

08-008

STRUCTURAL EQUATION MODELLING ANALYSIS TO IDENTIFY CHALLENGES AND OPPORTUNITIES FOR OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY IN INDUSTRY 5.0

Cuadrado Cabello, Nieves ⁽¹⁾; Ramos Calderón, Teresa ⁽¹⁾; De las Heras García de Vinuesa, Ana ⁽¹⁾; Lama Ruiz, Juan Ramón ⁽¹⁾

(1) Universidad de Sevilla

The adoption of new productive approaches by industries and the accelerated evolution of technology in this context is crucial to maintain competitiveness in the turbulent and highly uncertain environments of the markets in which they operate. The new paradigm proposals that guide the evolution of companies for the adoption of new technologies, such as Industry 5.0, present challenges and opportunities in the field of occupational health and safety that need to be identified to improve working conditions and social sustainability of companies. This paper briefly presents the latest contributions regarding Industry 5.0, and analyses its implications for occupational health and safety based on a study using a structural equation model.

Keywords: Occupational Health and Safety (OHS) ; Industry 5.0 (I5.0) ; structural equations

ANÁLISIS MEDIANTE MODELADO DE ECUACIONES ESTRUCTURALES PARA IDENTIFICAR RETOS Y OPORTUNIDADES DE SEGURIDAD Y SALUD LABORAL EN LA INDUSTRIA 5.0

La adopción de nuevos enfoques productivos por las industrias y la evolución acelerada de la tecnología en este contexto es crucial para mantener la competitividad en los entornos turbulentos y de elevada incertidumbre de los mercados en los que se desenvuelven. Las nuevas propuestas de paradigmas que orientan la evolución de las empresas para la adopción de las nuevas tecnologías, como la Industria 5.0, presentan retos y oportunidades en el ámbito de la seguridad y salud laboral que es necesario identificar para mejorar las condiciones de trabajo y la sostenibilidad social de las empresas. En el presente trabajo se exponen brevemente las últimas aportaciones en relación con la Industria 5.0, y se realiza un análisis de sus implicaciones en materia de seguridad y salud en el trabajo a partir de un estudio mediante un modelo de ecuaciones estructurales. Como principal conclusión se destacará que la principal aportación que de momento hacen estas nuevas tecnologías a la seguridad y salud en el trabajo es para la evaluación de riesgos laborales.

Palabras clave: Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) ; Industria 5.0 (I5.0) ; ecuaciones estructurales



1. Introducción

Según el informe anual de accidentes de trabajo publicado por el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (2022) en España se produjeron durante el año 2021, 601.123 accidentes con baja. Como se observa por estos datos los accidentes laborales no desaparecen, a pesar de haber cada vez más medios técnicos y leyes que buscan proteger a los trabajadores. Nos encontramos inmersos en plena revolución industrial 4.0 con una evolución a la denominada Industria 5.0 (I5.0), esta nueva revolución, que la Unión Europea definió como “... reconoce el poder de la industria para alcanzar objetivos sociales más allá del empleo y el crecimiento, para convertirse en proveedora de prosperidad, haciendo que la producción respete los límites de nuestro planeta y situando el bienestar del trabajador de la industria en el centro del proceso productivo.” (Müller, 2020) en la que se pone de relieve el bienestar del trabajador como eje central en los procesos productivos, habrá que comprobar si con todas las nuevas tecnologías que se están desarrollando y que posibilitan el surgimiento de esta nueva revolución se conseguirá que los accidentes de trabajo o enfermedades laborales se reduzcan.

Será necesario conocer cuáles son las nuevas tecnologías que soportarán a la I5.0, para determinar si favorecerán la seguridad de los trabajadores o por el contrario podrían contribuir a un mayor riesgo. De un primer análisis bibliográfico sobre diferentes artículos donde se hace referencia a las tecnologías o habilitadores que darán soporte a la I5.0 destacan las siguientes tecnologías: Robots/Cobots, Inteligencia Artificial, Big Data, Gemelos Digitales, Internet de las cosas, Realidad virtual, Realidad aumentada, etc. (Javaid & Haleem, 2020; Müller, 2020; Maddikunta et al., 2022, entre otros)

Todas estas tecnologías, aunque ayudan a los trabajadores eliminando muchos de los riesgos que existen en los procesos productivos, se observa que también traen consigo lo que se ha denominado nuevos riesgos emergentes (Issamar, et al., 2019, Brocal et al., 2019) estos riesgos pueden ser tanto físicos como psicosociales. Podemos destacar: riesgos físicos por contactos mecánicos, reacciones lentas ante situaciones peligrosas, asociadas a las tecnologías, postura y movimientos inadecuados, sedentarismo y posturas estáticas, percepción demasiado “real” de una situación irreal, tecnoestrés, problemas cognitivos, Intromisión en la vida personal, etc., los riesgos psicosociales son los que preocupan más, (el miedo a la pérdida del trabajo, preocupación por el exceso de información que se puede tener personal, productiva, etc.) ya que son más difíciles a veces de detectar y los resultados pueden ser tan graves o más que cualquier riesgo físico (Montoro, Ávila & Aguayo, 2019; Vidales, 2019; Rubio, 2017).

2. Objetivos

Se plantean como objetivos principales de este trabajo, tres: primero determinar cuáles son las principales tecnologías que soportan a la I5.0, segundo comprobar si éstas pueden orientarse a mejorar o no la seguridad y salud en el trabajo (SST) y por último comprobar la potencial mejora a cuál campo/rama podrá ser más eficaz, a los riesgos físicos, a los riesgos psico-sociales a la evaluación de riesgo o a todos los ámbitos

2. Metodología

En el presente trabajo se pone a prueba un análisis bibliométrico basado en la aplicación de ecuaciones estructurales a la revisión de artículos de investigación, los cuales se han seleccionado a partir de búsquedas específicas realizadas para determinar el impacto que

del desarrollo del paradigma Industria 5.0, y sus habilitadores tienen sobre la Prevención de Riesgos Laborales.

