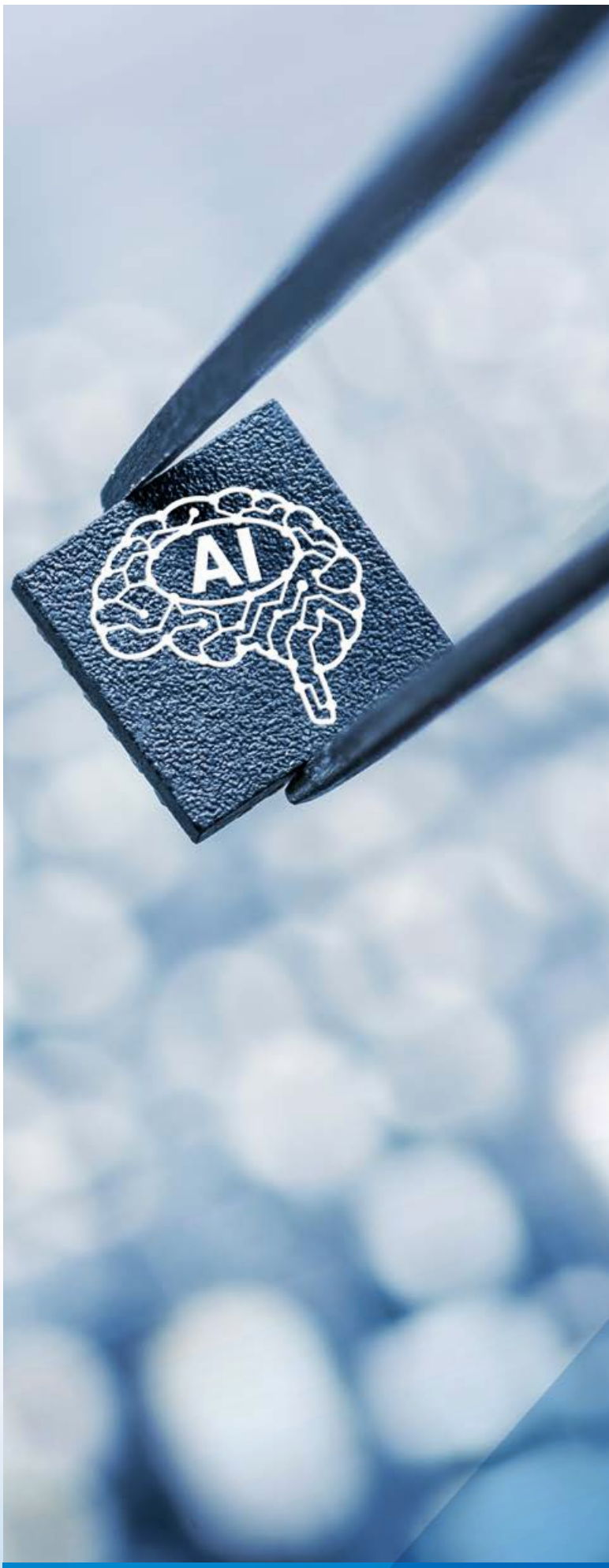
de calidad (estadísticas) que se utilizan en un análisis de causa raíz, conocidas colectivamente como las "Siete herramientas básicas de calidad para la mejora de procesos", de la siguiente manera:[32]

- Diagrama de causa-efecto
- Hoja de control
- Tabla de control
- Histograma
- Diagrama de Pareto
- Diagrama de dispersión
- Estratificación

Si bien todas estas herramientas se desarrollaron e implementaron a mediados del siglo XX, todas se prestan a un enfoque de calidad inteligente digitalizado, que puede mejorar las formas en que se recopilan, cotejan y analizan los datos. Los saltos cuánticos en el poder de la computación en los últimos años brindan oportunidades sin precedentes para abordar todas las anomalías utilizando IoT, IIoT y, eventualmente, IoE - mediante el uso de análisis de macrodatos y análisis predictivo - para esclarecer las relaciones a menudo complejas entre las muchas causas potenciales. Al hacerlo, las empresas pueden comenzar a prevenir verdaderamente las no conformidades antes de que ocurran y acercarse al objetivo final de lograr "cero defectos".

Las herramientas de calidad inteligente que pueden respaldar los procesos de resolución de problemas incluyen:

- IA/aprendizaje automático
- IoT, IIoT e IoE
- Análisis de macrodatos
- Analítica predictiva
- Blockchain/DLT



[32] https://asq.org/quality-resources/seven-basic-quality-tools

6. Calidad inteligente en la cadena de suministro

Según una encuesta de Gartner[33] de 2015, solo el 22 % de los fabricantes reportaron tener funciones de gestión de calidad integradas en la gestión de su cadena de suministro y muchos de ellos solo tenían visibilidad de su primer nivel de proveedores. La consecuencia de esto es que más del 50% de las fallas de calidad de alto perfil de la última década, que van desde lanzamientos de productos defectuosos, incidentes de seguridad de clientes y pacientes, y retiros de productos, están arraigados a lo largo de la gestión de la cadena de suministro. La razón principal es la falta de comprensión y las débiles capacidades para integrar la gestión de la calidad a lo largo de la cadena de suministro.

Durante la última década se han observado cambios que apuntan a incrementar la visibilidad en la cadena de valor de los proveedores, entre ellos:

- **Identificación de proveedores críticos en la red de proveedores multinivel,** especialmente aquellos categorizados como críticos debido a la importancia de su materia prima/componente/servicio: es decir, repuestos o herramientas críticas para la producción, siendo el único proveedor disponible y dueño exclusivo de la propiedad intelectual.
- La **identificación de los requisitos de inspección y verificación** se puede transferir al proveedor, lo que facilita la detección temprana de suministros que no cumplen con la especificación, especialmente aquellos críticos para los componentes de calidad proporcionados por proveedores de nivel inferior.
- **Configuración de métricas simples a** lo largo de la cadena de valor del proveedor que se utilizan para comunicar la conformidad con los objetivos de programación, calidad y colaboración. Visibilidad del progreso de la fabricación según las fechas programadas en componentes hechos a encargo con tiempos de ciclo prolongados. Tal vez incluso la verificación durante el proceso de las características críticas para la calidad a medida que los componentes se fabrican en el sitio del proveedor.
- **Resultados de la verificación.** Cuanto antes haya visibilidad de cualquier problema con los componentes, mejor. Es deseable trasladar más inspección y verificación al sitio del proveedor siempre que sea posible. Los resultados de la inspección deben estar disponibles electrónicamente junto con las actualizaciones de la fecha de entrega del producto. Algunas características críticas podrían incluso verificarse en el proceso. Los resultados de la inspección del producto en proceso y entregado pueden ser proporcionados por el proveedor a través de portales de proveedores o transmitidos electrónicamente a través de interfaces B2B a lo largo de la cadena de suministro. Los resultados de la inspección informados por los proveedores y recopilados a través de la inspección de origen y recepción permiten el cálculo de las capacidades reales de cada proveedor para mantener los niveles de tolerancia requeridos en las especificaciones.
- **Documentación de no conformidad.** Ya sea que los defectos se encuentren antes de que el proveedor envíe un componente, al recibir la inspección o en la producción, es necesario tener visibilidad de los defectos, las no conformidades y las causas raíz identificadas para esos problemas. Se pueden iniciar acciones correctivas y de contención con proveedores específicos para evitar más envíos de unidades con problemas críticos hasta que estos se resuelvan.
- **Auditorías de proveedores.** Los proveedores deben ser reevaluados periódicamente a través de auditorías de proveedores para verificar el cumplimiento de los requisitos regulatorios y contractuales. Las empresas deben mantener la visibilidad del historial de auditorías de los proveedores y los arreglos de programación de auditorías en curso.
- **Acciones correctivas.** Ya sea que esté relacionado con un rendimiento deficiente, defectos específicos del producto o hallazgos de auditoría, la gerencia del proveedor debe mantener la visibilidad de todas las acciones correctivas abiertas con los proveedores, su respectiva investigación de causa raíz y los planes de implementación de resolución.

[33] "La cadena de suministro está perdiendo la marca en calidad", Jacobson, Suleski , Barger, Chadwick, Stevens y Dorman, Gartner, 2015

» **Las industrias reguladas,** incluidas la automotriz, de alimentos, de medicamentos, de dispositivos médicos y aeroespacial, tienen intereses adicionales en cuanto a la responsabilidad sobre sus cadenas de suministro. Estas industrias han estado agregando este tipo de requisitos a las extensiones ISO 9001 específicas de la industria, incluidas TS 16949, ISO 2200 FSC, ISO 13485 y AS 9100 y varias otras.

Como se puede apreciar por lo anterior, la gestión de la calidad ha venido experimentando varios cambios en los últimos años, transformando su rol en la cadena de suministro. Sin embargo, con la introducción de las nuevas tecnologías conocidas como Industria 4.0, estos cambios palidecerán frente a los que vienen para mantener la calidad de los productos y servicios en la cadena de valor de los proveedores innovadores.

La Industria 4.0, con la integración de nuevas tecnologías, como IoT, IA y AA, blockchain, 3D/AM, macrodatos, RV/RA o los sistemas ciber físicos (CPS), está remodelando completamente la red industrial y ejerciendo una presión significativa sobre la gestión de calidad para que esta innove en sus procesos, introduciendo nuevas metodologías compatibles con las nuevas tecnologías para asegurar la calidad en todo el proceso de fabricación y la cadena de valor inteligente.

Las partes interesadas de la cadena de suministro deben revisar la asignación de funciones de calidad y la gobernanza en sus estructuras organizativas, y actualizar e integrar los sistemas de gestión de calidad en toda la empresa para facilitar procesos de gestión de calidad mejorados en la cadena de suministro de varios niveles.

6.1 DE EMPRESAS A CADENAS DE SUMINISTRO A CADENAS DE VALOR INTELIGENTES

6.1.1 CADENA DE SUMINISTRO

El concepto de cadena de suministro (SC, por sus siglas en inglés) o gestión del cambio de suministro nació en la década de 1980 en Chrysler Corporation, cuando decidieron establecer relaciones a largo plazo con los proveedores que eran parte esencial del diseño y desarrollo de sus productos.

Una SC es la secuencia de procesos involucrados en la producción y distribución de un producto. En su forma más simple, una SC es el conjunto de actividades requeridas por la organización para entregar bienes o servicios al consumidor. La SC se enfoca en las actividades centrales que la organización requiere para convertir materias primas o componentes en productos o servicios terminados. Está compuesta por todos los colaboradores involucrados en la creación de un producto, desde las materias primas hasta la mercancía terminada. En otras palabras, la SC incluye todas las funciones involucradas en recibir y completar una solicitud del cliente. Estas funciones incluyen al menos:

» Desarrollo de productos

» Marketing

» Operaciones

» Distribución

» Finanzas

» Servicio al Cliente

La cadena de suministro comprende el flujo de toda la información, productos, materiales y fondos entre las diferentes etapas de creación y venta de un producto al usuario final. El concepto de la cadena de suministro proviene de una perspectiva de gestión operativa. Cada paso del proceso, incluida la creación de un bien o servicio, su fabricación, su transporte a un lugar de venta y su venta, forma parte de la cadena de suministro de una empresa.

Si bien muchas personas creen que la logística, o el transporte de mercancías, es sinónimo de la cadena de suministro, es solo una parte de la ecuación. La cadena de suministro implica la coordinación de cómo y cuándo se fabrican los productos junto con la forma en que se transportan. Los elementos que requieren especial atención en la gestión de la cadena de suministro son el costo de los materiales y la entrega efectiva del producto. La gestión adecuada de la cadena de suministro puede reducir los costos del consumidor y aumentar las ganancias del fabricante.

6.1.2 CADENA DE VALOR

La cadena de valor (VC por sus siglas en inglés) es un proceso en el que una empresa agrega valor a sus materias primas para producir productos que finalmente se venden a los consumidores. La SC representa todos los pasos necesarios para hacer llegar el producto al cliente. La VC describe la gama completa de actividades que realizan las empresas y los trabajadores para llevar un producto desde

su concepción hasta su uso final y más allá. Esto incluye actividades como el diseño, la producción, la comercialización, la distribución y el apoyo al consumidor final. Las principales partes interesadas en una VC son los accionistas e inversores, mientras que los socios de la cadena de suministro son las partes interesadas cruciales en la SC.

La idea de la VC es buscar oportunidades para agregar valor al negocio, por ejemplo, reducir la escasez, preparar planes de productos y trabajar con otros en la cadena para agregar valor al cliente, brindando a las empresas una ventaja competitiva en la industria.

Existen cinco pasos en el proceso de la VC que dan a una empresa la capacidad de crear valor superior al costo de proporcionar sus bienes o servicios a los clientes. Los cinco pasos son:

» **Logística de entrada**: recepción, almacenamiento y control de inventario.

» **Operaciones**: actividades de creación de valor que transforman insumos en productos, como el ensamblaje y la fabricación.