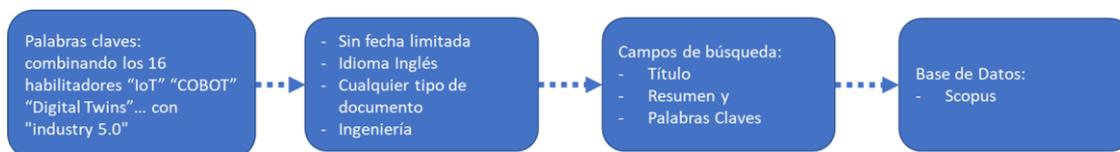
Se ha optado por el uso de ecuaciones estructurales ya que “*son una familia de modelos estadísticos multivariantes que permiten estimar el efecto y las relaciones entre múltiples variables*” (Ruiz, Pardo & San Martín, 2010).

En primer lugar, se ha procedido a buscar y filtrar los artículos a revisar desde la base de datos bibliográfica Scopus, según el procedimiento que se va a describir más adelante. Seguidamente se ha analizado cada artículo resultado de esta búsqueda, para determinar, mediante una escala Likert, el nivel de utilidad de un determinado habilitador digital de la Industria 5.0 en aplicaciones específicas de la Prevención de Riesgos Laborales (PRL), también se ha determinado si su aplicación está relacionada con una disminución de los riesgos físicos (RF), de los riesgos psico-sociales (RPS), para la formación preventiva (FORM) o para la Evaluación de riesgos laborales (EVAL), también mediante una escala Likert. Los pasos seguidos se describen a continuación.

Para el primer objetivo de identificar cuáles son las principales tecnologías que soportan a la I5.0, se parte de la información obtenida previamente del análisis de artículos seleccionados que hacen referencia a los diferentes habilitadores de la I5.0. De esta revisión se obtienen 16 habilitadores/tecnologías (Diop, Abdul-Nour & Komljenovic, 2022; AbRaja, Santhi & Muthuswamy, 2023; Farsia, Mishraa & Erkoyuncua, 2021; Müller, 2020; Maddikunta, et al., 2021; Kumar et al., 2021; Javaid & Haleem, 2020): Big Data (BD), Edge computing (EC), Blockchain (BC), Fog computing (FC), Cloud Computing (CC), Cybersecurity, Wearables (WR), Gemelos Digitales (GD), Robot/ Cobot, Realidad virtual (RV), Realidad aumentada (RA), Realidad mixta (RM), Internet de las cosas (IoT), Inteligencia artificial (IA) y Fabricación Aditiva (FA).

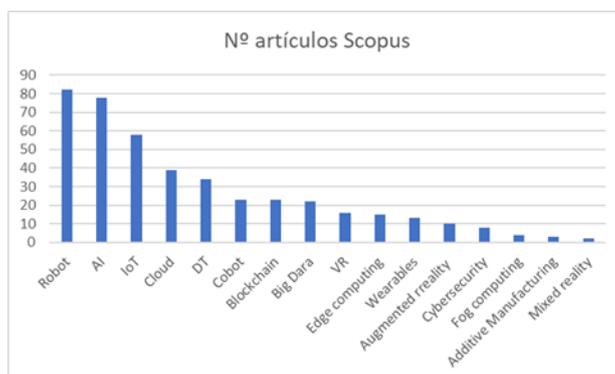
Partiendo de esta información se establecieron un conjunto de criterios para la búsqueda sistemática en la base de datos de Scopus, siguiendo el proceso mostrado en la Figura 1.

Figura 1: Proceso de búsqueda bibliográfica de la relación de nuevas tecnologías con I5.0



De este análisis se obtuvieron un total de 420 publicaciones cuyo resultado se puede apreciar en la Figura 2, desde 2019, subiendo cada año de manera progresiva, pasando de un 8,85 % sobre el total en 2021 a un 58,15 % del total en 2022 y continúan aumentando.

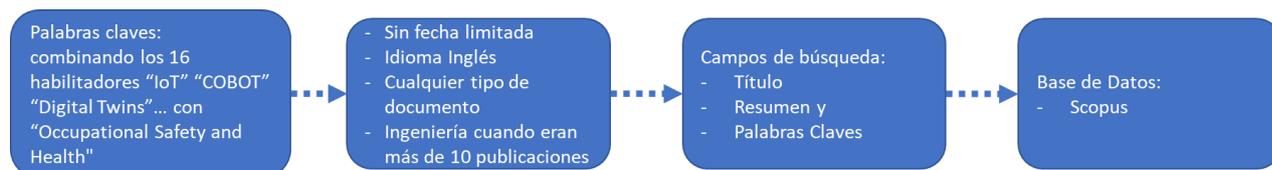
Figura 2: N.º de publicaciones de tecnologías relacionadas con I5.0



El análisis inicial nos permitió obtener un ranking de tecnologías más desarrolladas o estudiadas relacionadas con la I5.0, siendo las cuatro primeras los Robot la Inteligencia Artificial el Internet de las cosas y Cloud Computing.

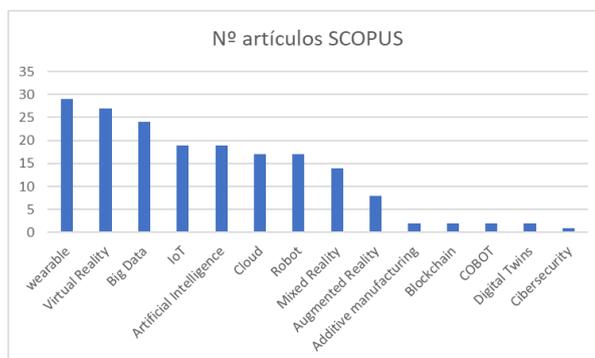
Una vez determinadas las principales tecnologías que soportan la I5.0 y su orden de importancia, se utilizan para buscar la información del segundo y tercer objetivo para lo cual se realiza una nueva búsqueda sistemática en la base de datos de Scopus, siguiendo el proceso mostrado en la Figura 3.

Figura 3: Proceso de búsqueda bibliográfica de nuevas tecnologías relacionadas con la Seguridad y Salud en el Trabajo



De este segundo análisis se obtienen un total de 183 publicaciones cuyos resultados se pueden ver en la figura 4, en este caso las publicaciones empiezan en fechas mucho más anteriores que en la primera búsqueda, se puede considerar como fecha un poco más reseñable a partir de 2013 con 5 publicaciones que suponen un 2,73% sobre el total llegando en el 2022 con un 22,40 % sobre el total.

Figura 4: N.º de publicaciones de tecnologías relacionadas con Seguridad y Salud en el Trabajo



De este primer análisis se puede apreciar que no se encuentran alineadas con el estudio que se está realizando sobre estas tecnologías en su relación con la Seguridad y Salud en el trabajo y con la I5.0, por lo que aparentemente siguen caminos separados. Las cuatro tecnologías con mayor interés según esta nueva búsqueda son, Wearables, la realidad virtual, Big Data e Internet de las cosas. Siendo la única coincidente en estos primeros cuatro puestos el habilitador IoT.

A las 183 publicaciones que se han obtenido en esta segunda búsqueda se les aplica un primer filtro, eliminando aquellas publicaciones que se encuentran repetidas al tratar un mismo artículo varios habilitadores, quedado un total de 154 publicaciones.

Con estas publicaciones se realiza una análisis profundo de cada una de ellas estableciendo una doble valoración con una escala Likert de cuatro valores: 0, 1, 3 y 5, por un lado valorando su mayor o menor aporte a la SST, escogiendo el valor 5 como lo mejor valorado,

es decir, que en esa publicación de la tecnología o tecnologías que está tratando considera que es muy útil para la SST, el valor 3 cuando lo que indica es que aporta beneficios pero también especifica una serie de inconvenientes o advertencias sobre los que hay que vigilar, el valor 1 si lo que se indica mayormente en la publicación son aspectos negativos, es decir, advirtiendo de aspectos a tener en cuenta y que pueden causar problemas de esa tecnología respecto a la seguridad y salud de los trabajadores y, por último, el valor 0 cuando no se puede obtener ninguna conclusión, es decir, no se hace ninguna referencia a aspectos positivos o negativos sobre alguna tecnología en el entorno de la seguridad y salud en el trabajo. Al mismo tiempo, se hace una segunda valoración en la cual se analiza si la tecnología/tecnologías que trata esa publicación se orientan a la protección de los riesgos físicos, de los riesgos psico-sociales, si están dirigidas a la evaluación de riesgos o a la formación en seguridad y salud en el trabajo, con el mismo criterio de valoración sobre una escala Likert con valor: 0, 1, 3 y 5, tomando el valor 0 si no aporta nada, hasta el valor 5 que indicaría sólo aspectos positivos. Un ejemplo de valoración realizada se puede observar en la tabla 1, respecto a la valoración sobre la aportación de algunas tecnologías y tabla 2 respecto a la valoración realizada sobre el aspecto en el que más influye.

Tabla 1: Valoración con escala Likert de las tecnologías respecto a sus beneficios o no con respecto a la SST

INDEX	Tecnologías						
	AI	RV	BD	CC	IoT	COBOT	WR
24	0	0	5	0	5	0	5
64	0	0	0	5	5	0	5

Tabla 2: Valoración con escala Likert de las tecnologías respecto a su mayor o menor aportación a los Riesgos Físicos, Riesgos Psico-sociales, a la Formación o la Evaluación de riesgos Laborales

INDEX	RF	RPS	EVAL	FORM
24	5	0	5	0
64	0	0	0	5

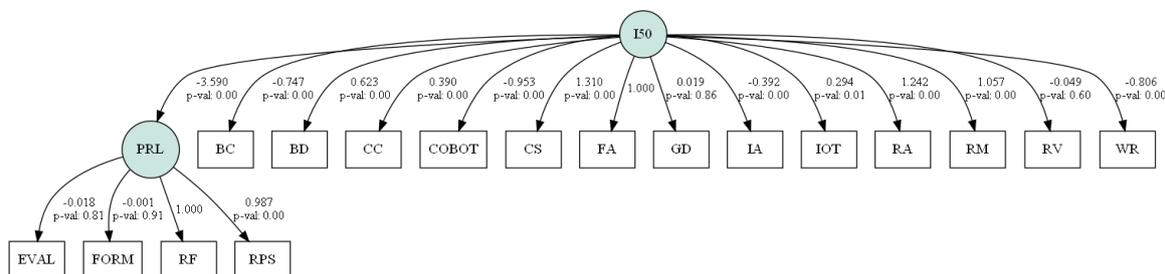
Todas estas valoraciones se recogen en una hoja de cálculo, y estos datos se manipularán mediante un programa realizado en Python. El módulo principal que se utilizará para realizar el análisis mediante ecuaciones estructurales se denomina “semopy” (Igolkina & Meshcheryakov, 2020). Principalmente se usará la clase “Model”, con la que realizaremos la mayor parte del análisis utilizando los métodos “fit” e “inspect”. Además, usaremos la función “semplot” para obtener un gráfico preliminar para representar el modelo, y la función “report” para generar los informes pertinentes.

4. Resultados

Se plantea un primer modelo inicial simple (Modelo 1), en este modelo se propone una primera hipótesis respecto a que la Industria 5.0 (I50), a través de los diferentes habilitadores digitales, favorecerá a la mejora de la Prevención de Riesgos Laborales (PRL). Se representa con un rectángulo las variables observables que son, por un lado, todos los habilitadores estudiados, y por el otro las cuatro posibles aplicaciones de dichas tecnologías,

y con un círculo las variables no observables (latentes) que son dos: I50 y PRL. El resultado se puede ver en la figura 5.