» **Logística de salida**: actividades requeridas para hacer llegar un producto terminado a un cliente. Estos incluyen almacenamiento, gestión de inventario, cumplimiento de pedidos y envío.

» **Marketing y ventas**: actividades asociadas con lograr que un comprador adquiera un producto.

» **Servicio**: actividades que mantienen y mejoran el valor de un producto, como la atención al cliente y el servicio de garantía.

Maximizar las actividades en cualquiera de los cinco pasos permite que una empresa tenga una ventaja competitiva. Para ayudar a simplificar los cinco pasos principales, la cadena de valor también requiere una serie de actividades de apoyo. Estas incluyen adquisiciones, desarrollo de tecnología, gestión de recursos humanos e infraestructura.

Una VC rentable requiere un balance adecuado entre lo que demandan los consumidores y lo que produce una empresa. En pocas palabras, la conexión o secuencia en la VC se origina a partir de la solicitud del cliente, avanza a través del proceso de la cadena de valor y finalmente termina en el producto terminado. La VC pone el énfasis en aspectos tales como la prueba de productos, la innovación, la investigación y el desarrollo y el marketing.

6.1.3
CADENA DE VALOR VS. CADENA DE SUMINISTRO

Una cadena de suministro involucra a todas las partes para cumplir con la solicitud de un cliente y lograr la satisfacción del cliente; sin embargo, una cadena de valor es un conjunto de actividades interrelacionadas que una empresa utiliza para agregar valor y crear una ventaja competitiva.

Mientras que en las primeras cadenas de suministro el flujo era del proveedor al cliente empujado por la producción, en la cadena de valor el flujo va del cliente al proveedor empujado por la demanda. Partiendo del concepto de cadena de suministro, entendida como el costo de proporcionar un producto/servicio al cliente, la cadena de valor se presenta como una vía para generar valor adicional para el cliente. Este cambio también se vio reflejado en el paso del control de calidad al aseguramiento de la calidad y la gestión de la calidad.

6.1.4
CADENA DE VALOR INTELIGENTE

Una cadena de valor inteligente (SVC por sus siglas en inglés) analiza de manera integral toda la cadena de suministro y se enfoca en brindar valor al cliente final. La SVC tiene como objetivo crear conciencia para una toma de decisiones eficiente, aprovechando los datos recopilados por los dispositivos IoT y brindando una visibilidad detallada de los productos, desde el fabricante hasta el minorista.

Las SVC son el resultado de la introducción de nuevas tecnologías en los ciclos de fabricación, las cuales están reconfigurando por completo la forma en que las empresas manufactureras producen y venden. La fabricación ha pasado de la producción en masa a la personalización en masa. La escala y el volumen ya no son los factores clave del éxito, la flexibilidad y la producción cerca de los clientes son ahora los aspectos clave[34]. La fabricación bajo demanda ya no genera inventario, adaptándose a las necesidades. Su lógica ahora se centra no en el producto, sino en el uso, pasando también del taylorismo a un modelo laboral flexible.

[34]Demartini et al. Digitalización de sistemas de ejecución de fabricación. Las tecnologías básicas para realizar futuras fábricas inteligentes, 2017. Actas de la Escuela de Verano Francesco Turco.

TABLA 2: **COMPARACIÓN DE LOS DIFERENTES CONCEPTOS DE CADENA DE SUMINISTRO Y VALOR**

	ÁREA FOCAL
CADENA DE SUMINISTRO	» Reducción de costes y eficacia » Impulsado por la operación
CADENA DE VALOR	» Creación de valor » Innovación » Impulsada por la demanda
CADENA DE VALOR INTELIGENTE	» Introducción de nuevas tecnologías » Digitalización de procesos » Respuesta más rápida a los clientes » Mejora de la comunicación en toda la cadena
CADENA DE VALOR SOSTENIBLE	» Prácticas ambientales, sociales y de gobernanza medidas en todos los niveles » Confianza, transparencia y trazabilidad total » Carbono cero neto » Procesos circulares que minimizan los residuos

La fabricación inteligente o fábrica inteligente es un concepto de producción amplio que ha surgido para optimizar el proceso de fabricación. Es un enfoque impulsado por la tecnología que utiliza maquinaria conectada a Internet, modelado, big data y otros tipos de automatización para monitorear el proceso de producción y aumentar la eficiencia de fabricación. El objetivo de la fabricación inteligente/fábrica inteligente es identificar oportunidades para automatizar las operaciones y utilizar el análisis de datos para mejorar el rendimiento de la fabricación. La fabricación inteligente/fábrica inteligente están en el centro de las SVC.

Algunos ejemplos de fabricación inteligente/fábrica inteligente incluyen:[6]

Schneider Electric, Francia: la planta de Schneider Electric en Le Vaudreuil es un gran ejemplo de una fábrica inteligente, ya que ha sido reconocida como uno de los sitios de producción más avanzados del mundo que emplea tecnología 4RI a escala. La fábrica ha incorporado las tecnologías digitales más actualizadas, como EcoStruxureTM Augmented Operator Advisor, lo que permite a los operadores utilizar la realidad aumentada para acelerar la operación y el mantenimiento y da como resultado un aumento de la productividad del 2 % al 7 %. La primera aplicación de EcoStruxureTM Resource Advisor permitió a la compañía ahorra hasta un 30 % en energía y contribuye a la mejora a largo plazo.

Johnson & Johnson DePuy Synthes, Irlanda: La planta de fabricación de dispositivos médicos de DePuy Synthes, que abrió sus puertas en 1997, ha experimentado una actualización multimillonaria en los últimos años para incorporar la digitalización y la Industria 4.0. El IoT fue una de las inversiones más importantes de Johnson & Johnson. La fábrica empleó tecnología IoT para producir representaciones digitales de activos físicos (conocidos como gemelos digitales) que permitieron obtener información avanzada de las máquinas al conectar los equipos. La organización pudo reducir sus costos operativos y al mismo tiempo reducir el tiempo de inactividad de la máquina como resultado de esta información.

Bosch, China: Combinando IoT y macrodatos, Bosch impulsa la transformación digital de su fábrica Bosch Automotive Diesel System en Wuxi, China. La corporación ha conectado sus dispositivos para realizar un seguimiento del proceso de producción completo en el corazón de su planta. Esto se logra incorporando sensores en las máquinas de la fábrica, que luego se utilizan para recopilar datos sobre el estado y el tiempo de ciclo de los equipos. Cuando se adquieren los datos, los complejos sistemas de análisis de datos los evalúan en tiempo real y notifican a los trabajadores cuando se descubren cuellos de botella en el proceso de producción. Este método ayuda a predecir las averías de los equipos, lo que les permite planificar los procedimientos de mantenimiento con mucha antelación. Como resultado, el fabricante puede mantener su equipo funcionando y operativo durante largos períodos de tiempo.

Adidas Speed Factory, Ansbach, Alemania: con robots que ayudan a los humanos, la empresa se centró en los procesos de producción de zapatillas en un solo espacio, completando así la producción en un par de días y demostrando su teoría de la velocidad. Centrándose en la personalización masiva con plazos de entrega más cortos, utilizan tecnología de impresión 3D para crear fácilmente réplicas o maquetas digitales. Los prototipos se imprimen rápidamente, lo que facilita una respuesta adecuada a las demandas cambiantes de los consumidores y satisface las necesidades de los clientes en cuestión de días.

Haier, China: SmartFactoryKL se creó para allanar el camino a la "fábrica inteligente del futuro". Es la primera planta de fabricación Industria 4.0

[35] https://www.threadinmotion.com/blog/smart-factories-all-around-the-globe

independiente del fabricante del mundo, que sirve como una demostración del valor de la fabricación flexible de alta calidad y cómo se puede aplicar de manera efectiva. SmartFactoryKL persigue objetivos estratégicos específicos que han impulsado la innovación durante los últimos cuatro años; el objetivo es ver la IA implementada en la fabricación. Una plataforma de personalización masiva para 'pedidos a medida' y una plataforma en la nube de servicio inteligente habilitada para IA remota que prevé las necesidades de mantenimiento antes de que ocurran son dos ejemplos de las transformaciones impulsadas por IA.

Infineon, Alemania: La fábrica inteligente de Infineon en Dresden deslumbra al mundo con su fabricación inteligente en red. Más de 200 robots ayudan a los empleados de la empresa, que tiene un nivel de automatización del 92 %. Para los cuatro segmentos de la compañía, Infineon produce más de 400 productos diferentes basados en obleas de 200 mm y 300 mm de manera oportuna y de alta calidad. La línea de 200 mm de la fábrica es la más automatizada del mundo, y su línea de 300 mm fue diseñada para lograr una fabricación totalmente automatizada, aumentando la productividad en un 70 %.

6.2 DIGITALIZACIÓN Y QM EN CADENAS DE VALOR INTELIGENTES

Las nuevas tecnologías introducidas por la 4RI están creando nuevas formas de interacción y nuevas relaciones entre los interesados de la SVC, generando nuevos modelos de negocio.

Estas nuevas tecnologías, al mismo tiempo que aumentan la productividad y la eficiencia, suponen un reto para la gestión de la calidad, que debe seguir el ritmo de los cambios que las nuevas tecnologías traen consigo en los procesos y servicios, pero sin descuidar el nivel de calidad exigido por los clientes.

La complejidad del producto, las cadenas de valor inteligentes con múltiples actores en todo el mundo, la personalización masiva de productos y el menor tiempo de comercialización tienen un impacto en el nivel de calidad (especialmente en algunas industrias globales como la automotriz). La introducción de software y componentes electrónicos en los productos aumenta la complejidad de un producto. Ejemplo de ellos es la cantidad de componentes electrónicos en los automóviles de hoy con respecto a uno de hace 10 años. Todos estos componentes provienen de diferentes proveedores y en ellos se aprecia la complejidad de la gestión de calidad requerida para mantenerse al día con las nuevas tecnologías en las SVC. Alinear los sistemas de gestión de calidad entre todos los participantes de la SVC es un gran desafío.

Los ciclos de desarrollo de productos también se han acortado, presionando a las industrias de alta tecnología para que introduzcan nuevos dispositivos y funciones en sus productos, a veces con pruebas insuficientes que dan como resultado una calidad más baja.

Este nuevo paradigma de gestión de la calidad conocido como calidad inteligente ya está impactando las SVC a todos los niveles.

Los habilitadores de tecnología para la calidad inteligente son los mismos que para las tecnologías de producción digital avanzada descritas en la sección 3.1. Sin embargo, en este capítulo nos centraremos en ellos desde la perspectiva de calidad inteligente.

Los siguientes son algunos de los habilitadores de la tecnología para la calidad inteligente:[36]

Internet de las cosas y la cadena de valor inteligente

El IoT permite a los fabricantes profundizar en los datos del producto que se generan desde los dispositivos para conocer su calidad. Los productos conectados, habilitados por el IoT, proporcionan datos en tiempo real sobre el patrón de uso real del producto. Estos datos se pueden comparar con los datos de diseño reales para minimizar el riesgo de falla del producto. Los datos de uso de los productos conectados se pueden utilizar también para el diagnóstico remoto del producto y reducir el tiempo de gestión de solicitudes de servicio al cliente. Esto mejora la experiencia del cliente y ayuda a capturar de forma precisa sus requisitos.

Los dispositivos IoT usan sensores para medir aspectos específicos del mundo que los rodea. Con el IoT es mucho más fácil comprender dónde están los productos, cómo se almacenan y cuándo se pueden esperar en un lugar específico. Se podría conectar un dispositivo al producto o su contenedor y su posición para rastrear cómo se mueve el producto a lo largo de la SVC. Esto puede desencadenar otras tareas administrativas, como pagos a proveedores o solicitudes de envío posteriores.

En la cadena de suministro, los dispositivos IoT también pueden monitorear las condiciones

[36] Gestión de calidad en la era de la industria 4.0: informe técnico de Y. SatyaNarendra , L&T Group

de almacenamiento de los productos, lo que mejora la gestión de calidad en toda la cadena de suministro. Todos los actores de la SVC pueden prepararse para recibir el producto, reduciendo los tiempos de manipulación y asegurando el procesamiento eficiente de los materiales. Además, para bienes como alimentos y productos químicos que deben almacenarse en condiciones ideales, los dispositivos IoT permiten monitorear la temperatura, la humedad, la exposición atmosférica, la intensidad de la luz y otros factores ambientales. Estos dispositivos pueden incluso activar una alarma si se superan ciertos umbrales. Esto facilita el seguimiento de la calidad de los productos a lo largo de la cadena de suministro y reduce su deterioro.

Cuando se integra con los sistemas de gestión de la cadena de suministro más tradicionales, el IoT puede dar lugar a niveles sin precedentes de eficacia, conectividad, seguridad y comunicación. Agregar IA y blockchain a la mezcla puede introducir un elemento innovador e incluso más poderoso a esta pila tecnológica.