Figura 5: Modelo 1, modelo inicial simple



De los modelos que se plantean hay que evaluar su calidad o ajuste para lo cual hay más de diez medidas de ajustes, casi todos los programas aportan la mayoría de estos valores, pero ninguno de ellos por sí solo permite obtener con absoluta certeza la valoración del modelo, por lo que hay que usar un conjunto de ellos (Su et al., 2012; Ruiz, Pardo & San Martín, 2010; Bagozzi & Yi, 2011), cada uno con sus ventajas e inconvenientes, los parámetros que destacan son los siguientes:

- Chi-cuadrado X2, significación > 0,05
- Índice de bondad de ajuste comparativo (CFI) $\geq 0,95$
- Ajuste parsimonioso NFI próximo a 1
- Índice de bondad de ajuste (GFI) $\geq 0,95$

De cada uno de estos parámetros cada autor muestra ligeras variaciones en cuanto a los valores óptimos, aunque son muy similares, y en nuestro caso se toman como referencia los valores que presentan los autores Ruiz, Pardo y San Martín (2010).

En este primer modelo los resultados de los valores estadísticos seleccionados se pueden observar en la tabla 3.

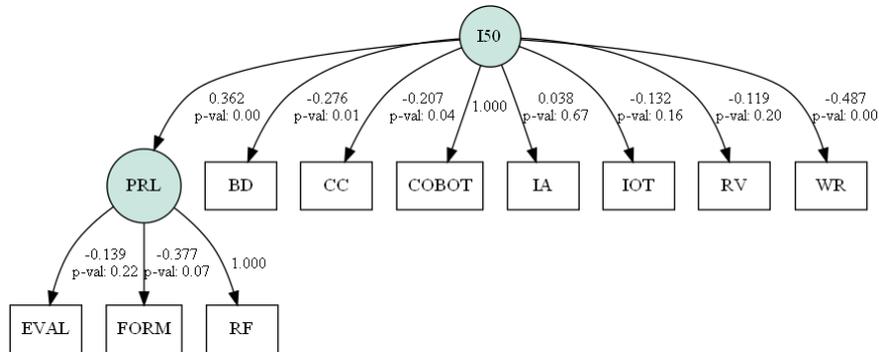
Salvo Chi-cuadrado, que es el único que podría ser adecuado al tener un valor de 0 (debe estar entre 0 y 1), los demás se encuentran bastante lejos de los valores establecidos, por lo que se decide plantear un nuevo modelo (Modelo 2) el cual, tras un análisis rápido, se puede observar que la información relevante respecto determinadas variables es demasiado escaso y podría resultar poco relevante para el estudio, ya que los resultados de las valoraciones varían desde 5, que ha sido la menor puntuación, hasta 391 que ha sido la mayor puntuación conseguida por una de las variables, por lo que se decide no tener en cuenta todas aquellas variables con una valoración por debajo de 50. Con este criterio de filtrado se pasa de 17 variables a 10 variables. Hay que destacar que también ha quedado eliminada una de las variables asociadas a la prevención de riesgos, en concreto riesgos psico-sociales (RPS).

A continuación, habría que eliminar del análisis los artículos en aquellos casos que solo participan las entradas eliminadas (<50), y también los artículos en los que las aportaciones de las entradas que han quedado solo hicieran referencia a la variable RPS. Por último, eliminamos aquellos artículos analizados de los que no se ha podido extraer ninguna información relevante, y por lo tanto la suma de las entradas y salidas es igual a cero.

Con este nuevo conjunto de datos de entrada se propone una hipótesis similar al modelo anterior, es decir, una desagregación de la Industria 5.0 para considerar los habilitadores

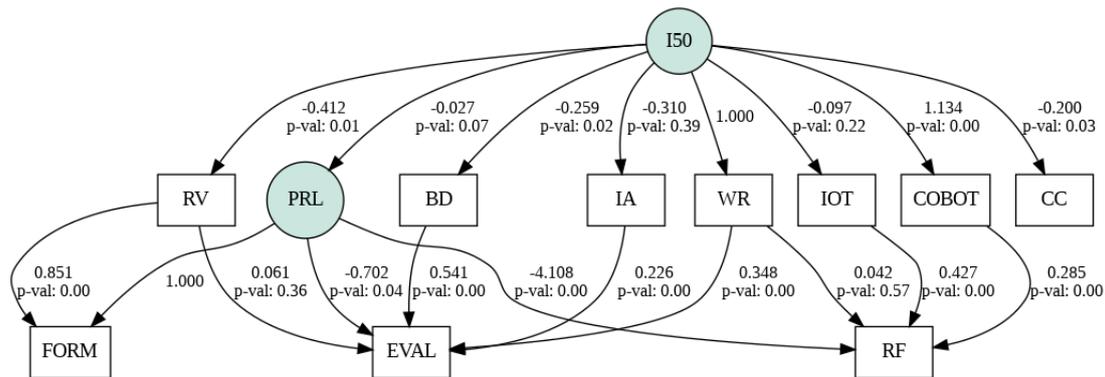
digitales en los que se sustenta, y que favorecerán a la mejora de la Prevención de Riesgos Laborales (PRL), el Modelo 2 resultante consiste en una simplificación del Modelo 1.