Los datos recopilados por IoT y los sistemas de TI pueden proporcionar una mayor transparencia en las operaciones de logística y suministro, poniendo en evidencia las ineficiencias y las oportunidades para reducir costos, prever futuras tendencias del mercado y obtener una ventaja competitiva. Una cadena de suministro bien optimizada y segura también puede ayudar a ahorrar en costos y gastos generales de administración, mientras que los dispositivos y las aplicaciones de IoT pueden desempeñar un papel importante para lograrlo.[37]

[37] IoT en cadenas de suministro inteligentes, Pegasus Digital, mayo de 2020

A continuación se incluyen algunos ejemplos de uso de IoT en la cadena de suministro:

- Los agricultores pueden usar dispositivos IoT para monitorear la humedad del suelo y decidir el momento óptimo para plantar o cosechar.
- Los fabricantes pueden usar cámaras habilitadas para IoT para detectar defectos y rechazar productos defectuosos.
- Los fabricantes de productos químicos pueden garantizar que las materias primas se mantengan seguras al monitorear y activar una alarma si están expuestas a altas temperaturas.
- Los fabricantes pueden aprovechar la fabricación “justo a tiempo” preparándose para producir los bienes justo cuando están programados para llegar.
- Los minoristas de alimentos pueden controlar la temperatura y la humedad de los productos almacenados o transportados para garantizar que lleguen a las tiendas en condiciones óptimas.
- Los minoristas pueden trabajar con flotas de logística especializadas para rastrear los productos mientras están “ en camino” a los centros de distribución.

Internet de las cosas y gestión de la calidad

El control de calidad es fundamental en todas las industrias, pero en la fabricación es vital. Con la llegada gradual de IoT a la fabricación, la gestión de calidad es un área con oportunidades de transformación.

La gestión eficaz de la calidad se basa en la capacidad de monitorear y controlar constantemente los equipos y los parámetros del proceso que afectan la calidad del producto. Sin embargo, las tareas de automatización sensibles al tiempo y las comunicaciones por cable carecen de la flexibilidad y la asequibilidad necesarias para capturar datos de telemetría a escala y más allá del nivel de la máquina. Por lo general, factores como las condiciones ambientales, a pesar de su gran influencia en la variabilidad de la calidad, a menudo no se estudian ni controlan. Por ejemplo, en la fabricación de automóviles, una temperatura ambiente desfavorablemente baja puede reducir la calidad de los componentes impresos en 3D al hacer que se enfríen demasiado rápido.

Como la mayoría de estos sistemas se diseñaron en el siglo pasado, no son adecuados para conectarse con agentes externos en una SVC. Esto crea islas de datos desconectados que no se pueden utilizar para mejorar la eficiencia y el rendimiento de la producción. Los sistemas diseñados bajo la Industria 4.0 con un enfoque proactivo para la conectividad IoT, no solo brindan confiabilidad de nivel industrial y comunicaciones seguras y confiables, sino también un alto nivel de escalabilidad, rentabilidad e interoperabilidad necesarios para superar la inercia de fabricación.[38]

El IoT, en cualquier grado que se implemente en una organización, facilitará las conexiones entre 3 agentes importantes.

Estas conexiones proporcionarán mejoras de desempeño transformadoras, incluida una mayor innovación, relaciones organizacionales y sociales más sólidas, procesos más resistentes y una toma de decisiones más crítica en tiempo real.[39]

[38] https://behrtech.com/blog/how-to-level-up-quality-control-in-manufacturing-with-iot/

[39] Radziwill N., Conectado, Inteligente, Automatizado: la guía definitiva para la transformación digital y la Calidad 4.0. Prensa de calidad. 2020

Las redes inalámbricas de IoT que pueden capturar grandes puntos de datos granulares a lo largo de la línea de producción brindan a los fabricantes un control sin precedentes sobre sus operaciones y salidas de productos. Más allá de la inspección de calidad reactiva al final de la ejecución, los datos de IoT permiten un enfoque de control de calidad proactivo para diagnosticar y prevenir defectos mucho antes en el proceso para lograr un rendimiento de producción máximo y repetibilidad junto con costos y desperdicios reducidos. Al mismo tiempo, proporciona información valiosa para lograr y mantener las mejores prácticas de almacenamiento.

El IoT desempeñará un papel fundamental en la optimización de la calidad de fabricación a medida que los robots y los controles de las máquinas se conviertan cada vez más en una parte integral de la planta, lo que acelerará la producción y aumentará la repetibilidad. Sin embargo, el equipo se desgastará y eventualmente experimentará fallas durante meses y años de operación. Mientras tanto, las personas involucradas en los procesos de fabricación, así como en el manejo de materiales, el mantenimiento y captura manual de datos pueden introducir errores. Al capturar, analizar y comunicar datos de sensores IoT en tiempo real, los fabricantes pueden identificar e incluso predecir problemas antes de que estos aparezcan.

Además, cuando se trata de industrias como la farmacéutica o la de alimentos y bebidas, la gestión de la calidad no se detiene al final de la línea de fabricación. La temperatura, la humedad, los golpes y otros factores durante el almacenamiento tienen un impacto en la vida útil del producto. Las redes de sensores IoT pueden ayudar a monitorear y lograr condiciones ideales de almacenamiento y transporte.

La tecnología IoT disponible para las instalaciones de producción ahora permite conexiones directas a controladores lógicos programables y sensores inteligentes en equipos de proceso y herramientas para monitorear parámetros operativos, como velocidad, tiempo de ciclo, temperatura, presión, caudal, corriente y voltaje. Esto hace que sea factible y asequible capturar tanto las mediciones del proceso como del producto para cada pieza de trabajo en el esquema de medición general.

Además, cuando el monitoreo automatizado de los parámetros del proceso se combina con mediciones en línea de las características del producto, el flujo de información y el análisis en tiempo real aseguran un sistema de gestión de calidad transaccional eficaz.[40]

El flujo constante de mediciones (datos) de la planta de producción permite cerrar el ciclo de información de forma duradera. Con análisis en tiempo real en base a métodos SPC (statistical process control - control estadístico de procesos) aplicados a límites de control superior e inferior, los especialistas en calidad y los gerentes de operaciones pueden acceder a métricas actualizadas para predecir la calidad del producto y recibir alertas sobre problemas de calidad inminentes. Con este flujo de información esbelto automatizado, también pueden predecir cuándo el equipo necesitará mantenimiento antes de afectar la calidad del producto o interrumpir los programas de producción. Esto, a su vez, ayuda a garantizar el máximo tiempo de actividad y la utilización del equipo en apoyo de la eficiencia, la calidad constante y las entregas a tiempo.

IA/AA y la SVC

La gestión de la cadena de suministro habilitada por IA permite mejorar la previsión de la demanda, revolucionar la transparencia de extremo a extremo e impulsar la planificación empresarial integrada. Según el Subcomité de Detección del Comité de Investigación, Innovación y Estrategia de la Asociación para la Gestión de la Cadena de Suministro, la IA/AA se encuentran entre las 10 tendencias de la cadena de suministro a observar en los próximos años. " El éxito de McKinsey en la revolución de la cadena de suministro de IA" estima que la capacidad de la IA/AA para respaldar una mejor toma de decisiones a través del análisis de volúmenes masivos de datos ha permitido a los primeros usuarios mejorar los costos de logística en un 15 %, los niveles de inventario en un 35 % y los niveles de servicio en un 65%. No hay duda sobre el impacto significativo que la IA/AA tienen en el rendimiento de la SVC.

En el sector industrial, la aplicación de la IA está respaldada por la creciente adopción de dispositivos y sensores conectados a través de IoT que recopilan una enorme cantidad de datos. La IA permite el uso de dichos datos para tareas de alto valor agregado, como el mantenimiento predictivo o la optimización del rendimiento, con niveles de precisión sin precedentes. Por lo tanto, la combinación de IoT e IA está dando lugar a la próxima ola de mejora del rendimiento.

[40]Aprovechando la convergencia de la calidad de fabricación, IoT y Lean, Revista de calidad, Ed Potoczak , 17 de octubre de 2017

Para promover esta automatización, la IA utiliza los datos históricos del IoT para analizar tendencias que pueden ayudar a optimizar y mejorar el proceso de la cadena de suministro a través de soluciones innovadoras como la programación de operaciones impulsada por la IA. Esto proporciona recomendaciones a los seres humanos en cuanto a la secuencia de programación óptima, lo que reduce sustancialmente los errores e ineficiencias. La IA no reemplaza a los humanos, sino que se asocia con ellos para aumentar la eficiencia y precisión. A través de flujos de trabajo integrados, gran parte del proceso de la cadena de suministro se puede automatizar de manera inteligente. Estos tipos de capacidades impulsadas por la IA tienen el potencial de redefinir el proceso de la cadena de suministro comercial.

Los primeros usuarios de la IA han implementado estas tecnologías en las instalaciones, nube, posiciones periféricas y a través de muchos tipos de arquitecturas híbridas. La IA en sí misma no es una entidad, sino que se compone de varios tipos de tecnología, incluidas las redes neuronales, aprendizaje profundo, procesamiento del lenguaje natural, visión artificial, aprendizaje automático no supervisado, aprendizaje automático supervisado, aprendizaje por refuerzo, aprendizaje por transferencia y otros. Estos diversos tipos de IA se aplican de diferentes maneras en todo el mundo industrial para crear soluciones específicas como el análisis descriptivo, predictivo y pronóstico.[41]

IA/AA y gestión de calidad (QM por sus siglas en inglés)

La facilidad que tienen los profesionales de calidad hoy en día para capturar datos en comparación con hace una década es sustancial. Gracias al IoT y la computación en la nube, se dispone de una enorme cantidad de datos para la toma de decisiones y mejora de la calidad. Sin embargo, las ventajas normalmente también conllevan desventajas. En este sentido, nos referimos a la calidad de los datos. El aprendizaje automático tiene un papel importante que desempeñar en la mejora de la calidad de los datos. El siguiente ejemplo ilustra cómo se puede utilizar el AA para mejorar la calidad de los datos:[42]

» Planteamiento del problema: Digamos que un gran banco se ocupa del riesgo crediticio financiero. A veces, este riesgo se denomina como "CR", "CR Financial" o, en raras ocasiones, "Credit Risk Financial" en los registros oficiales. Ha llegado el momento de conciliar todas estas entradas, aunque los gerentes están de acuerdo en que la tarea requiere mucha mano

[41]https://supplychaindigital.com/technology/unlocking-value-supply-chain-ai-driven-processes

[42]Phani Akkineni, Papel de la AI y el ML en la GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS DATOS, 27 de agosto de 2021

de obra y es tediosa. Además, si un humano fuera a realizar este trabajo, podría perderse una entrada.

» Enfoque: Aquí es donde entra en juego el AA. Un programa de computadora puede escanear toda la información del banco en cuestión de horas y luego entregar un informe que muestra cuántas veces aparecen cada una de las nomenclaturas. Con esta información, el banco puede tener una idea de su exposición a CR Financial.

» Mejorar la calidad de los datos después de cada ejecución: ¿Qué sucede si hay algunos errores en el escaneo, por ejemplo, el programa de computadora arroja falsos positivos? La máquina aprende de sus errores; una vez que recibe retroalimentación, incorpora las correcciones en su memoria. Aplicará esas reglas al siguiente conjunto de datos que revise.

La IA/AA podría usarse de diferentes maneras para mejorar la calidad de los datos.

» Captura automática de datos: la máquina recopila los datos sin participación humana (sin errores).

» Identificación de registros duplicados: la IA se puede utilizar para eliminar registros duplicados en la base de datos de una organización.

» Detección de anomalías: un pequeño error accidental puede causar una pérdida significativa en el futuro. Un sistema habilitado de IA puede eliminar un defecto en un sistema.

Asimismo, la IA/AA, cuando se utiliza en la SVC, optimiza los procesos de gestión de calidad. Las siguientes son posibles ventajas que la IA/AA podría proporcionar a los procesos de QM:

» Reutilizar plantillas y listas de verificación

» Analítica inteligente

» Investigación simplificada

» Resolución proactiva de problemas

» Visibilidad mejorada

» Tiempo de ciclo de proceso reducido

» Proceso de toma de decisiones más rápido e inteligente

Ejemplos de lo anterior son el uso de técnicas de IA/AA para automatizar procesos de prueba e inspección que, además de los datos recopilados por algunos dispositivos, requieren la interpretación de dichos datos para tomar una decisión de aprobación/no aprobación. La inspección visual final de la calidad del empaque o algunas propiedades organolépticas de alimentos y bebidas son ejemplos en los que IA/AA se puede aplicar con un alto grado de efectividad para automatizar el proceso.

Asimismo, el análisis de las causas raíz de los problemas de calidad considerando la gran cantidad de parámetros internos que deben ser tenidos en cuenta (hombre, máquina, material, método y medición) es otro campo en el que la IA/AA puede brindar una valiosa ayuda, encontrando correlaciones de grandes conjuntos de información, que es exactamente lo que se necesita en el análisis de causa raíz.

Impresión 3D/fabricación aditiva y la SVC

En un estudio de 2017 realizado por PwC, el 74 % de los participantes estuvo de acuerdo en que las empresas que invierten hoy en impresión 3D tendrán una ventaja competitiva significativa en el futuro.[43]

Hoy en día, el impacto de la impresión 3D/AM en el ciclo de vida del producto es indiscutible. A medida que la industria avanza hacia SVC, la impresión 3D/AM se está integrando en varios procesos[44] , siendo el desarrollo de productos y tecnologías un ejemplo de ello. Las empresas que adoptan la impresión 3D aprovechan una velocidad sin precedentes en el desarrollo de productos, iterando más rápido con la fabricación sin herramientas de la impresión 3D y tiempos de producción reducidos. La fabricación aditiva no debe verse como un método de fabricación de reemplazo para componentes que fueron diseñados con otro proceso. Al contrario, en la fabricación aditiva los componentes están diseñados para que funcionen más que para que se puedan fabricar.

La impresión 3D/AM reduce la cadena de suministro, no hay necesidad de buscar en todo el mundo proveedores confiables con tarifas de mano de obra bajas. La impresión 3D/AM permite menos proveedores y producción local equipada con una flota de impresoras 3D. Los proveedores locales reducen los costos de transporte, los costos de herramientas son mínimos o nulos, los componentes se fabrican a pedido, no existen costos de almacenamiento con un capital significativo inmovilizado en los estantes y la entrega es más rápida.

La impresión 3D/AM y los procesos de fabricación tradicionales pueden coexistir y complementarse entre sí, lo que maximiza los beneficios al mismo tiempo que aumenta la flexibilidad de fabricación, reduce el tiempo de comercialización y abre nuevas oportunidades de diseño y características del producto.

[43] Por qué la calidad es el obstáculo para la adopción masiva de la impresión 3D, Matt Bellias , IBM Business Operation Blog, 5 de febrero de 2018

[44] Demartini et al., Gestión de la calidad en la era de la industria 4.0, XXIII Summer School Francesco Turco

Impresión 3D/fabricación aditiva y gestión de la calidad

Aunque la impresión 3D es cada vez más rápida gracias a las soluciones proporcionadas por los proveedores de software CAD, la calidad sigue siendo la principal barrera para la adopción masiva de la impresión 3D en todas las SVC.

Para un operador de almacén con un negocio intensivo en activos, el enfoque principal será administrar agresivamente los inventarios de piezas de repuesto para reducir el capital vinculado mientras asegura que sus clientes tengan la pieza de repuesto requerida a tiempo para evitar cualquier interrupción en sus operaciones. En este escenario, la impresión 3D ofrece una solución innovadora. Pero aquí es cuando la calidad aparece como un verdadero desafío para las empresas que no tienen experiencia en los procesos de fabricación. Los clientes estarán encantados si pueden tener la pieza de repuesto requerida a tiempo a un costo mínimo, pero si la pieza de repuesto no cumple con los requisitos de calidad, las ventajas de la impresión 3D se desvanecen.

Bajo los modelos operativos tradicionales, la calidad es inherente a la fabricación de repuestos. Pero la calidad de las piezas de repuesto producidas por impresión 3D es todo menos segura. Para que la impresión 3D de piezas de repuesto se considere fiable, la calidad debe ser:

» Probada y repetible bajo procesos de producción estables: impresoras, materiales, operadores, etc., que sean similares.

» Consistente en todas las ubicaciones y operaciones, bajo cualquier condición.

» Garantizada sin intervención del diseñador de la pieza.

Aquí hay tres riesgos cuando un negocio intensivo en activos cambia de la adquisición y gestión de piezas de repuesto a la fabricación de piezas por sí mismo[45]:

Calidad de los materiales de origen

Cualquiera en el negocio de la fabricación conoce el famoso dicho “basura entra - basura sale”, y la gestión de proveedores es clave para garantizar que solo los suministros que cumplan con los criterios de calidad entren en el proceso. Sin embargo, este no es el caso para los proveedores de soluciones y equipos de impresión 3D, que tienen poca o ninguna experiencia en la fabricación. La carga del abastecimiento de materiales de entrada para la AM recae en el negocio que produce las piezas de repuesto con sus impresoras. La calidad desconocida de los materiales de origen presenta un gran riesgo operativo potencial. Esto es especialmente cierto si las piezas se utilizan en equipos de misión crítica o tienen un papel en la producción de productos sensibles a la calidad, como dispositivos médicos, productos alimenticios y muchos otros.

Calidad en el proceso de fabricación

La gestión de calidad en el proceso de fabricación ha recorrido un largo camino hasta garantizar la calidad de los productos que tenemos hoy, pero no es el caso para los fabricantes de repuestos. Si bien brindar soluciones de impresión 3D con estándares de calidad consistentes puede ser un modelo disruptivo para las cadenas de suministro y resolver muchos desafíos operativos, la fabricación por sí sola puede verse limitada - al menos en el futuro cercano - a una fracción de su inventario de piezas de repuesto que no es de misión crítica. Por el momento, asegurar la calidad en el proceso de fabricación de las piezas con AM es muy difícil.

Control de calidad

Cada proceso de fabricación tradicional tiene incorporado un control de calidad, que varía desde la inspección manual, la aplicación de IA/AA, hasta operaciones de fabricación avanzadas. Debido a que la industria recién está emergiendo, no existen soluciones claras para el control de calidad. Esto es especialmente complicado para repuestos certificados si provienen de un fabricante. Sabemos que se han llevado a cabo una serie de procedimientos y pruebas para garantizar la conformidad con los requisitos y todo el proceso está bajo la supervisión de un organismo de certificación acreditado (ACB). Pero ese no sería el caso con un repuesto fabricado en 3D. En este caso, ¿cómo podría comprobarse la conformidad con los requisitos? Una idea emergente es aplicar la inspección visual al proceso de impresión 3D. Esta opción es relativamente barata si se hace a escala. Como solo se basa en un software y una cámara de alta definición, se puede hacer en el sitio de impresión. Sin embargo, requiere que el diseñador de piezas entrene los algoritmos de AA y que el CB los apruebe. La industria ha comenzado a explorar soluciones en este sentido.

Blockchain y la SVC

Cuando pensamos en blockchain, la tecnología de mantenimiento de registros digitales, normalmente pensamos en el mundo financiero en relación con el Bitcoin y otras criptomonedas. Sin embargo, en los últimos años se ha hecho evidente que el blockchain también puede ser una tecnología muy valiosa para mejorar las cadenas de suministro.

[45]Por qué la calidad es el obstáculo para la adopción masiva de la impresión 3D, Matt Bellias, IBM Business Operation Blog, 5 de febrero de 2018

La entrega de productos, trazabilidad, coordinación entre socios y ayuda para el acceso a la financiación podrían ser más rápidas y rentables a través de la tecnología blockchain.

En el mundo financiero, el blockchain es un sistema abierto que permite a un número ilimitado de partes anónimas realizar transacciones privadas entre sí sin un intermediario central. Sin embargo, dentro de una cadena de suministro, este permite la interacción de un número limitado de partes conocidas para proteger su operación comercial contra actores malintencionados al tiempo que respalda un mejor rendimiento en un sistema cerrado. Esta es una diferencia importante y básica entre ambos campos de aplicación de esta tecnología.[46]

Como se trata de una nueva aplicación de una nueva tecnología, el desarrollo de nuevos estándares para representar transacciones en un bloque y las nuevas reglas para gobernar el sistema se encuentran en diferentes etapas de desarrollo.

La ventaja de utilizar la tecnología blockchain en la cadena de suministro se refleja en la visibilidad que proporciona. Una transacción entre dos partes en la cadena de suministro involucra un flujo financiero, flujos de inventario y flujos de información. El blockchain integra los tres tipos de flujo en la transacción mediante una cadena cronológica de bloques. Además, cada bloque está encriptado y distribuido a todos los participantes, quienes mantienen sus propias copias del blockchain. Gracias a estas características, el blockchain proporciona una prueba de auditoría completa, confiable y a prueba de manipulaciones de las tres categorías de actividades en la cadena de suministro.[47]

A pesar de sus prometedores beneficios, la aplicación de esta tecnología aún se encuentra en una etapa muy temprana. Según una encuesta de APQC 2018, solo el 1% de las organizaciones está usando blockchain en su SVC y otro 30% está explorando su uso, mientras que más del 50% no está usando ni explorando su uso. Sin embargo, más del 7 % de las organizaciones tienen la intención de invertir en blockchain en un futuro cercano y casi el 49 % aún no está seguro acerca de la tecnología.

Blockchain y gestión de calidad

El Blockchain ha transformado múltiples industrias, brindando más transparencia y visibilidad a la forma en que operan los procesos comerciales. La tecnología tiene numerosas posibilidades, que aún

[46]Vishal Gaur y Abhinav Gaiha , Construyendo una cadena de suministro transparente, HBR, junio de 2020
[47]Vishal Gaur y Abhinav Gaiha , Construyendo una cadena de suministro transparente, HBR, junio de 2020

- Automatizar el movimiento de material en función de condiciones predefinidas
- Automatizar el proceso de compra
- Garantizar la calidad, la autenticidad y la disponibilidad de los productos.
- Impedir que se acepten productos defectuosos o bienes sin verificación
- Liberar los pagos correctos a las partes correspondientes
- Verificar entrega y condiciones pactadas

- Brindar visibilidad sobre las condiciones de manejo del origen del envío.
- Registrar el estado del producto en cada etapa de producción
- Seguimiento de todos los pasos del proceso
- Seguimiento de pedidos de compra, pedidos modificados, recibos, notificaciones de envío u otros documentos relacionados con el comercio

- Documentar cada transacción
- Ofrecer posibilidades de transparencia en las transacciones
- Reducir la necesidad de entrada manual
- Visualizar las transacciones registradas en una cadena de bloques

- Comunicar cargas, puntos de referencia geográficos e información básica de cumplimiento con los transportistas
- proporcionar más visibilidad en toda la SC
- Registrar las partes involucradas, precio, calidad, ubicaciones y estado del producto
- Documentos seguros y de conformidad, números DOT y documentación de recolección

están evolucionando, pero cada vez más industrias están haciendo uso de ella en sus iniciativas de calidad inteligente.

El Blockchain se puede utilizar para un mejor manejo de las retiradas de productos que de otra forma llevaría mucho tiempo y, lo que es más importante, depreciaría la imagen de la empresa. En ciertas fábricas, como la automotriz o la de productos alimenticios, un sistema único para gestionar las retiradas de productos mediante la identificación del origen de las piezas defectuosas ahorra tiempo y dinero. La gestión de garantías en la industria del automóvil involucra a múltiples partes interesadas y múltiples transacciones, lo que hace que sea un proceso más complejo de manejar. La DLT brindaría transparencia segura a varias partes interesadas y puede ser una mejor oportunidad comercial para las empresas manufactureras.

La siguiente figura muestra algunos ejemplos de cómo se puede aplicar la tecnología blockchain dentro de la SVC y algunos procesos de gestión de calidad.

Aunque el blockchain es una de las nuevas tecnologías englobadas bajo el marco de la Industria 4.0, todavía tiene un largo camino por recorrer para ser parte de la caja de herramientas de gestión de calidad de la cadena de suministro.

6.2.1 OTRAS TECNOLOGÍAS QUE AFECTAN LA GESTIÓN DE LA CALIDAD

Movilidad

La movilidad ha alterado los patrones de fabricación tradicionales y ha creado nuevos modelos de negocio para ellos. La movilidad ha reducido los límites que existían y está conectando a varias partes interesadas de la cadena de suministro en tiempo real. La movilidad también está transformando los sistemas de calidad tradicionales hacia sistemas de control de calidad digital mediante aplicaciones móviles. Las aplicaciones móviles se pueden usar para crear notificaciones para el personal de operaciones o para crear instrucciones de control de calidad digital.

Análisis de redes sociales

Las redes sociales se han vuelto indispensables para cualquier cliente, y las empresas han aprovechado esta oportunidad para mejorar su alcance. Las plataformas de redes sociales capturan la opinión del cliente en términos de desempeño del producto y pueden usarse para determinar el éxito de este. Estas plataformas son una gran fuente de comentarios de clientes no estructurados y se pueden utilizar para obtener información útil. Los análisis se pueden utilizar para determinar patrones de datos y correlacionar datos con situaciones similares para acelerar el análisis de causa raíz. Estas mismas plataformas también se pueden utilizar para que los clientes sean conscientes de los problemas existentes y potenciales del producto.

Análisis de datos

La cantidad de datos generados en una organización es enorme, y utilizar estos datos de manera efectiva es un desafío. Con mejoras en computación avanzada y algoritmos inteligentes, se pueden obtener valiosos conocimientos comerciales a partir de los datos, lo que puede dar una ventaja competitiva clave para las empresas. Los sistemas de gestión de calidad modernos pueden utilizar análisis de datos para predecir las tasas de falla del producto, lo que representa un desafío para las empresas de fabricación. La calidad y el mantenimiento predictivo son algunos de los principales usos del análisis de datos.