Figura 6: Modelo 2 resultado de eliminación 7 variables



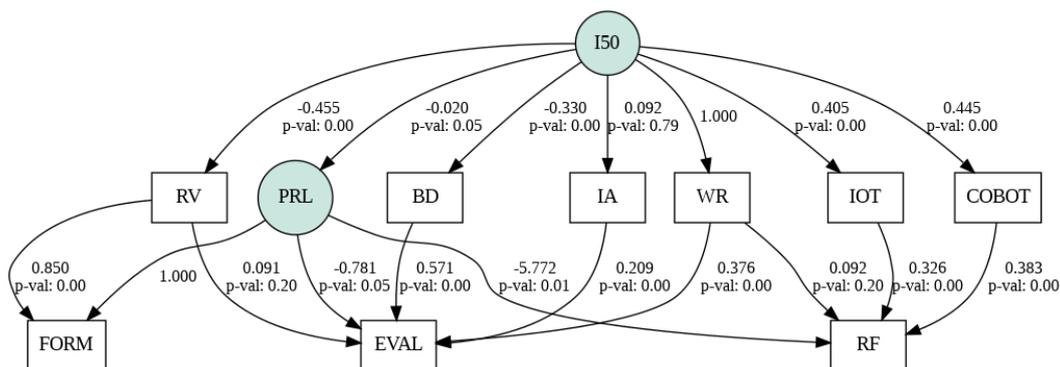
Los resultados de los valores estadísticos del Modelo 2 se pueden comprobar en la tabla 3, en la cual se observa que ha mejorado algo, pero no es muy significativo, esto nos hace plantear un nuevo modelo (Modelo 3) en el que se propone una segunda hipótesis respecto a que ciertos Habilitadores Digitales de la Industria 5.0 favorecerán a la mejora de ciertos aspectos específicos de la Prevención de Riesgos Laborales, es decir, hay ciertos habilitadores que ayudan/favorecen más a la evaluación de riesgos, a los riesgos físicos o a la formación, llegándose al modelo que se puede observar en la figura 7.

Figura 7: Modelo 3, relacionando tecnologías con ámbitos específicos de la PRL



En este tercer modelo se observa, ver tabla 3, que la mejora es bastante significativa acercándose bastante a los valores establecidos como aceptables, también se observa que la tecnología CC no tiene una relación significativa con los tres ámbitos de PRL, por lo que se propone un cuarto modelo (Modelo 4) eliminando esta variable, con este cambio el resultado del nuevo modelo se puede observar en la figura 8.

Figura 8: Modelo 4, eliminando variable CC



Con este nuevo Modelo 4 los parámetros estadísticos son los que se pueden observar en la última fila de la tabla 3.

Tabla 3: Resultados estadísticos de los modelos

	chi2	cfi	gfi	nfi
Modelo 1	(3277.7555152359537, 0.0)	0.19	0.20	0.20
Modelo 2	(697.4827411117249, 0.0)	0.36	0.36	0.36
Modelo 3	(218.1993248412568, 0.0)	0.83	0.82	0.55
Modelo 4	(168.6707445616075, 0.0)	0.86	0.86	0.86

Se observa que han mejorado todos los parámetros, especialmente el correspondiente al parámetro NFI y, aunque no están por encima de los valores recomendados, están ya muy cercanos, hay que aclarar que se han tomado como referencia los valores más restrictivos.

Esta variación se puede explicar por el tamaño muestral que se ha utilizado que, después de los diferentes análisis y filtros realizados para los diferentes modelos, ha pasado de 155 a 112 publicaciones que, aunque está por encima de los 100 que es el mínimo valor que se exige, no está por encima de las 200 muestras que es el valor con el cual se considera se puede tener una mayor garantía en la aplicación de este tipo de análisis. Por otro lado, también influye el número de variables observadas, debido a que cuanto mayor número de variables, se necesitará un mayor número de muestras. En el caso presentado en este trabajo, después de la reducción realizada, se ha quedado en nueve variables en el último modelo (Modelo 4), y se estima en 10 muestras mínimas por cada variable (Ruiz, Pardo & San Martín, 2010).

De este último Modelo 4 destacan como más influyentes para los riesgos físicos los habilitadores WR, COBOT e IoT, para la Evaluación de riesgos serían BD, WR, RV y IA y para la formación la RV, siempre recordando que los datos están basados en el interés que han suscitado para diferentes autores estas tecnologías en el campo de la prevención, limitados sólo a una base de datos bibliográfica, Scopus.

En el estudio realizado se puede observar que existe una mayoría de publicaciones (420 publicaciones) de estas herramientas relacionadas con su aplicación a los sistemas productivos, y un menor número (183 publicaciones) que las relaciona con su aportación a la SST, casi un 60% menos. Esto puede indicar, como muchos autores corroboran, que durante las diferentes revoluciones industriales que han ido surgiendo ha primado el objetivo de mejorar la producción y, después, se han abordado retos referidos a la seguridad,

(Gallegos, 2012). En general, se observa que no se tienen en cuenta inicialmente los recursos humanos en el desarrollo de nuevas tecnologías, en la innovación, en los cambios, etc. y que normalmente se tienen en cuenta a posteriori (Neumann, et al., 2020) por lo que la I5.0 aparentemente sigue el mismo camino que el resto de revoluciones anteriores a pesar que este cambio de paradigma se basa en la idea de que las tecnologías se pueden moldear para respaldar valores, y el enfoque principal de las tecnologías utilizadas no debe ser reemplazar al trabajador en el taller, sino apoyar las habilidades de los trabajadores y generar entornos de trabajo más seguros y satisfactorios (Müller, 2020).

Volviendo al análisis del Modelo 4, se ha realizado un estudio un poco más detallado revisando las tecnologías más importantes relacionadas con los ámbitos de la SST, de tal forma que, con los datos obtenidos del análisis bibliográfico realizado, se puedan apreciar las principales ventajas e inconvenientes de estas tecnologías. Así, por ejemplo, si se consideran los riesgos físicos, el habilitador digital IoT es el más valorado seguido de los COBOT/ROBOT. En particular, para la tecnología de IoT, destacan entre las principales aplicaciones mejorar la seguridad en la construcción mediante la prevención del colapso de las estructuras temporales (andamios) (Cho et al., 2018), garantizar el acceso autorizado a zonas peligrosas alrededor de la maquinaria en funcionamiento (Kumar & Tauseef, 2021), también para el control de la calidad del aire interior (Sun et al., 2019), etc. Se observa, como indica Lemos, Gaspar y Lima (2022), que el Internet de las Cosas, mediante la medición y el análisis en tiempo real de las condiciones laborales, puede utilizarse para crear soluciones inteligentes que contribuyan a reducir el número de accidentes laborales y para la promoción de lugares de trabajo más sanos y seguros, pero también por otro lado se debaten aspectos relacionados con el uso de la inteligencia artificial y la preocupación por la privacidad de los datos.

Respecto a la tecnología COBOT/ROBOT se puede observar su relación con la mejora de los riesgos físicos, ya que es evidente que ayudan mucho a los trabajadores evitando, por ejemplo, lumbalgias por levantamiento de cargas pesadas (exoesqueletos) (Deshpande et al., 2018), el acceso a zonas peligrosas (Garretson, Hobart & Salton, 2011), etc. A pesar de esto, no hay que olvidarse que al mismo tiempo se pueden producir nuevos riesgos tanto físicos como psico-sociales, en relación con este habilitador digital. El simple hecho del concepto de robot colaborativo implica que desaparecen esas barreras físicas que hasta ahora hay implantadas entre los trabajadores y las máquinas, es decir, hay un solapamiento espacio-tiempo entre el espacio de trabajo del operario y el espacio del trabajo del robot, pudiéndose generar conflictos por la propia velocidad de trabajo de movimiento del robot y en algunos casos la imprevisibilidad de la trayectoria de un COBOT sobre el operario humano al ir aprendiendo y mejorando sus tareas, pudiendo provocar una mayor carga de trabajo y ansiedad (Koppenborg, et al., 2017).

Si se considera ahora la Evaluación de riesgos el habilitador o tecnología que aporta mayor puntuación es BD seguido por los wearables, de hecho, en muchos casos van de la mano obteniéndose los datos que gestiona BD de los wearables. Entre las principales aplicaciones de BD se puede destacar la monitorización fisiológica y cinemática corporal, y la monitorización ambiental (Sadeghi, Soltanmohammadlou & Nasirzadeh, 2022), la inspección in situ con un formulario electrónico en un dispositivo móvil (Wan, Chen & Tserng, 2022). BD permite en general explorar, supervisar, prever y optimizar los datos recogidos para tomar una decisión eficaz que garantice la seguridad de los trabajadores (Tkatek et al., 2020) el principal problema de Big Data es la calidad y la cantidad de los datos de entrada (Roberts et al., 2022).

En cuanto a los wearables pueden mejorar mucho los procesos de evaluación de riesgos (Fanti et al., 2022) así hay muchos sensores que permiten evaluar los riesgos biomecánicos,

trastornos musculoesqueléticos, (Mudiyanselage et al., 2021; Porta et al., 2020) también pueden evaluar ruidos (Wei, Wang & Lee, 2017), polvo, aerosoles, etc. (Volkwein et al., 2005) también incluso de predicción automática de niveles de demanda basado en señales fisiológicas recopiladas de los trabajadores con biosensores de pulsera (Jebelli, Choi & Lee, 2019) en definitiva se pueden recoger muchos datos para poder evaluar de forma casi inmediata y tomar decisiones en muy poco tiempo, pero esto trae un problema que habrá que gestionar muy bien y es que a través de todos estos sensores se va a obtener mucha información, los trabajadores están o podrán estar geolocalizados, se toman o podrán tomar sus constantes vitales, ver su situación de estrés físico y psicológico, etc. que alguien o algún sistema puede interpretar, lo cual si no se regula/gestiona bien puede generar conflictos éticos y morales (McAleenan et al., 2019).

Por último, respecto a la formación en prevención de riesgos se observa que en principio sólo hay una tecnología que la soporta y es la realidad virtual. Del estudio bibliográfico realizado se puede determinar que son muchas las bondades de esta tecnología respecto a su aportación en la formación, así, como indican Bhoir y Esmaeili (2015), la realidad virtual tiene un gran potencial para implicar a los alumnos en las aulas y para ayudar a los trabajadores de la construcción a retener los conocimientos sobre seguridad. Se observa además que el uso de la realidad virtual para el entrenamiento en materia de seguridad y para la rehabilitación ha ido creciendo progresivamente (Junaini et al., 2022) y es especialmente importante en la formación en trabajos peligrosos (Mendes et al., 2022; Bellanca et al., 2019). Por otro lado, también se puede ver que, a pesar de las ventajas mostradas, hay que analizar muy bien el uso de la realidad virtual y asegurar que realmente en su utilización se aportará valor (Talley et al., 2021). Hay que tener en cuenta que estas herramientas lo que permiten es crear un entorno virtual inmersivo en el que el trabajador, mediante la aplicación de estas herramientas, podrá desarrollar las tareas de producción en el lugar de trabajo, sin embargo, los escenarios de formación suelen estar determinados por el criterio del desarrollador o diseñador, y esto puede suponer un problema, ya que algunos detalles y elementos importantes asociados a los accidentes de trabajo o a los posibles riesgos podrían ser ignorados durante el diseño del escenario, ya puede ser por la falta de conocimientos, experiencia o falta de información (Mo et al., 2018).

5. Conclusiones

Los resultados obtenidos no se pueden tomar como definitivos, aunque sí bastante concluyentes al trasladar sólo el interés de los investigadores por determinadas tecnologías teniendo en cuenta una única base de datos bibliográfica (Scopus), lo cual genera una futura línea de investigación que consistiría en ampliar la muestra utilizando más bases de datos para confirmar con más datos qué tecnologías soportan más a la seguridad y salud en el trabajo dentro de esta nueva revolución industrial I5.0.

En general se puede observar que todas estas tecnologías se pueden aprovechar de manera significativa para ayudar a los trabajadores en la seguridad y salud laboral, sin olvidar que también puedan generar riesgos lo que implica que habrá que gestionarlos de forma adecuada.

De forma más específica, se puede concluir que las nuevas tecnologías, en relación con su aplicación a la seguridad y salud en el trabajo, por el momento se prevé que serán más utilizadas en el ámbito de la evaluación de los riesgos laborales.

También, del análisis realizado se puede afirmar que los riesgos psico-sociales son los más importantes que se generan con estas nuevas tecnologías, pero no hay muchos estudios para tratarlos. De hecho, en general, estos riesgos están relacionados con la gran cantidad

de datos que todas estas nuevas tecnologías están generando de tipo personal, productiva, etc. que, junto a la incertidumbre de muchos trabajadores respecto al impacto que pueda tener el desarrollo de estas tecnologías en la pérdida de sus puestos de trabajo, así como la preocupación por el exceso de información que se puede obtener sobre ellos mismos, pueden generarles problemas de ansiedad, stress, etc. Frente a esta cantidad de datos que previsiblemente se va a manejar, se plantea que habrá que implantar sistemas que aseguren la no intromisión en la vida personal o privada de los trabajadores, lo cual implica que habrá que asegurar que se implanten y se aseguren unos principios éticos, para lo cual será necesario el apoyo de los legisladores. Por ello, otra línea de investigación podría surgir como consecuencia del análisis específico de este campo para comprobar si se están desarrollando o se prevén desarrollar leyes que estén teniendo en cuenta estas nuevas tecnologías y otras que puedan surgir con la I5.0.

Finalmente, se plantea otra futura línea de investigación referente a la gestión de la seguridad y salud en los lugares de trabajo para asegurar un diseño adecuado de la misma. Hay que tener en cuenta que, sin una adecuada gestión del riesgo de forma integrada con estas nuevas tecnologías tan beneficiosas en muchos aspectos, se pueden llegar a convertir en un peligro mortal, de hecho, se observa que los datos que son el principal resultado no es realmente el problema sino el uso que se haga de ellos.

Referencias bibliográficas

- Bagozzi, R. P., & Yi, Y. (2012). Specification, evaluation, and interpretation of structural equation models. *Journal of the academy of marketing science*, 40, 8-34
- Bellanca, J. L., Orr, T. J., Helfrich, W. J., Macdonald, B., Navoyski, J., & Demich, B. (2019). Developing a virtual reality environment for mining research. *Mining, metallurgy & exploration*, 36, 597-606.
- Bhoir, S., & Esmaeili, B. (2015). State-of-the-art review of virtual reality environment applications in construction safety. *AEI 2015*, 457-468.
- Brocal, F., González-Gaya, C., Sebastián, M. A., Reniers, G. L. L. M. E., & Paltrinieri, N. (2019). Emerging risk management versus traditional risk: Differences and challenges in the context of occupational health and safety. In *Proceedings of the 29th European Safety and Reliability Conference, Hannover, Germany* (pp. 22-26).
- Cho, C., Sakhakarmi, S., Kim, K., & Park, J. (2018). Scaffolding modelling for real-time monitoring using a strain sensing approach. In *ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction* (Vol. 35, pp. 1-8). IAARC Publications.
- Diop, I., Abdul-Nour, G. G., & Komljenovic, D. (2022). A High-Level Risk Management Framework as Part of an Overall Asset Management Process for the Assessment of Industry 4.0 and Its Corollary Industry 5.0 Related New Emerging Technological Risks in Socio-Technical Systems. *American Journal of Industrial and Business Management*, 12(7), 1286-1339.
- Fanti, G., Spinazzè, A., Borghi, F., Rovelli, S., Campagnolo, D., Keller, M., Borghi A., Cattaneo A., Cauda E. & Cavallo, D. M. (2022). Evolution and applications of recent sensing technology for occupational risk assessment: a rapid review of the literature. *Sensors*, 22(13), 4841.
- Farsi, M., Mishra, R. K., & Erkoyuncu, J. A. (2021, October). Industry 5.0 for sustainable reliability centered maintenance. In *Proceedings of the The 10th International Conference on Through-Life Engineering Services*.
- Gallegos, W. L. (2012). Revisión histórica de la salud ocupacional y la seguridad industrial. *Revista cubana de salud y trabajo*, 13(3), 45-52.

- Igolkina, A. A., & Meshcheryakov, G. (2020). semopy: A python package for structural equation modeling. *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, 27(6), 952-963. <https://doi.org/10.1080/10705511.2019.1704289>
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (2022). Informe anual de accidentes de trabajo en España 2021. Obtenido el 14 de marzo de 2023 desde: <https://www.insst.es/documentacion/catalogo-de-publicaciones/informes-anuales-de-accidentes-de-trabajo/informe-anual-de-accidentes-de-trabajo-en-espana-2021>.
- Issamar, F. H. M. K., & Roberto, R. L. (2019). New and emerging occupational risks (NER) in industry 4.0: Literature review. In 2019 7th International Engineering, Sciences and Technology Conference (IESTEC) (pp. 394-399). IEEE.
- Javaid, M., & Haleem, A. (2020). Critical components of Industry 5.0 towards a successful adoption in the field of manufacturing. *Journal of Industrial Integration and Management*, 5(03), 327-348.
- Jebelli, H., Choi, B., & Lee, S. (2019). Application of wearable biosensors to construction sites. II: Assessing workers' physical demand. *Journal of construction engineering and management*, 145(12), 04019080.
- Junaini, S. N., Kamal, A. A., Hashim, A. H., Shaipullah, N. M., & Truna, L. (2022). Augmented and Virtual Reality Games for Occupational Safety and Health Training: A Systematic Review and Prospects for the Post-Pandemic Era. *iJOE*, 18(10), 43.
- Koppenborg, M., Nickel, P., Naber, B., Lungfiel, A., & Huelke, M. (2017). Effects of movement speed and predictability in human–robot collaboration. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 27(4), 197-209.
- Kumar, R., Gupta, P., Singh, S., & Jain, D. (2021). Human empowerment by industry 5.0 in digital era: analysis of enablers. In *Advances in Industrial and Production Engineering* (pp. 401-410). Springer, Singapore.
- Müller, J. (2020). Enabling Technologies for Industry 5.0—Results of a Workshop with Europe's Technology Leaders. Directorate-General for Research and Innovation.
- Kumar, S., & Tauseef, S. M. (2021). Development of an Internet of Things (IoT) based Lockout/Tagout (LOTO) device for Accident Prevention in Manufacturing Industries. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1017, No. 1, p. 012017). IOP Publishing.
- Lemos, J., Gaspar, P. D., & Lima, T. M. (2022). Environmental Risk Assessment and Management in Industry 4.0: A Review of Technologies and Trends. *Machines*, 10(8), 702.
- Maddikunta, P. K. R., Pham, Q. V., Prabadevi, B., Deepa, N., Dev, K., Gadekallu, T. R., Ruby, R. & Liyanage, M. (2022). Industry 5.0: A survey on enabling technologies and potential applications. *Journal of Industrial Information Integration*, 26, 100257.
- McAleenan, P., McAleenan, C., Ayers, G., Behm, M., & Beachem, Z. (2018). The ethics deficit in occupational safety and health monitoring technologies. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Management, Procurement and Law*, 172(3), 93-100.
- Mendes, E., Albeaino, G., Brophy, P., Gheisari, M., & Jeelani, I. (2022). Working Safely with Drones: A Virtual Training Strategy for Workers on Heights. In *Construction Research Congress 2022* (pp. 622-630).
- Montoro Osuna, E. M., Ávila Gutiérrez, M., & Aguayo González, F. (2019). La digitalización de la prevención de riesgos laborales. Una aproximación para la PRL 4.0.
- Mo, Y., Zhao, D., Du, J., Liu, W., & Dhara, A. (2018, April). Data-driven approach to scenario determination for VR-based construction safety training. In *Construction Research Congress 2018* (pp. 116-125).
- Müller, J. (2020). Enabling Technologies for Industry 5.0—Results of a Workshop with Europe's Technology Leaders. Directorate-General for Research and Innovation.
- Mudiyansele, S. E., Nguyen, P. H. D., Rajabi, M. S., & Akhavian, R. (2021). Automated workers' ergonomic risk assessment in manual material handling using sEMG wearable sensors and machine learning. *Electronics*, 10(20), 2558.

- Neumann, W. P., Winkelhaus, S., Grosse, E. H., & Glock, C. H. (2021). Industry 4.0 and the human factor—A systems framework and analysis methodology for successful development. *International journal of production economics*, 233, 107992.
- Nikhildeshpande, J. O., Ioannissarakoglou, C. S., Nikos Tsagarakis, A. B., & Jorge Fernández, M. F. (2018). Next-generation collaborative robotic systems for industrial safety and health. *Safety and Security Engineering VII*, 174, 187.
- Orr, T. J., Bellanca, J. L., Navoyski, J., Macdonald, B., Helfrich, W., & Demich, B. (2020). Development of visual elements for accurate simulation. In *Advances in Human Factors and Simulation: Proceedings of the AHFE 2019 International Conference on Human Factors and Simulation*, July 24-28, 2019, Washington DC, USA 10 (pp. 287-299). Springer International Publishing.
- Raja Santhi, A., & Muthuswamy, P. (2023). Industry 5.0 or industry 4.0 S? Introduction to industry 4.0 and a peek into the prospective industry 5.0 technologies. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 1-33.
- Roberts, B., Shkempi, A., Smith, L. M., & Neitzel, R. L. (2022). Beware the Grizzlyman: A comparison of job-and industry-based noise exposure estimates using manual coding and the NIOSH NIOCCS machine learning algorithm. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 19(7), 437-447.
- Rubio, J. M. L. El factor humano en Industria 4.0. Una nueva lectura de los riesgos psicosociales.
- Ruiz, M. A., Pardo, A., & San Martín, R. (2010). Modelos de ecuaciones estructurales. *Papeles del psicólogo*, 31(1), 34-45.
- Sadeghi, S., Soltanmohammadlou, N., & Nasirzadeh, F. (2022). Applications of wireless sensor networks to improve occupational safety and health in underground mines. *Journal of safety research*.
- Salton, J. R., Hobart, C. G., & Garretson, J. (2011). Salton. Jonathan. Gemini-Scout_Mine_Rescue_Robot (No. SAND2011-5303C). Sandia National Lab.(SNL-NM), Albuquerque, NM (United States).
- Su, T. S., Lin, P. R., Shu, Y. L., Tseng, J. M., & Kao, C. S. (2012). Analysis of the Multi-Relationships and Their Structures for Safety Culture.
- Sun, S., Zheng, X., Villalba-Díez, J., & Ordieres-Meré, J. (2019). Indoor air-quality data-monitoring system: Long-term monitoring benefits. *Sensors*, 19(19), 4157.
- Talley, K. G., Spencer, B. J., Hatipkarasulu, G. S., & Kisi, K. P. (2021, July). Work in Progress: Finding the Holes in Safety Education. In 2021 ASEE Virtual Annual Conference Content Access.
- Tkatek, S., Belmzoukia, A., Nafai, S., Abouchabaka, J., & Ibnou-Ratib, Y. (2020). Putting the world back to work: An expert system using big data and artificial intelligence in combating the spread of COVID-19 and similar contagious diseases. *Work*, 67(3), 557-572.
- Vidales, C. G. (2019). Seguridad y salud de los trabajadores 4.0. *International Journal of Information Systems and Software Engineering for Big Companies*, 6(1), 123-131.
- Volkwein, J. C., Thimons, E. D., Timko, R. J., Hall, E. E., Mischler, S. E., Kissell, F. N., & Vinson, R. P. (2005). State-of-the-art in monitoring respirable mine aerosols.
- Wan, Y. W., Chen, W. C., & Tserng, H. P. (2022). Determining Optimal Durations and Costs of Prefabricated Construction for Island-Buildings Using Modular Design Mode of Buildings, 34(6), 489-500.
- Wei, W., Wang, C., & Lee, Y. (2017). BIM-based construction noise hazard prediction and visualization for occupational safety and health awareness improvement. In *Computing in Civil Engineering 2017* (pp. 262-269).

**Comunicación alineada con los
Objetivos de Desarrollo Sostenible**