Realidad Aumentada y Virtual

Los sistemas de gestión de calidad tradicionales se basan más en papel y requieren intervención humana. Se requieren habilidades especializadas del personal del taller durante las inspecciones de calidad manuales en el taller. El personal operativo debe inspeccionar manualmente el producto de un lote y luego debe identificar si cumple con la especificación de calidad o no. La cantidad de tiempo consumido, el nivel de habilidad de los operadores y la cantidad de operadores requeridos son enormes, lo que supone un cuello de botella en este proceso. La RA y RV pueden facilitar estas operaciones al guiar a los operadores secuencialmente sobre el proceso. Esto reduciría la dependencia de operadores altamente calificados y el tiempo de operación.

Las características típicas de esta nueva SVC son las redes verticales basadas en CPS para construir fábricas reconfigurables flexibles y que reaccionan rápidamente a los cambios en la demanda de los clientes. Los recursos y los productos están conectados en red y los materiales y las piezas se pueden ubicar en cualquier lugar y en cualquier momento. Además, la integración horizontal a través de SVC globales proporciona altos niveles de flexibilidad, lo que permite que la empresa responda más rápido. La transparencia dentro de la SVC permite al fabricante identificar los cambios.

Gestión de Calidad, estandarización y evaluación de la conformidad

La gestión de calidad y la estandarización son dos componentes de la SVC que deben ir de la mano para mitigar los riesgos que surgen de la introducción de estas nuevas tecnologías y procesos. Las metodologías y procesos tradicionales de evaluación de la conformidad deben adaptarse a los requisitos de la SVC, por ejemplo, las pruebas físicas costosas y lentas utilizadas en la certificación de productos pueden reemplazarse por modelos y simulaciones. Los esfuerzos para ampliar y adoptar estándares para el intercambio de información de calidad en la cadena de suministro están lejos de completarse. Los líderes de la industria deben participar en estas actividades para garantizar que sus necesidades estén representadas y que los estándares continúen evolucionando.

Los organismos reguladores y de evaluación de la conformidad deberán considerar cómo certificar productos y servicios que no hayan sido probados físicamente. Un ejemplo reciente de esto es el desarrollo de un banco de pruebas digitalizado para probar las máscaras faciales de EPP según los estándares internacionales mientras se entregan datos validados para la certificación digital.[49] Los métodos de prueba físicos y digitales desarrollados brindan retroalimentación directa al proceso de diseño, al tiempo que aseguran la calidad de los datos en todo momento para brindar trazabilidad de las decisiones tomadas. Mientras se implementa este nuevo proceso, la necesidad de pruebas físicas al final de la línea se reduce significativamente, al igual que el tiempo de comercialización y el costo de las pruebas. A medida que la SVC continúa con su globalización, se requieren servicios de evaluación de la conformidad para garantizar que la gestión de calidad pueda mantener el nivel de calidad a medida que una empresa digitaliza sus procesos (consulte la figura 6).

Como se mencionó en las secciones anteriores, los organismos de estandarización internacionales y nacionales deben acelerar el proceso de hacer que los estándares sean "legibles por máquina" para que puedan ser procesados fácilmente por una computadora y adaptarse mejor a las necesidades de la SVC.

Otro ejemplo es el uso de tecnología digital para mejorar y brindar acreditación, incluido el uso de tecnología blockchain. El Servicio de Acreditación del Reino Unido ha comenzado a utilizar la tecnología blockchain en sus propios procesos con la introducción de nuevos certificados electrónicos, lo que permite una verificación rápida y sencilla de la autenticidad del estado de la certificación acreditada simplemente escaneando un código QR.

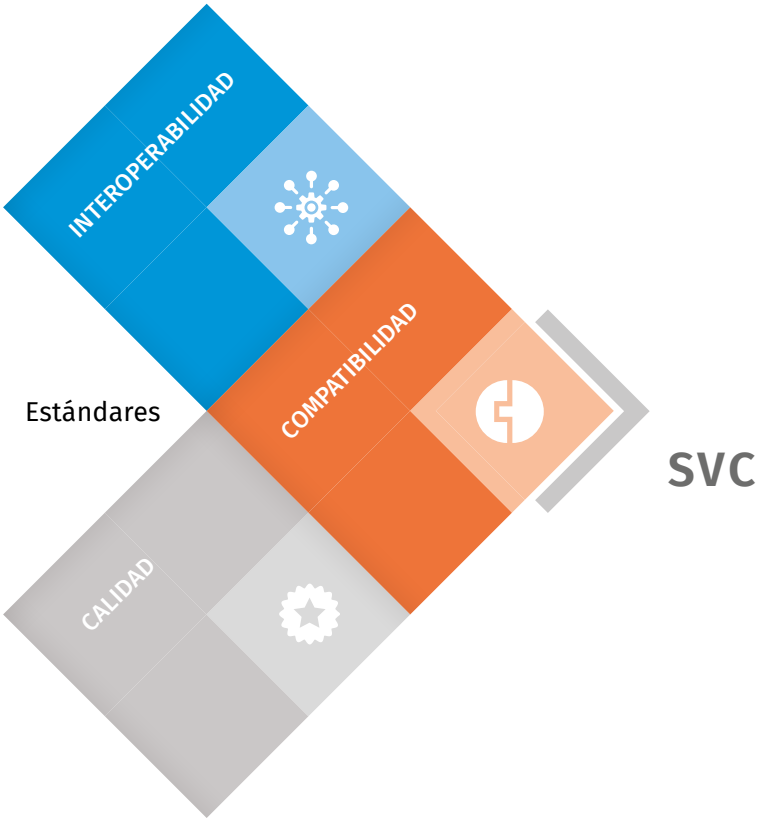
A medida que las empresas emergentes, las PYMEs y multinacionales integren sus productos y servicios en una SVC continua que proporcione nuevos productos y servicios, se requerirán nuevos estándares internacionales para respaldar la adopción de las nuevas tecnologías de la Industria 4.0. Las partes interesadas de la SVC, incluidos los innovadores en las PYMEs que están en el corazón de la comunidad de innovación y que a menudo luchan por mantener una participación efectiva en el proceso de desarrollo de estándares, deben contribuir a su desarrollo. Esto facilitará la adopción de nuevas tecnologías sin construir barreras para la introducción de nuevas tecnologías, productos y servicios.

[49] Estándares para la Cuarta Revolución Industrial - Departamento de Negocios, Energía y Estrategia Industrial, julio de 2021, www.gov.uk/beis

FIGURA 6: **LAS ESTRUCTURAS DE IC CONTRIBUYEN A LA CONFIANZA EN LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS DE LA SVC**

FIGURA 7:

Lograr un lenguaje común sobre las nuevas tecnologías en toda la SVC facilitará la interoperabilidad y la rápida adopción de las nuevas tecnologías, así como la transferencia de conocimiento entre las partes interesadas del SVC.



6.3
CAMBIOS PARA EL PROFESIONAL DE GESTIÓN DE CALIDAD

Pero no todo son nuevas tecnologías y modelos de negocio, también se ven afectados los seres humanos que trabajan en la SVC, entre ellos los profesionales de QM. El panorama cambiante de la geopolítica, los mercados y las cadenas de suministro, incluida la estandarización internacional de productos y sistemas de gestión, está cambiando significativamente el papel de QM dentro de la organización. Los profesionales de QM deberán operar en un contexto global cada vez más complejo y de rápido movimiento, lidiando con nuevos mercados, nuevos requisitos de cumplimiento y nuevos desafíos de la cadena de suministro. Los profesionales de QM deberán adaptarse para respaldar la transformación digital, ayudando a las empresas a diseñar y rediseñar sistemas y procesos, ayudando a las empresas a traducir big data en valor real en términos de prevención de fallas y resolución de problemas complejos. En consecuencia, las habilidades que necesitan los profesionales de QM que trabajan en SVC son muy diferentes de las que tenían anteriormente cuando QM era una disciplina interna. Aunque es muy difícil predecir las habilidades necesarias para el futuro QM, al menos podemos identificar las siguientes:

» Los profesionales de calidad inteligente necesitarán habilidades, como el pensamiento creativo, el liderazgo y comunicación, y deberán colaborar no solo dentro de la empresa sino en toda la SVC.

» Deben comprender el papel de las nuevas tecnologías que son sistemas de producción ciber físicos y combinarlos con las mejores prácticas de gestión de calidad, donde sus decisiones se basan en big data. La profesión deberá adoptar la tecnología en el diseño de modelos y sistemas comerciales, incorporando control y seguridad digitales.

» Deben motivar a sus equipos de trabajo, estar abiertos al cambio, saber tomar decisiones y gestionar conflictos. También hay que destacar que en el futuro, el intercambio de ideas tendrá prioridad sobre el intercambio de bienes.

7. Tendencias futuras para la IC inteligente

7.1 CALIDAD INTELIGENTE EN LAS EMPRESAS

Aunque la 4RI llegó para quedarse, ya se habla de la "Industria 5.0" que se basa en algunos de los conceptos de calidad y calidad inteligente que se discutieron en secciones anteriores de esta publicación. Según la Comisión Europea, " *La Industria 5.0 proporciona una visión de la industria que va más allá de la eficiencia y la productividad como únicos objetivos y refuerza el papel y la contribución de la industria a la sociedad .*"[...] *"Pone el bienestar del trabajador en el centro del proceso productivo y utiliza las nuevas tecnologías para generar prosperidad más allá del empleo y el crecimiento respetando los límites de producción del planeta".*[50]

Existen grandes disparidades en el ritmo al que las empresas (y en particular las economías en desarrollo) implementarán las filosofías de la Industria 4.0 y la calidad inteligente para satisfacer las necesidades y expectativas de sus clientes y otras partes interesadas. Mucho dependerá del contexto en el que operen. Según la norma ISO 9001:2015, esto incluye tanto el contexto interno (por ejemplo, cuestiones relacionadas con los valores, cultura, conocimiento y desempeño) sobre el que se espera que la organización ejerza alguna influencia y control, como el contexto externo (incluidos los aspectos legales, entornos tecnológicos, competitivos, de mercado, culturales, sociales y económicos) que están en gran medida fuera de su control.

Por lo tanto, es razonable suponer que habrá una coexistencia de enfoques sofisticados y de alta tecnología para la gestión de la calidad (lo que llamamos "calidad inteligente") junto con enfoques más tradicionales que pueden seguir siendo relevantes dependiendo de los mercados en los que las empresas individuales operan o aspirar a operar. Como hemos visto en la sección 5.2 Figura 4, el único imperativo es que un enfoque tradicional de la gestión de la calidad ya no será apropiado ni efectivo para aquellas empresas que han realizado la transformación digital hacia un enfoque de Industria 4.0. Para aquellos que no lo hayan hecho, los enfoques tradicionales de gestión de la calidad pueden ser suficientes, siempre y cuando continúen brindando confianza en la capacidad de la organización "para proporcionar productos y servicios conformes de manera consistente", aunque esto no garantizará el éxito sostenido a largo plazo. Sin embargo, el sistema de gestión de calidad también puede actuar como un impulsor para estimular a las empresas a adoptar enfoques más modernos (tipo Industria 4.0) no solo internamente, sino también a lo largo de sus cadenas de suministro/valor.

En lo que se refiere a las normas del sistema de gestión de la calidad, ha habido un debate importante en los últimos dos años sobre si es necesario revisar la norma ISO 9001:2015 (la norma de requisitos del sistema de gestión de la calidad más importante del mundo, utilizada como base para la certificación en un nivel global). La conclusión fue que la norma ISO 9001:2015 sigue siendo adecuada para su propósito y se considera (al menos por ahora) lo suficientemente flexible como para permitir que las empresas utilicen enfoques y herramientas de baja y alta tecnología (calidad inteligente) para cumplir con sus requisitos en términos de desempeño. En 2020, el Comité Técnico de Gestión de Calidad y Garantía de Calidad de ISO (ISO/TC176) tomó la decisión de reconfirmar ISO 9001:2015 por cinco años más. Sin embargo, aún podría iniciarse un proceso de revisión antes de 2025 si se considera necesario después de consultas adicionales o desarrollos en el contexto socioeconómico global.

También es relevante considerar las implicaciones del concepto de "calidad amplia". Eso no significa que el alcance de ISO 9001 probablemente cambie para abordar cuestiones que van más allá del enfoque tradicional con respecto a la calidad de

[50] Comisión Europea, Investigación e innovación. (2022). Industria 5.0. [en línea] Disponible en: https://research-and-innovation.ec.europa.eu/research-area/industry/industry-50_en [Consultado el 11 de octubre de 2022].

Lo que sí significa es que las empresas pueden necesitar mirar más allá de ISO 9001, a estándares como ISO 9004 ("Directrices para el éxito sostenido"), ISO 14001 (Gestión ambiental), ISO 45001 (Gestión de seguridad y salud ocupacional), ISO/IEC 27001 (Gestión de la Seguridad de la Información) , ISO 26000 (Guía de Responsabilidad Social) y otras, si quieren cumplir con sus compromisos con las partes interesadas que no sean solo "el cliente", sino también con la sociedad en su conjunto, en preparación para una "Industria 5.0". Esto requiere una mayor conciencia de los problemas ambientales, sociales y de gobernanza y la contribución que las empresas pueden hacer para lograr los ODS 2030.

ISO ahora posee un amplio conjunto de estándares de sistemas de gestión armonizados que se pueden implementar utilizando un enfoque integrado y orientado al negocio.

7.2 GESTIÓN DE CALIDAD Y PRODUCCIÓN INTELIGENTE EN CADENAS DE VALOR INTELIGENTES EN PAÍSES EN DESARROLLO

Integración de la gestión de la calidad en las cadenas de valor inteligentes

A medida que la fabricación evoluciona, desde las empresas de fabricación individual hacia las SVC, la gestión de calidad también debe adaptarse y cambiar su función. Muchas industrias con un conocimiento profundo de la gestión de la calidad se han centrado en medir defectos, quejas y otros atributos de rendimiento negativos de sus productos, para lo cual el objetivo principal era lograr cero defectos y reducir los costos de garantía y quejas. La Industria 4.0 está cambiando la forma en que se capturan e interpretan los datos, no solo defectos, quejas y otros KPI de QM, sino también datos más complejos que ahora están disponibles a través de una variedad de canales digitales. Esto amplía el alcance de la gestión de la calidad en la SVC para incluir la captura e interpretación de la información del cliente.

La gestión de calidad puede ser eficaz para garantizar un tratamiento coherente de los datos de inteligencia en diferentes funciones, la identificación rápida de tendencias regionales y de otro tipo, y un enfoque coherente en el cliente, lo que garantiza una experiencia positiva para el mismo en cada punto de contacto. Esto permite que la gestión de calidad evolucione hacia el rol de un socio comercial que agrega valor. Ello a su vez exigirá un cambio en la estrategia, los procesos, la organización y la cultura, así como en el conjunto de habilidades requeridas por el profesional de QM que no solo estarán orientadas al aseguramiento y el cumplimiento, sino que también incluirán capacidades orientadas al negocio. La gestión de calidad ya no es la "policía de la calidad", sino un socio comercial de la SVC y se considera un activo estratégico clave.

Existen algunos buenos ejemplos de esta evolución en el sector del automóvil. Por ejemplo:

» La función de gestión de calidad de Volkswagen inició el Proyecto el Auto del Pueblo en el principal mercado de la empresa, China. Usando una plataforma basada en la web, los clientes chinos pueden expresar sus ideas sobre las características del producto y participar activamente en la creación de nuevos automóviles.

» Durante los últimos 10 años, BMW ha hecho grandes progresos en la reducción del número de casos de garantía en más del 50 %, mediante la integración de la calidad en toda la cadena de valor. Cada programa de calidad, desde compras hasta producción, ventas y posventa, contribuyó a este éxito.

7.3 TENDENCIAS FUTURAS EN LA CADENA DE VALOR INTELIGENTE

Varias tendencias están reforzando la integración de la fabricación inteligente en la SVC[51] , entre ellas:

La fabricación de productos y los servicios están convergiendo en función de las nuevas demandas del mercado.

Para muchos productos, el mercado está pasando de comprar un producto de producción masiva listo para usar a comprar un producto configurado

[51] https://www.manufacturing-operations-management.com/manufacturing/2020/02/six-trends-accelerating-the-smart-manufacturing-future.html.

personalizado como servicio. Estos nuevos modelos comerciales combinados de fabricación y servicio requieren una mayor interacción con el cliente y elevan el valor de los datos digitales que acompañan al producto durante su vida útil. Estos ecosistemas se ven obligados a evolucionar para brindar los servicios de datos requeridos.

Los fabricantes están redefiniendo sus procesos y servicios en torno a nuevas tecnologías habilitadoras

Las nuevas tecnologías no solo permiten la optimización de los procesos existentes, las empresas están repensando sus procesos, cadenas de valor y modelos comerciales.

Los procesos híbridos hombre-máquina están en aumento

Los robots, en lugar de reemplazar a los humanos, han dado como resultado un entorno de trabajo colaborativo con una distribución equilibrada de la responsabilidad. Tecnologías como cobots, exoesqueletos, IA y RA aumentarán, asistirán y empoderarán al futuro trabajador.

Los ecosistemas de fabricación están alcanzando mayores niveles de conectividad y transparencia

Ha habido mucho progreso en la ingeniería, automatización de la producción y sistemas comerciales empresariales en las últimas décadas. Los sistemas de gestión de operaciones de fabricación y operaciones sin papel son la nueva norma en el entorno de fabricación. Las máquinas son cada vez más inteligentes con computadoras integradas, IA e interfaces de programación de aplicaciones (API) listas para intercambiar datos con sistemas de ejecución de fabricación y plataformas en la nube. La Fabricación Inteligente elimina los pasos manuales e inconsistencias al reunir los silos de información y finalmente los vincula en un hilo digital completo de intercambios de datos automatizados.

La Fábrica Inteligente se convierte en un nodo, en un ecosistema inteligente conectado con requisitos de API para la interacción con socios y clientes. Los intercambios de datos necesarios van más allá de la orden de compra, el envío y datos de garantía si el ecosistema ofrece nuevos servicios de datos con el producto. Por ejemplo, si una empresa incluye un producto gemelo digital como un servicio adicional, debe estar lista para hacer accesibles, para el ecosistema y el cliente, los modelos 3D y de simulación del producto junto con los datos operativos y de construcción únicos de cada unidad.

Los sistemas de fabricación están incorporando más inteligencia automatizada

La disponibilidad de servicios de detección de bajo costo, conectividad generalizada y computación en la nube ha hecho que sea práctico acceder y analizar de manera integral los datos en los sistemas integrados. Los conjuntos de datos no estructurados, como imágenes, lenguaje natural e incluso mensajes en las redes sociales, se han convertido en parte de los datos disponibles para el análisis. La mayor integración de datos y las capacidades de la IA nos acercan a sistemas con decisiones de rutina automatizadas donde los humanos intervienen solo cuando es necesario.

La cultura de fabricación está adoptando lo digital

Las empresas manufactureras están invirtiendo más en su cultura organizacional. Se reconoce que la tecnología juega un papel clave en la imagen de la empresa y en la atracción de talento. Los gobiernos nacionales tienen incentivos para que las empresas adopten la fabricación inteligente y están apoyando los esfuerzos para educar a la fuerza laboral con las nuevas habilidades requeridas. Los servicios de dotación de personal están evolucionando para satisfacer la demanda de habilidades altamente especializadas.

7.4 CADENAS DE VALOR INTELIGENTES EN PAÍSES EN DESARROLLO

En principio, todo el mundo está de acuerdo en los posibles beneficios que la Industria 4.0 puede aportar a todo tipo de industrias. Sin embargo, los datos empíricos a nivel de empresa sobre los beneficios reales que se obtienen con la aplicación de las tecnologías de la Industria 4.0 son escasos. Esta falta de datos es aún más significativa en los países en desarrollo . Para las tecnologías TIC, que ya llevan un par de décadas en el mercado, la cantidad de datos empíricos es significativa y se pueden realizar análisis valiosos, pero para las nuevas tecnologías de la Industria 4.0 no es el caso. Este es un tema importante para los países en vías de desarrollo ya que sabemos que la Industria 4.0 influye

positivamente en la competitividad de cualquier país. Sería interesante saber a nivel empresarial cuáles son los factores que estimulan la adopción de tecnologías de la Industria 4.0 en los países en vías de desarrollo.

Muy a menudo, la adopción de estas nuevas tecnologías viene acompañada de la adquisición de plataformas, servicios, regalías o software específicos. Los factores que dificultan la adopción de estas tecnologías en los países en desarrollo a menudo se deben a la falta de disponibilidad de recursos y, a veces, de proveedores de servicios.

No obstante, la participación de empresas de países en desarrollo en cadenas de valor inteligentes globales es un factor importante para facilitar el flujo de tecnología de los países desarrollados a los países en desarrollo.

El análisis de información de la base de datos de la ONUDI sobre la adopción de tecnología de producción por parte de las empresas manufactureras[53] indica que la participación empresarial en las SVC globales facilita la adopción de tecnologías de la Industria 4.0.

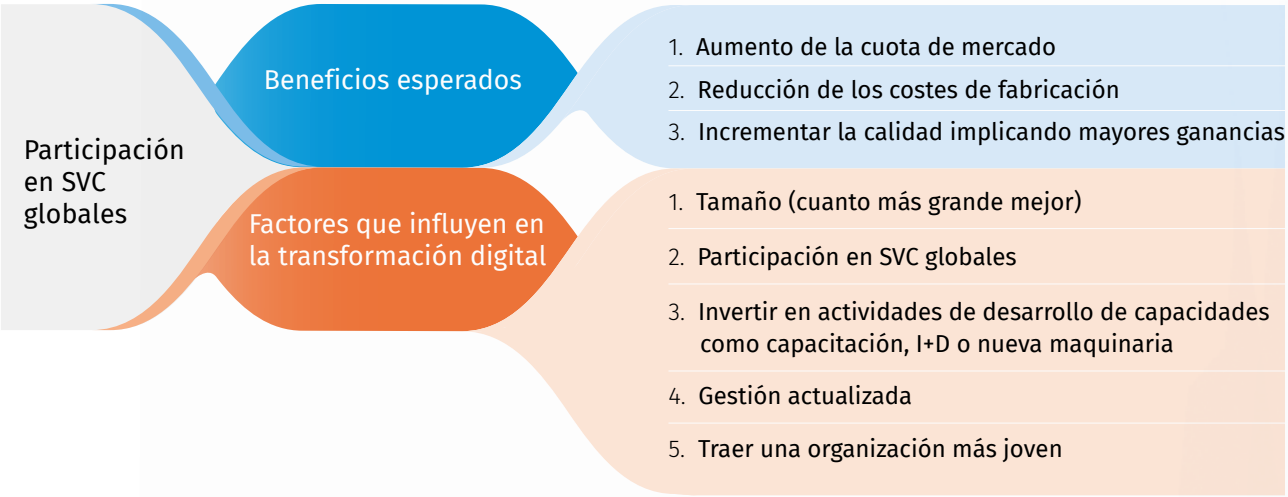
Una empresa adopta nuevas tecnologías cuando los beneficios esperados superan sus costos. Algunos beneficios esperados de las nuevas tecnologías de la Industria 4.0 se muestran a continuación en la figura 8, junto con los factores que influyen positivamente en la adopción de las tecnologías de la Industria 4.0 en los países en desarrollo.

Los componentes de la IC Inteligente son factores críticos. En los países en desarrollo existe una gran heterogeneidad entre industrias, y dentro de una industria a con respecto a la adopción de tecnologías de la Industria 4.0. Solo un pequeño porcentaje de empresas ha adoptado las tecnologías digitales de última generación, pero la gran mayoría aún tiene un largo camino por recorrer.

Las tecnologías de la Industria 4.0 siguen ampliando la frontera tecnológica, elevando el nivel y la calidad de las capacidades de gestión necesarias para adoptar esas tecnologías. Este aumento de la brecha de capacidad es uno de los principales obstáculos para la adopción de tecnologías de la Industria 4.0 en las economías en desarrollo. Existe el riesgo de convertir una oportunidad de actualización tecnológica en un cuello de botella de industrialización digital.

[53] ONUDI, 2019, Anuario Internacional de Estadísticas Industriales, Edward Elgar Publishing

FIGURA 8: **BENEFICIOS ESPERADOS DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS DE LA INDUSTRIA 4.0**



8. Conclusiones

En respuesta a la transformación digital y la 4RI, los líderes empresariales y los formuladores de políticas deben reconocer y adaptarse a la innovación y el cambio, progresando exponencialmente y configurando estrategias y políticas adecuadas en consecuencia. Las empresas necesitan cambiar y adaptar la forma en que operan para aprovechar al máximo las nuevas tecnologías.

Los componentes de la IC Inteligente son factores críticos que permiten la progresión de la industrialización y la digitalización. Muchas, si no la mayoría, de las tecnologías avanzadas tienen necesidades específicas de estandarización y evaluación de la conformidad que son necesarias para su integración en la fabricación y otros aspectos de la industrialización. Los componentes de la IC Inteligente están abordando estas necesidades, lo que da como resultado una integración más eficiente de las nuevas tecnologías.

Las ventajas y beneficios de la 4RI y la transformación digital no se materializarán plenamente sin tener en cuenta el imperativo de la sostenibilidad. La sostenibilidad social y ambiental debe convertirse en un imperativo estratégico para los negocios, y específicamente para la fabricación, si se quiere tener éxito. Las tecnologías de producción avanzadas (IoT, IIOT, IA/AA, impresión 3D, robótica, computación en la nube, macrodatos y análisis, etc.) son habilitadores para la 4RI y la transformación digital. Asimismo, la transformación digital y la 4RI posibilitan una economía más justa y circular que a su vez apoya el imperativo de la sostenibilidad. También brindan oportunidades para que los fabricantes cumplan con sus obligaciones en materia de responsabilidad corporativa. La IC Inteligente y la calidad inteligente son, por lo tanto, facilitadores del imperativo de sostenibilidad. La calidad inteligente es una parte integral de la 4RI y tiene un papel clave que desempeñar en su éxito. Implica “aprovechar las tecnologías junto con las personas para mejorar la calidad de una organización, sus productos, servicios y los resultados que crea”.

Si bien los principios subyacentes de la gestión de la calidad siguen siendo tan relevantes hoy como lo eran hace más de 30 años, las tecnologías que se usaban tradicionalmente para respaldar los diversos procesos, herramientas y metodologías de gestión de la calidad ya no son capaces de seguir el ritmo de los rápidos desarrollos tecnológicos asociados con la Industria 4.0. La implementación de estas nuevas tecnologías de calidad inteligente puede ir de la mano con la Industria 4.0 o puede usarse dentro de empresas tradicionales y cadenas de valor que aún no han realizado la transformación digital y actuar como un impulsor para que lo hagan.

La calidad inteligente pone a disposición de los profesionales de calidad una gran variedad de tecnología sofisticada que respalda los procesos de calidad como nunca antes y les permite administrar la calidad de una manera más efectiva y eficiente. Las empresas deben adaptarse para aprovechar al máximo las oportunidades que estas herramientas pueden proporcionar.

Tanto la IC Inteligente como la calidad inteligente son partes integrales de la 4RI y son vitales para su éxito. Sin embargo, el imperativo de la sostenibilidad debe tenerse en cuenta asegurar que ambas beneficien al ser humano, o de lo contrario nada tendrá éxito. Tenemos una oportunidad única ante nosotros para aprovechar todo el conocimiento adquirido a través de las revoluciones industriales para garantizar que la transformación en curso contribuya a los tres pilares del desarrollo sostenible: el planeta, las personas y su prosperidad.

Anexos

ANEXO 1

Dos casos para resaltar el papel clave de la estandarización

El Anexo 1 presenta dos casos para resaltar el papel clave de la estandarización. El primer caso se refiere a las vías férreas en los EE. UU. porque comprende una combinación ideal de cuestiones técnicas y comerciales y muestra la importancia de la búsqueda de consenso entre los diferentes actores. El segundo caso es un esbozo sobre el origen de la evaluación de la conformidad, centrado en las necesidades que llevaron a su establecimiento.

CASO 1 – VÍAS DE TREN

Los ferrocarriles representan un puente ideal entre el PRI y el SRI. La construcción de ferrocarriles se inició en Gran Bretaña y tuvo un crecimiento explosivo en la primera mitad del siglo XIX. Sin embargo, las vías del tren en ese momento estaban hechas de hierro forjado-un material superior al hierro fundido, pero aún lejos de ser perfecto.

Pero luego vino el acero, cuya producción se había hecho asequible con la invención del proceso Bessemer en 1856 y mejorado en los años siguientes por otros inventores y fabricantes de acero. Los rieles de acero fueron fabricados por primera vez en 1857 por el fabricante de acero británico Robert Forester Mushet. El acero es claramente un material superior y reemplazó rápidamente al hierro para su uso en rieles, lo que permite rodar longitudes de rieles mucho más largas con un rendimiento sustancialmente mejorado (confiabilidad y duración).

Sin embargo, la evolución y estabilización de la composición de los materiales para los rieles de acero fue un proceso largo y complejo que requirió varias décadas.

La situación de los ferrocarriles estadounidenses a fines del siglo XIX está bien resumida por la Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales:[54] *“ La revolución industrial abrió un nuevo capítulo en la historia de las especificaciones de materiales. Los constructores de locomotoras, productores de rieles de acero y constructores de máquinas de vapor que usaban nuevos materiales revolucionarios como el acero Bessemer ya no podían confiar en las experiencias artesanales de los siglos pasados. Los nuevos materiales y técnicas inventados durante este período requerían nuevos conocimientos técnicos. Además, los fabricantes encontraron numerosos problemas de calidad en los productos finales, como los rieles de acero, porque los proveedores proporcionaban materiales inferiores. De hecho, los rieles estadounidenses estaban tan mal hechos que muchas compañías ferroviarias preferían las importaciones británicas, que eran más costosas pero confiables ”.*

Charles Dudley de The Pennsylvania Railroad, una de las corporaciones más grandes del siglo XIX, emprendió un esfuerzo para abordar esta difícil situación, destinada a tener implicaciones profundas y duraderas mucho más allá del sector ferroviario. En 1878, Dudley analizó las propiedades y el rendimiento de diferentes tipos de acero y recomendó una fórmula mejorada para el uso del acero en los rieles de acero. El informe de Dudley encontró una feroz oposición por parte de los productores de acero, quienes criticaron sus argumentos técnicos y se mostraron firmes en reclamar su derecho a mantener el control total sobre sus productos.

Dudley se dio cuenta de que se necesitaba un diálogo constructivo entre proveedores y clientes para resolver el problema. Se necesitaron alrededor de 20 años y el incansable esfuerzo de Dudley para superar las actitudes antagónicas que dominaban las relaciones entre Pennsylvania Railroad y sus proveedores, en particular, a través de la creación de comités donde las partes tenían la posibilidad de discutir todos los aspectos de las especificaciones y los procedimientos de prueba.

Durante este período, Dudley extendió el diálogo a representantes de la comunidad de ingenieros involucrados en La Sociedad Química Americana y el Congreso Ferroviario Internacional. Este intenso trabajo condujo al establecimiento en 1898 de la

[54] La historia de ASTM International, Capítulo 1

Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales (ASTM), una de las primeras ODE del mundo.

El mismo año, se publicó la primera norma de ASTM: A-1, 1898, Sobre acero, acero inoxidable y aleaciones relacionadas. Esta norma (a la que seguirán varias más) marcó un punto de inflexión en las relaciones entre proveedores de materiales y fabricantes y dio un claro ejemplo del papel fundamental de la estandarización para el desarrollo de la industria. Dudley fue nombrado poco después presidente de ASTM, cargo que ocupó desde 1902 hasta 1908.

CASO 2 – ORÍGENES DE LA EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD

La evaluación de la conformidad, o verificación de la conformidad de los productos, procesos y servicios con las reglas de referencia —requisitos obligatorios o estándares voluntarios, buenas prácticas sectoriales, etc.— tiene raíces antiguas, pero está en conjunción con la revolución industrial (finales PRI y SRI) que tomó su forma moderna.

El primer sector afectado por formas embrionarias de evaluación de la conformidad (mucho antes de la revolución industrial) es probablemente el sector marítimo. Desde sus inicios, la navegación (particularmente la navegación en alta mar) ha sido considerada una práctica sumamente arriesgada, no por casualidad asociada, durante siglos, a aventureros e intrépidos capitanes.

Las medidas destinadas a mitigar los riesgos del comercio marítimo se introdujeron ya en los finales de la Edad Media. Por ejemplo, Venecia, en 1255, declaró ilegal cobrar excesivamente a los barcos y Génova, en 1330, no solo definió reglas detalladas sobre las cargas máximas autorizadas, sino que también introdujo procedimientos de inspección y sanciones específicas para los infractores. Estas formas de control se extendieron en los siglos siguientes, siguiendo el crecimiento paulatino de la importancia del tráfico marítimo en volumen y valor, incluyendo inspecciones periódicas encaminadas a verificar las condiciones de idoneidad de los buques de carga vacíos y llenos y normas preventivas a observar en la construcción y operación de naves.

A pesar de estas iniciativas, la prevención de riesgos siguió siendo una práctica rudimentaria durante siglos: la protección de los riesgos del comercio marítimo se abordó principalmente en términos financieros, a través del sistema legal-incluida la compensación para los armadores y cargas, y varios mecanismos de distribución del riesgo económico, incluidos la introducción de una tercera figura, el asegurador, como asegurador del riesgo en lugar de los directamente afectados (que se analiza en detalle más adelante).

Las innovaciones derivadas de la revolución industrial (propulsión a vapor, cascos metálicos, etc.) contribuyeron decisivamente a la expansión del tráfico marítimo a finales del siglo XVIII. Esto dio un impulso decisivo a la introducción de medidas para garantizar una mayor seguridad en el mar y reducir los riesgos, dando lugar a formas modernas de evaluación de la conformidad.

Comerciantes, propios y capitanes londinenses, toda la clientela del café de Edward Lloyds —un famoso lugar donde se discutía sobre barcos, viajes y negocios— introdujeron la práctica de “suscribir”, o firmar un acuerdo que establecía los compromisos de las diferentes partes para cubrir pérdidas en caso de naufragio, a cambio de participación en los beneficios si el viaje se completa con éxito. Los “aseguradores” pronto se dieron cuenta de la importancia de evaluar la confiabilidad de los barcos a asegurar. En 1760, se fundó la Register Society (más tarde rebautizada como Lloyds Register) como la primera empresa de clasificación involucrada en la publicación anual de un registro de embarcaciones, incluida una clasificación de embarcaciones basada en la evaluación de su idoneidad (por ejemplo, casco y condiciones del equipo).

Varias otras empresas de clasificación se fundaron en los años siguientes , por ejemplo, Bureau Veritas (BV) en Amberes, Bélgica, en 1828 (posteriormente trasladado a París, Francia), y el RINA (REGISTRO NAVAL ITALIANO) en Génova, Italia, en 1861 por la Asociación de Seguros Marítimos Mutuos; mientras que la adopción de normas comunes relativas a la construcción y explotación de buques por parte de las compañías de seguros noruegas dio lugar a la creación de Det Norske Veritas (DNV) en 1864.

Más allá del sector marítimo, el vínculo entre la innovación tecnológica determinada por la revolución industrial, los riesgos asociados con sus aplicaciones a gran escala y el papel de las compañías de seguros involucradas en la cobertura de esos riesgos, puede considerarse un patrón común en la base de la evaluación de la conformidad moderna.

El caso de las calderas y embarcaciones a presión presenta considerables similitudes. Dado el enorme potencial y versatilidad del vapor, en la segunda mitad del siglo XIX el uso de este tipo de dispositivos creció enormemente. Sin embargo, durante varias décadas, las prácticas de ingeniería y uso de estos dispositivos se desalinearon significativamente con los modos de operación y seguridad de diseño de última generación, lo que provocó una gran cantidad de accidentes y miles de muertes por año.

Baste decir que el peor desastre de la historia naval estadounidense es el hundimiento del Sultana, un típico barco de dos ruedas del río Mississippi con dos cubiertas. El 27 de abril de 1865, navegando a lo largo del río sobre Menfis, el Sultana tuvo un

final catastrófico cuando tres de sus cuatro calderas explotaron por razones nunca determinadas. En 15 minutos, se había quemado hasta la línea de flotación, con un número de muertos que varió en informes posteriores de 1200 a más de 1500-el peor desastre marino de la historia de los EE. UU.

"The Hartford Steam Boiler Inspection and Insurance Company" (ahora parte del grupo Munich Re) fue fundada en Hartford, Connecticut, EE. UU., en 1866, poco después de la explosión de la Sultana. Esta empresa fue la primera en el mundo en combinar inspección y seguro, asegurando calderas solo después de que se haya realizado una inspección por parte de técnicos calificados y luego renovar las pólizas de seguro solo si los resultados de los controles periódicos previstos para los dispositivos asegurados se consideraron satisfactorios.

Desarrollos similares han ocurrido en otros países industrializados. En Alemania, los Technischers Überwachungsverein (TÜV, Asociaciones de Inspección Técnica), organizaciones que brindan servicios de inspección y certificación de productos, nacieron de manera similar a fines del siglo XIX.

Tras la explosión de una caldera de vapor en la cervecería Zum Grossen Mayerhof en Mannheim en 1865 y otros accidentes similares, el 6 de enero de 1866, 22 empresarios de Baden lanzaron la "Gesellschaft zur Ueberwachung und Versicherung von Dampfkesseln mit dem Sitze Mannheim" (Asociación para la inspección y el seguro de calderas, con sede en Mannheim). El principal objetivo era prevenir futuros incidentes con inspecciones periódicas, y la iniciativa fue posteriormente apoyada por el gobierno del Gran Ducado de Baden. Asociaciones similares se crearon en los años siguientes en muchas otras ciudades alemanas, y éstas se fusionaron en el " Deutscher Verband von Dampfkessel berwachungsvereinen" (Unión Alemana de Asociaciones de Inspección de Calderas de Vapor) en 1873.

En ambos casos (buques y calderas), durante la SRI la evolución de las prácticas de ingeniería y las actividades de inspección condujo paulatinamente a la definición de normas y códigos reglamentarios difundidos a gran escala, para ser utilizados:

» por un lado, como base para las actividades de diseño, producción y uso de equipos y maquinaria, y

» por otro lado, para las prácticas de inspección, ensayo y certificación realizadas por personal especializado (con formación técnica adecuada y calificaciones adquiridas a través de programas de capacitación apropiados).

ANEXO 2

Dos casos para destacar los desarrollos en torno a la calidad y la logística

El Anexo 2 presenta dos casos que describen los desarrollos en torno a la calidad y la logística, dos áreas que tuvieron un gran impacto en el desarrollo de la industria durante las décadas posteriores a la Segunda Guerra Mundial, fusionándose con y contribuyendo a ampliar la TRI.

CASO 3 – CALIDAD

Antes de la guerra, solo unas pocas empresas en los EE. UU. usaban métodos estadísticos para el control de calidad. Sin embargo, dada la seria preocupación por la calidad de muchos de los productos que respaldan el esfuerzo bélico, se solicitó a los representantes de alto nivel de cientos de empresas que suministran al gobierno de los EE. UU. que siguieran una amplia capacitación en la disciplina.

Una fuente primaria de conocimiento se incorporó en tres estándares desarrollados por la Asociación Estadounidense de Estándares (ASA, el predecesor de ANSI) a pedido del Departamento de Guerra de EE. UU.: la "Guía para el control de calidad" y el "Método de gráfico de control para analizar datos" , publicado en 1941 y seguido en 1942 por el "Estándar de guerra estadounidense" y el "Método de gráfico de control para controlar la calidad durante la producción".

Poco después, un desarrollo similar tuvo lugar de forma independiente en el Reino Unido, con la British Standards Association (la predecesora de BSI) publicando las normas BS 1008-1942, Control de calidad, y BS 600 R-1942, Gráficos de control de calidad.

Es importante subrayar que el control de calidad estadístico representó una innovación muy importante para la fabricación, dada la práctica imposibilidad de realizar inspecciones a cada producto terminado en un contexto de fabricación en masa (como se hacía anteriormente).

Estos primeros desarrollos constituyen la base para el establecimiento de la disciplina moderna de gestión de calidad, que tuvo un enorme impacto en la fabricación en todo el mundo. Fue solo después de la enorme influencia de las conferencias de Edwards Deming y los cursos de Joseph M. Juran en Japón después de la guerra, y el impacto en las economías occidentales de la competitividad de la fabricación japonesa orientada a la calidad, que la búsqueda de la calidad explotó a fines de la década de 1960 para 1970, lo que llevó a importantes desarrollos del campo en la década de 1980.

CASO 4 – LOGÍSTICA

La logística es otro campo que experimentó un importante desarrollo durante y después de la SRI. Los primeros camiones se inventaron a fines del siglo XIX y los camiones con motores diésel se introdujeron a mediados de la década de 1920. Las carretillas elevadoras se diseñaron antes de 1930, pero su uso creció solo después de la invención de las paletas en 1925, probablemente el mayor desarrollo en el almacenamiento de la cadena de suministro que respaldó la evolución anterior de la logística.

En la década de 1930, el concepto de "contenedor de carga" comenzó a convertirse en una realidad económica: en 1933 se estableció en Europa la Oficina Internacional de Contenedores (en francés: Bureau International des Conteneurs, BIC) y se establecieron parámetros obligatorios para los contenedores utilizados en el tráfico internacional. Sin embargo, estos contenedores estaban destinados principalmente al transporte terrestre (en base al ferrocarril y camión) y su papel se vio eclipsado por la llegada del contenedor marítimo en la década siguiente.

La Segunda Guerra Mundial trajo nuevos desafíos logísticos fenomenales, dada la necesidad de suministrar millones de tropas y materiales a largas distancias y en el extranjero. Es en este período que la Marina de los EE. UU. comenzó a usar cajas pequeñas y estandarizadas llenas de material de guerra para optimizar la capacidad de entregar las necesidades de tiempos de guerra. Después de la guerra, en 1947, el Cuerpo de Transporte de EE. UU. desarrolló el Transporter, un contenedor rígido de acero corrugado que luego se usó de manera efectiva en la Guerra de Corea y evolucionó en 1952 hasta convertirse en el CONtainer EXpress. o Sistema de caja CONEX.

Estos desarrollos fueron bien observados por el sector privado, y particularmente por Malcom McLean. Además de ser el primer empresario en "apostar la casa" a la contenedorización, otorgó a ISO una licencia libre de regalías para usar sus patentes para los próximos estándares internacionales, un factor que contribuyó dramáticamente a acelerar y fortalecer su desarrollo. Desde la perspectiva de esta publicación, existen algunos puntos esenciales a retener:

» La estandarización internacional fue un factor importante (quizás "el" factor importante) para el desarrollo de la infraestructura de transporte mundial que conocemos hoy. De hecho, la estandarización facilitó un esfuerzo coordinado de actores tan diversos como empresas de transporte de carga, ferrocarril y camiones; autoridades públicas responsables del transporte en muchos países; junto con operadores portuarios y ferroviarios. Algo que ninguna empresa o país podría haber logrado por sí solo.

- El impacto de la contenedorización fue fenomenal. Según la OCDE, hoy en día más del 90 % de los bienes comercializados se transportan en carga y más del 60 % en contenedores. El aumento de la productividad no ha tenido precedentes.

- Al remodelar el transporte mundial, la contenedorización fue responsable de la mayor revolución en las cadenas de suministro. De hecho, la creación de cadenas de suministro modernas no habría sido posible sin la versatilidad, la eficiencia y el bajo costo que ofrece "the Box". Gracias a the Box, los materiales y las piezas de los productos podían comprarse y entregarse en todo el mundo, cada vez más rápido y a costes asequibles.

- Estos desarrollos, combinados con la informatización que dio forma a la tercera revolución industrial, como veremos en un momento, crearon la base para el enfoque actual de "justo a tiempo" para la fabricación global. La transformación provocada por estas dos fuerzas (contenedorización e informatización) permitió la importación de productos más baratos de fabricar en el extranjero (por ejemplo, prendas de vestir, juguetes, electrónica de consumo). Las empresas individuales podrían especializarse en componentes de nicho que podrían exportarse a todas partes, ensamblarse en otros países y luego enviarse como productos terminados a los mercados de destino.

ANEXO 3

Una dicotomía fundamental que enfrentan las organizaciones de desarrollo de estándares

Las organizaciones de desarrollo de estándares (ODE) que deseen ser reconocidas por el Comité de Obstáculos Técnicos al Comercio (OMC TBT) de la Organización Mundial del Comercio deben adherirse a los principios reconocidos internacionalmente para el desarrollo de estándares, en particular los "seis principios": transparencia –apertura –imparcialidad y consenso –relevancia y eficacia – coherencia –dimensión del desarrollo.

La dicotomía es que los principios de "relevancia y eficacia", que en las tecnologías digitales y otros campos de rápido movimiento significan un rápido desarrollo de resultados, pueden entrar en conflicto con "transparencia, apertura y consenso". Por un lado, es fundamental entregar a tiempo a lo que necesitan a los interesados; por otro lado, las normas tienen valor sólo si las partes interesadas y afectadas están involucradas. Esto es fundamental para dar a las normas el grado de legitimidad necesario para vincularse a las políticas públicas y, en particular, a los reglamentos técnicos.

Muchos ODE, como ISO, IEC e ITU, están comprometidos a cumplir con los seis principios[55] para las actividades de estandarización y necesitan lograr un equilibrio entre las implicaciones contradictorias de estos principios. Sin embargo, este no es necesariamente el caso de los consorcios industriales y otros tipos de organizaciones, que pueden involucrar a un número limitado de actores o adoptar procesos más rápidos que no garantizan necesariamente un amplio nivel de apertura y consenso.

En ciertos casos, la interacción entre consorcios y ODE "formales" representa un camino posible para acelerar el desarrollo de estándares. Existen muchos ejemplos de estándares técnicos desarrollados por consorcios asumidos por organizaciones de estándares, como ISO, IEC e ITU, refinados (si es necesario) y legitimados a través de un proceso que cumple con los seis principios.

[55]Decisión del Comité OTC sobre principios para la elaboración de normas, guías y recomendaciones internacionales (noviembre de 2000G/TBT/9).

Mejora de procesos para organizaciones IC

Dicho esto, a continuación tratamos de delinear mejoras de procesos que pueden aplicar todos los tipos de ODE-y que no necesariamente requieren grupos cerrados o niveles limitados de consenso para crear entregables en plazos cortos.

Existen tres direcciones principales establecidas y emergentes, que ya están siendo aplicadas por las ODE:

» Uso de plataformas de TI en apoyo del desarrollo de estándares.

» Adaptaciones de las reglas generales del proceso de elaboración de normas para aumentar la flexibilidad.

» Soluciones a medida que abordan tecnologías en rápida evolución (manteniendo el cumplimiento de las normas generales).

Uso de plataformas TI

La posibilidad de descargar e intercambiar documentos a través de Internet representó un cambio radical en términos de acceso a la información y eficiencia en el intercambio de documentos.

Desde entonces, las plataformas de TI han jugado un papel importante para aumentar la eficiencia del desarrollo de estándares. Tomando como ejemplos las plataformas de TI implementadas por ISO e IEC, es posible describir algunos de los servicios más importantes para la comunidad de desarrolladores de estándares:

» Acceso a datos y documentos de proyectos de normas a través de aplicaciones en base a Internet.

» Espacios de trabajo electrónicos para estructuras técnicas (comités, subcomités, grupos de trabajo) que respaldan el trabajo técnico.

» Notificaciones y herramientas para apoyar la

ejecución en línea de tareas clave del proceso de desarrollo de estándares (por ejemplo, envío de documentos, votación electrónica, gestión de comentarios, servicios de notificación).

» Gestión de datos sobre expertos y roles relacionados en estructuras técnicas.

» Gestión de reuniones (virtuales y físicas).

Los desarrollos más importantes que se están produciendo actualmente se refieren a dos aspectos importantes adicionales:

» **Autoría colaborativa de estándares en forma estructurada.** Por ejemplo, la plataforma conjunta de desarrollo de estándares en línea de ISO e IEC facilita la creación colaborativa de documentos de estándares, proporcionando fácil acceso a elementos específicos del documento, administrando contribuciones y comentarios, y permitiendo estructurar documentos de manera consistente con los formatos estandarizados utilizados para publicarlos.

» **Reuniones virtuales.** Casi todas las reuniones de las organizaciones de estándares se llevaron a cabo virtualmente en 2020/21 como resultado de COVID-19. Las organizaciones han desarrollado una variedad de buenas prácticas y servicios para respaldar la eficacia y la eficiencia de las reuniones virtuales. La tendencia está evolucionando, con la integración de la gestión de reuniones y otras herramientas de comités de TI en plataformas integrales.

La segunda dirección aborda la adaptación de las reglas del proceso de desarrollo de estándares para dar más flexibilidad a los comités técnicos.

Las organizaciones de estándares tienen una variedad de entregables que permiten la publicación de documentos con niveles más bajos de consenso en plazos más cortos. El objetivo de las nuevas iniciativas que promueven la flexibilidad es permitir que los comités de normas determinen y apliquen la mejor manera de organizar el trabajo dentro del comité.

La tercera dirección se refiere a la adopción de soluciones a medida para abordar campos específicos.

Esto es particularmente importante para las tecnologías en rápida evolución, como las relacionadas con Industria 4.0.

Algunos elementos del enfoque seguido por el Comité Técnico (TC) de ISO/IEC para la codificación de imágenes en movimiento y audio (conocido como MPEG) pueden trasladarse a otras áreas y vale la pena mencionarlos:

» Las normas deben anticipar el futuro. Esto es crucial para los campos que se mueven rápidamente. Las normas no deben diseñarse para "adaptarse a" o "consolidar" las tecnologías existentes, sino prever posibles desarrollos futuros.

» Los estándares deberían poder impulsar el mejor rendimiento, sin importar si algunas tecnologías incorporadas por el estándar están cubiertas por patentes-existen formas de abordar este problema, satisfactorias para los titulares de patentes y todos los demás actores.

» Los estándares deben estar "basados en un conjunto de herramientas", no todas las empresas, de diferentes industrias, están interesadas en las mismas funciones o niveles de desempeño. Los estándares se pueden estructurar en una variedad de formas que brindan la máxima flexibilidad de implementación a empresas de diferentes industrias.

» Los estándares deben ser "amigables con la industria" y dejar espacio para que las empresas compitan "dentro" del estándar, y no promoviendo estándares competitivos.

Aplicar estos y otros principios requiere una combinación cuidadosamente equilibrada de competencia y cooperación entre los participantes del grupo.

Vienna International Centre
Wagramer Str. 5, P.O. Box 300,
A-1400 Vienna, Austria

+43 1 26026-0

www.unido.org

unido@unido.org

ONUDI

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS
PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL