

HEURÍSTICA PREDICTIVA EN LOS ENTORNOS DEL NIVEL DE LA ACCIÓN PREVENTIVA Y DE LOS PROCESOS NUMÉRICOS, SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE LOS TRABAJADORES EN LOS BORDES DE FORJADO

Carpio de los Pinos, A.J.⁽¹⁾; Rosado Linares, J.⁽²⁾; González García, M.N.⁽³⁾

⁽¹⁾ Departamento de *Mecánica aplicada e ingeniería de proyectos*, Escuela Ingeniería Industrial de Toledo, Universidad de Castilla La Mancha, AntonioJose.Carpio@uclm.es

⁽²⁾ Departamento de *Matemáticas*, Escuela Ingeniería Industrial de Toledo, Universidad de Castilla La Mancha, Jesus.Rosado@uclm.es

⁽³⁾ Departamento de *Construcciones arquitectónicas y su control*, Escuela Técnica Superior de Edificación, Universidad Politécnica de Madrid, mariadelasnieves.gonzalez@upm.es

RESUMEN/ABSTRACT

La metodología de evaluación de riesgos N_{acp} (Nivel de la Acción Preventiva), se aplica sobre cuatro de las técnicas de lucha contra el riesgo en las obras de construcción: Seguridad en el Trabajo, Higiene Industrial, Ergonomía y Psicología. A su vez, determina cuatro entornos de observación: absoluto, documental, constructivo y social. El N_{acp} evalúa los sistemas de seguridad y salud con un parámetro corrector que cuantifica el nivel preventivo de la obra; dirigiendo los entornos hacia la situación óptima de prevención. Se evalúa el grado de peligrosidad del riesgo constructivo en base a la geometría del edificio, evaluando la posición del operario respecto a la altura y al borde del forjado. Se evalúa el estado de ánimo de los trabajadores, observando aspectos generales, determinantes en la generación de riesgos. La base matemática del método N_{acp} puede extenderse para incluir la perspectiva de los modelos de comportamiento colectivo, que pueden describir el comportamiento humano predecible a partir de la probabilidad de los actos. Numerosas investigaciones en el campo matemático modelizan satisfactoriamente el movimiento que siguen o seguirán los individuos y los grupos en diferentes escenarios (cruce de calles, evacuación de emergencia, etc.), incluyendo parámetros variables como el estado de ánimo y las emociones. Esta comunicación plantea la ampliación de los entornos de evaluación de una obra con la heurística predictiva en el entorno matemático sobre el comportamiento de los trabajadores en los bordes de forjado, respecto a los actos y desplazamientos inseguros. Los accidentes laborales generan pérdidas, por lo que la evaluación debe enfocarse globalmente.

Palabras clave: evaluación de riesgos, medición de la exposición al riesgo, lugares de trabajo, percepción de riesgos.

INTRODUCCIÓN

Existe la necesidad de establecer los parámetros que reflejen mejor la realidad del entorno de una obra, abarcando las cuatro técnicas de lucha contra el riesgo (Seguridad en el Trabajo, Higiene, Industrial, Ergonomía y Psicología) y en base a la tolerancia del riesgo [1]; añadiendo el factor de la realidad constructiva, los riesgos asociados a la complejidad de las unidades de obra, su ubicación e interdependencia [2]; el factor de respuesta económica del contratista con la ejecución directa de los sistemas constructivos y medios de prevención [3]; y el factor social con el interés, la participación y el estado de ánimo de los trabajadores [4]. Abarcando estos factores el entorno documental [5], el entorno constructivo [6] y el entorno social como elementos fundamentales asociados a la ejecución de una obra [7].

La dificultad y características del entorno constructivo de la obra establecen un valor directamente proporcional de complejidad que afecta a las directrices iniciales establecidas en el entorno documental. Sin embargo, el desarrollo de los sistemas de prevención, la actividad social, los roles, las jerarquías y el estrés laboral añaden parámetros evaluables en el entorno constructivo [8].

Es fundamental que la siniestralidad laboral de las obras de construcción llegue a disminuir a valores razonables; aplicando los sistemas de prevención de accidentes y la necesaria gestión del riesgo; con lo que se consigue disminuir [4]. No obstante, las evaluaciones de riesgos en obras de construcción requieren un estudio pormenorizado de los diferentes riesgos a los que están expuestos los trabajadores de la construcción [9]. Como criterio base, a menudo son tres las fases que se requieren en las metodologías de evaluación para establecer una evaluación de riesgos [10]:

- Identificación de los peligros potenciales,
- Evaluación y cuantificación del riesgo,
- Categorización.

Sobre estos criterios hay que añadir una selección paramétrica de análisis subjetivo (cualitativa) o análisis objetivo (cuantitativo) para la evaluación del riesgo [11]. Aunque, los criterios de evaluación suelen orientarse de manera individual en cada técnica de lucha contra el riesgo [12]. No obstante, los procesos en la industria de la construcción ofrecen complejidad conjunta de gestión, de organización (interdependencia entre unidades de obra, distintas fases de ejecución de obra...), de planificación del entorno (clima, medios auxiliares...), de medios humanos (oficios, tareas, cualificación, temporalidad...), de material, etc. [13]

Hay metodologías de evaluación de riesgos que han ampliado los parámetros de observación en la búsqueda de su idoneidad de aplicación para obras de edificación. Así, Forteza, Sesé y Carretero [12] en su metodología de Herramienta global para la evaluación de obras de construcción recaban información sobre la estructura de la obra, su medio, el entorno, el desarrollo físico, los agentes y la tipología de obra; para identificar y valorar los riesgos, las barreras y los medios. También, Pinto [13] basa su metodología QRAM en el Árbol de sucesos sobre los que se analizan determinados riesgos característicos de las obras de construcción a partir de cuatro dimensiones de observación: Clima de seguridad, Factores de severidad (consecuencias), Factores de posibilidad (probabilidad) y Barreras de seguridad (medios de seguridad). Añadida a su fórmula está el parámetro difuso basado en la teoría de conjuntos difusos [14]. Reyes, San José, Cuadrado y Sancibrián [15] unifican criterios en la jerarquía de la toma de decisiones y evalúan las consecuencias de las variaciones que se pueden plantear sobre el ciclo de vida de la edificación; desde la fase de diseño hasta la reintegración. El estudio sobre el riesgo que plantean Sousa, Almeida y Dias [16] en el que analizan los accidentes en obras en la industria de la construcción, y determinan que una correcta definición del proyecto con unas medidas adecuadas en la planificación y organización de la obra, puede minimizar en más del 60% los accidentes. Haciendo hincapié en la necesidad de gestionar la seguridad y salud durante el ciclo de vida de la edificación: diseño, ejecución y uso. Finalmente, Salanova, Gracia y Llorente [17] establecen la importancia del estudio de los factores psicosociales y ergonómicos, ya que, generalmente, las evaluaciones de riesgo en la construcción consideran los aspectos físicos, técnicos y de dirección, siendo el exceso de confianza y las posturas forzadas las principales causas de los accidentes en la construcción.

La siniestralidad laboral en la industria de la construcción, demanda el análisis de los riesgos desde un punto de vista de entorno integral [18], [19], [20]. Las metodologías de evaluación, tanto las diseñadas para el sector de la industria como las diseñadas, últimamente, para el sector de la construcción, establecen criterios de observación y análisis según las características de los puestos de trabajo y los enfoques particulares de las propias metodologías. Buscando la identificación de los peligros, la evaluación y cuantificación del riesgo, y su clasificación. Todas y cada una de las metodologías aplican los parámetros y los sistemas de protocolización que mejor se adaptan para el objetivo buscado. Abarcando, en mayor o menor medida, las cuatro técnicas de lucha contra el riesgo: la seguridad, la higiene, la ergonomía y la psicología.

El método del Nivel de la Acción Preventiva (N_{acp}) es una metodología de evaluación de riesgos laborales adaptada a las obras de edificación [21]. Su implementación se basa en una formulación matemática desarrollada a partir del método de William T. Fine [22]. Los parámetros del N_{acp} observan la realidad de una obra de edificación, en los entornos del proceso edificatorio: inicial, documental, constructivo y social; comprendiendo cuatro de las técnicas de lucha contra el riesgo: Seguridad en el Trabajo, Higiene Industrial, Ergonomía y Psicología. Esta observación determina, cuantitativamente, los niveles de riesgo que se corresponden con la complejidad propia de las unidades de obra, su ubicación en la obra y su interdependencia [2] (en el entorno documental) [6]. Asimismo, determina, cuantitativamente, los niveles de riesgo en función de las características de los sistemas constructivos y sistemas preventivos [3] (en el entorno constructivo) [7]. Finalmente, determina, cuantitativamente, los niveles de riesgo en base a la percepción del entorno y el estado de ánimo de los trabajadores [4] (en el entorno social) [8]. El N_{acp} se desarrolla en cinco fases a partir del análisis técnico, la observación y de una encuesta psicosocial a pie de obra. La primera fase del protocolo define un valor característico inherente a la situación real de la obra observada en los entornos documental, constructivo y social; y se aplica a cada uno de los parámetros de la fórmula del Nivel de la Acción Preventiva. La segunda fase determina la incidencia del valor característico a cada uno de los riesgos que se evalúan. La tercera fase indica las bases del control de la prevención con el valor obtenido del N_{acp} en relación al riesgo absoluto, como desvío de la acción preventiva inicial. La cuarta fase indica las actuaciones de recomendación. Y en la quinta fase se comprueba la mejora de la acción preventiva durante el proceso de obra.

OBJETIVOS

El método de evaluación de Riesgos, Nivel de la Acción Preventiva, está desarrollado a partir de una base matemática que relaciona los cuatro entornos de evaluación y observación de los procesos constructivos de una obra: el entorno absoluto (o inicial) que se corresponde con el proceso de concepción, diseño y proyecto del edificio; el entorno documental, que se corresponde con las características físicas y geométricas del edificio; el entorno constructivo, respecto al grado de exposición del trabajador al riesgo y los sistemas y medios de seguridad de la empresa; y el entorno social respecto al nivel de participación en materia de prevención y nivel de satisfacción de los trabajadores.

Hay un quinto entorno que ofrece perspectivas relevantes a la evaluación del riesgo: el del comportamiento humano predecible, abarcando aspectos de las relaciones sociales y de los entornos numéricos de la probabilidad de los actos. Numerosas investigaciones en el campo matemático determinan satisfactoriamente cuál es el movimiento que

siguen o seguirán los individuos y los grupos en diferentes escenarios (cruce de calles, evacuación de emergencia, etc.), incluyendo parámetros variables como el estado de ánimo [23]. Los resultados aportan nuevos enfoques en el diseño de calles o edificios para las aglomeraciones [24].

Esta comunicación plantea la ampliación de los entornos de evaluación en el proceso edificatorio (absoluto, documental, constructivo y social) con la heurística predictiva del entorno matemático sobre el comportamiento de los trabajadores en los bordes de forjado respecto a los actos y desplazamientos inseguros.

PARÁMETROS DEL NIVEL DE LA ACCIÓN PREVENTIVA

El nuevo método de evaluación de riesgos establece la cantidad de nivel de prevención que se está desviando del planteamiento inicial, en el Plan de seguridad y salud laboral, determinando la cantidad de nivel de prevención que se necesita incorporar al desarrollo de la obra para mejorar las condiciones de diseño, condiciones constructivas y de relaciones sociales. Es un método que está adaptado a la complejidad “especial” de las obras de construcción y abarca la evaluación de todas las técnicas de lucha contra el riesgo: Seguridad, Higiene, Ergonomía y Psicosociología. Los parámetros que definen el nivel de acción preventiva (N_{acp}) son:

Entorno absoluto (E_{ab}), (parámetros básicos del riesgo):

- Probabilidad (P): estimación de la tolerancia del riesgo en cuanto a la probabilidad de que se produzca un daño.
- Consecuencias (C): estimación de la tolerancia del riesgo en cuanto a las consecuencias esperadas del daño que se puede llegar a producir.
- Riesgo Absoluto (R_{ab}): estimación que se realiza al inicio de la ejecución de la obra con el Plan de Seguridad y Salud Laboral redactado por la empresa constructora. Es el entorno documental con carácter absoluto y sirve de base comparativa para el resto de parámetros.

Entorno documental (E_d), (parámetros físicos y geométricos del riesgo):

- Riesgo Relativo (R_r): parámetro preventivo que interpreta la complejidad de la seguridad constructiva propia de la unidad de obra y que incrementa el valor del riesgo absoluto.
- Riesgo Frontera (R_f): parámetro preventivo que interpreta la ubicación de la unidad de obra y de su incidencia en el entorno, y que incrementa el valor del riesgo absoluto.

Entorno constructivo (E_c), (parámetros de los medios constructivos y humanos):

- Grado de Exposición (E): parámetro que evalúa la cantidad de tiempo que se emplea para completar la unidad de obra y que por ello se expone al riesgo varias veces durante el desarrollo de la unidad de obra, y que incrementa el valor del riesgo absoluto.
- Capacidad Económica (C_e): parámetro que evalúa la cantidad de medios económicos en los sistemas constructivos de prevención; y decremента el valor del riesgo absoluto.

Entorno social (E_s), (parámetros del nivel de satisfacción y participación):

- Importancia Relativa (I_r): parámetro que evalúa el interés participativo de los diferentes agentes intervinientes en una obra obteniendo la percepción sobre la seguridad y salud; y decremента el valor del riesgo absoluto.
- Nivel de Satisfacción (N_s): Parámetro que considera aspectos generales del comportamiento, estado de ánimo y la actitud humana que influyen, o pueden

influir, de manera determinante en la generación de riesgos; y decrementa el valor del riesgo absoluto.

La fórmula, define este nuevo método de evaluación de riesgos (Nivel de la Acción Preventiva), a partir del análisis de los entornos de una obra de construcción, y que determina el grado de peligrosidad en base a los parámetros de la probabilidad, las consecuencias, el riesgo relativo, el riesgo frontera y el grado de exposición al riesgo; en proporción directa. Junto con un criterio de justificación de la acción preventiva a partir de tres parámetros; la capacidad económica, el interés participativo y el nivel de satisfacción; en proporción inversa. Es la siguiente ecuación, denominada fórmula del Nivel de la Acción Preventiva:

$$N_{acp} = (P \cdot C) \cdot \left(R_r \cdot R_f \cdot E \cdot \frac{1}{C_e} \cdot \frac{1}{I_r} \cdot \frac{1}{N_s} \right) = (P \cdot C) \cdot \left(\frac{R_r \cdot R_f \cdot E}{C_e \cdot I_r \cdot N_s} \right) \quad (1)$$

A continuación, se pasa a dar justificación sobre los parámetros que se necesitan para el estudio de caso respecto al análisis del movimiento predictivo en base al entorno matemático: el Riesgo Frontera, el Grado de Exposición y el Nivel de Satisfacción.

EL RIESGO FRONTERA

Riesgo Frontera (R_f): parámetro preventivo que interpreta la ubicación de la unidad de obra y de su incidencia por el entorno, y que incrementa el valor del riesgo absoluto. En este parámetro se analizan dos puntos de vista, en base a la posibilidad de caída libre:

- La altura real que hay desde el plano de trabajo hasta el terreno. Este concepto es independiente de la cantidad de obra existente. La altura se mide en verdadera magnitud y la profundidad en valor absoluto.
- Ubicación del operario respecto a la situación de peligro teórica. Este concepto depende de la distancia teórica que hay desde el trabajador o los trabajadores hasta la situación de peligro. Cabe destacar que en las plataformas de trabajo (forjados) hay zonas seguras e inseguras. El valor característico se denomina Riesgo Frontera porque se identifica con la zona intermedia entre la zona segura y la zona insegura, que es la zona frontera.

Para una correcta interpretación de los valores que toma este parámetro, el esquema siguiente (figura 1), muestra los espacios de las diferentes zonas con su valor acotado. Estas zonas varían respecto a la altura o profundidad que tenga la edificación.

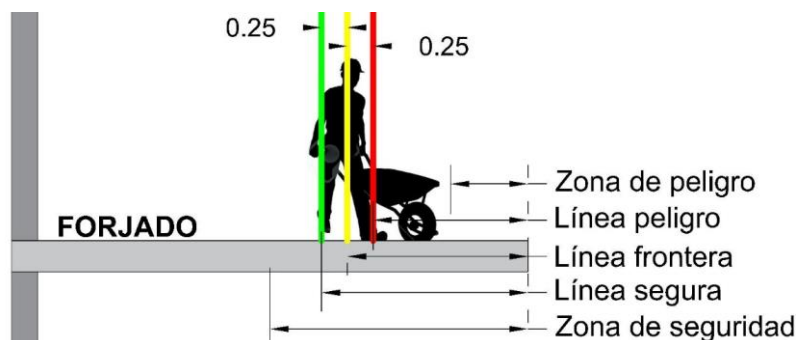


Figura 1. Ubicación de las líneas de seguridad, frontera y peligro en el trabajo.

Se han identificado seis niveles de frontera en altura y se han caracterizado cinco zonas fronteras en sus correspondientes plataformas de trabajo:

- Para una altura del plano de trabajo de hasta 1'0 m, la zona frontera se establece a 100 cm del peligro, y desde este punto son 25 cm hacia la zona segura y 25 cm hacia la zona insegura.
- Para una altura del plano de trabajo de hasta 3'0 m, la zona frontera se establece a 100 cm del peligro, y desde este punto son 25 cm hacia la zona segura y 25 cm hacia la zona insegura.
- Para una altura del plano de trabajo de hasta 5'0 m, la zona frontera se establece a 125 cm del peligro, y desde este punto son 25 cm hacia la zona segura y 25 cm hacia la zona insegura.
- Para una altura del plano de trabajo de hasta 9'0 m, la zona frontera se establece a 150 cm del peligro, y desde este punto son 25 cm hacia la zona segura y 25 cm hacia la zona insegura.
- Para una altura del plano de trabajo de hasta 15'0 m, la zona frontera se establece a 175 cm del peligro, y desde este punto son 25 cm hacia la zona segura y 25 cm hacia la zona insegura.
- Para una altura del plano de trabajo mayor a 15'0 m, la zona frontera se establece a 200 cm del peligro, y desde este punto son 25 cm hacia la zona segura y 25 cm hacia la zona insegura.

En el siguiente esquema (figura 2) se muestran las cotas de altura y las distancias a las zonas de peligro:

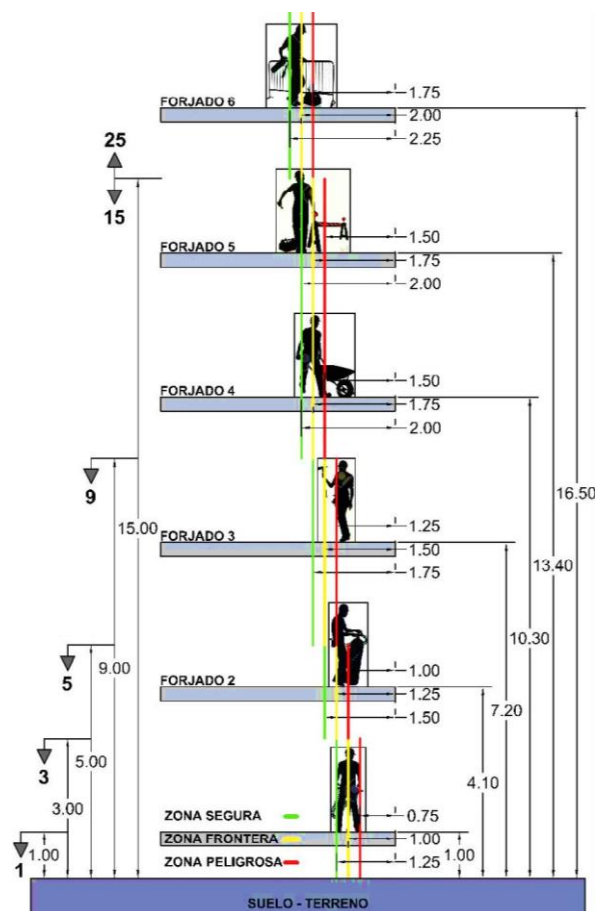


Figura 2. Esquema del riesgo frontera.

EL GRADO DE EXPOSICIÓN

Grado de Exposición (E): parámetro que evalúa la cantidad de tiempo que se emplea para completar la unidad de obra y que por ello el trabajador se expone al riesgo varias veces durante el desarrollo de la unidad de obra. Es un valor que incrementa el valor del riesgo absoluto. Este parámetro analiza no solo si, por observación técnica, el tiempo que se está empleando para la ejecución de la unidad de obra es demasiado rápido o demasiado lento, sino si el trabajador se expone a riesgos durante el desarrollo del propio trabajo y si el entorno hasta llegar al tajo de la unidad de obra conlleva riesgos añadidos. Los factores de exposición al riesgo con la escala de valor y su correspondiente valor característico son:

- Respecto a la observación para una intensidad de Exposición baja, en la condición de nunca, El operario no se expone a situación de riesgo en el tajo, no hay riesgos internos ni externos para llegar al tajo y el valor característico es 1. En la condición de raro, El operario se expone al riesgo de 1 a 2 veces en el tajo, durante la observación, no hay riesgos en la ejecución de la unidad de obra, pero sí hay riesgos bajos en los accesos, hay riesgos bajos en la ejecución de la unidad de obra y no hay riesgos en los accesos; y el valor característico es 3.
- Respecto a la observación para una intensidad de exposición media, en la condición de poco usual, El operario se expone al riesgo de 2 a 5 veces en el tajo, durante la observación, hay riesgos bajos en la ejecución de la unidad de obra y hay riesgos bajos en los accesos y el valor característico es 5. En la condición de ocasional, el operario se expone al riesgo más de 5 veces en el tajo, durante la observación, los riesgos durante la ejecución son altos y los riesgos en los accesos son bajos, (o los riesgos durante la ejecución son bajos y los riesgos en los accesos son altos); y el valor característico es 9.
- Respecto a la observación para una intensidad de exposición alta, en la condición de frecuente, el operario se mantiene expuesto intermitentemente al riesgo durante la observación, los riesgos durante la ejecución son altos y los riesgos en los accesos son altos y el valor característico es 15. En la condición de continua, el operario se mantiene expuesto al riesgo durante la ejecución de la unidad de obra, los riesgos durante la ejecución de obra son peligrosos y los riesgos de los accesos son peligrosos y el valor característico es 25.

La siguiente tabla de valores cualitativos y cuantitativos (tabla 1), ayuda a interpretar el valor característico de este parámetro:

Tabla 1: Tabla de valores para el grado de exposición.

Intensidad de la exposición			Número de veces que los operarios se exponen al peligro durante la observación	
			Durante la ejecución de la unidad de obra	En el entorno de obra y en los accesos
Alta	Continua	25	El operario se mantiene expuesto en el peligro	Riesgos internos y/o externos peligrosos
	Frecuente	15	El operario se mantiene intermitentemente expuesto	Hay riesgo alto interno y externo
Media	Ocasional	9	El operario está expuesto al peligro más de 5 veces	Hay riesgo altos interno y/o sí riesgo bajo externo
	Poco usual	5	El operario está expuesto al peligro de 2 a 5 veces	Hay riesgo bajo interno y externo
Baja	Rara	3	El operario está expuesto al peligro de 1 a 2 veces	No hay riesgo interno y/o sí riesgo bajo externo
	Nunca	1	El operario no se expone a la situación de peligro	No hay riesgos internos ni externos

EL NIVEL DE SATISFACCIÓN

Nivel de Satisfacción (N_s): Parámetro que considera aspectos generales del comportamiento, estado de ánimo y la actitud humana que influyen, o pueden influir, de manera determinante en la generación de riesgos; y decrementa el valor del riesgo absoluto. Este parámetro se realiza mediante una encuesta a pie de obra a todos los operarios que están participando en la obra. Las preguntas abarcan los criterios de percepción personal, percepción de la seguridad y percepción del entorno. Al tratarse de una encuesta es necesario que los operarios puedan interpretar con facilidad la relación de escalas de valores. Las respuestas del trabajador estarán dentro de la escala lineal del 1, 2, 3, 4, 5 y 6. En el trabajo de despacho para la evaluación se realizará la analogía hacia la escala de valores característicos. Todas las respuestas estarán apoyadas, así, para que sirva de ayuda para el trabajador se le ofrecerá un primer nivel de respuesta como es bajo, medio y alto. El segundo nivel de respuesta dependerá del primero, ya que al nivel bajo le corresponden los valores 1 y 2; al nivel medio 3 y 4; y al tercer nivel 5 y 6. Respecto a la percepción personal, dos conceptos fundamentales son necesarios para este apartado: El estrés y el estado de ánimo.

El estrés es un fenómeno muy habitual en la sociedad actual. Se realiza la distinción entre eustrés o estrés positivo (nivel óptimo de activación para realizar las actividades) que ejerce una función de protección del organismo y distrés o estrés negativo (nivel de activación del organismo excesivo o inadecuado) que provoca disfunciones en la persona. Por eso, el mejor hábito saludable es la prevención del estrés [25], ya que la carga emocional y mental que genera el trabajo tiene como consecuencias el burnout, la insatisfacción, la depresión, enfermedades inmunológicas, cardiovasculares, desorden estomacal, musculo-esquelético, el absentismo por enfermedad y la incapacidad laboral [26].

Los estados de ánimo hacen que el comportamiento humano alterne entre el eustrés y el distrés debidos a la tensión y al cansancio; afectando a la salud, alimentación, tiempo que dormimos, ejercicio físico y desarrollo diario [27]. Los estados de ánimo son de calma-energía (estado positivo) cuando una persona está trabajando y está concentrada, enérgica, pero tranquila y relajada. De calma-cansancio (sensaciones positivas), cuando cursa con sensaciones de cansancio, soñolencia, adormecimiento. De tensión-energía (no tan negativa), cuando las sensaciones son de energía, vivacidad y vigor, con sensaciones de tensión e inquietud. De tensión-cansancio (estado negativo), aparece cuando los recursos se han agotado: La fatiga que se mezcla con el nerviosismo, la tensión o la ansiedad produce un estado desagradable.

En base a estos dos conceptos fundamentales, la nueva fórmula matemática del método de evaluación de riesgos adaptado a obras de edificación, Nivel de la Acción Preventiva, desarrolla ambos conceptos y los integra en la curva de rendimiento del trabajador para la toma de datos de la percepción personal del entorno de una obra de construcción (figura 3). En este mismo esquema, se identifican diferentes estados de ánimo en cuatro categorías, que abarcan la calma, la energía, la tensión y el cansancio:

- Sentimiento de rendimiento para la tarea con estado de ánimo de desmotivación:
 - Apático. Valor 1
 - Aburrido. Valor 3
- Sentimiento de rendimiento para la tarea con estado de ánimo de alerta:
 - Motivado. Valor 5
 - Centrado. Valor 25

- Sentimiento de rendimiento para la tarea con estado de ánimo de ansiedad:
 - Animado. Valor 15
 - Excitado. Valor 9
- Sentimiento de rendimiento para la tarea con estado de ánimo de bloqueo:
 - Exhausto.
 - Burnout.

La sensación o comportamientos de fatiga, estar exhausto y burnout son reacciones adversas de salud, de bienestar individual y organizacional [17-25] que quedan fuera del rango de medida y son evidentes los problemas que ocasiona e incompatible con el desarrollo sano y seguro de un trabajo.

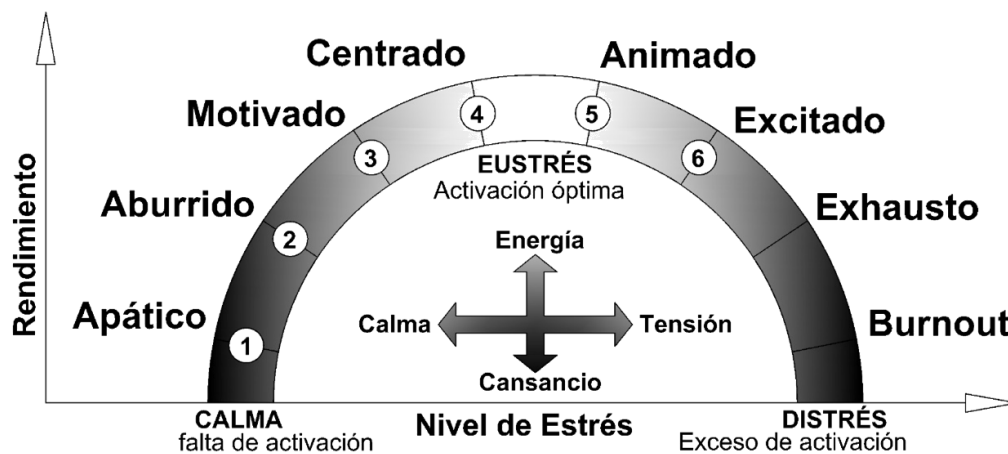


Figura 3. Curva de rendimiento y estados de ánimo.

COMPORTAMIENTO DE LOS TRABAJADORES

La bibliografía es amplia en este sentido. El estudio de las aglomeraciones de personas en actos multitudinarios, los movimientos de las masas y el estudio de la predicción de estos comportamientos. Desde un estudio con interacciones microscópicas se puede derivar a un modelo macroscópico, en el que las variables de los peatones son los obstáculos, la velocidad del obstáculo y el análisis de las trayectorias para evitar una colisión futura. El peatón observa cómo los obstáculos (otros peatones) varían su posición y su velocidad desde su campo visual. Para evitar colisiones el peatón varía su velocidad y su dirección. El modelo matemático que se obtiene determina la interacción de dos peatones en movimiento y que evitan su colisión [24].

Otros modelos de estudio interpretan, no sólo el movimiento o los flujos dinámicos de las personas, sino el contagio que se genera cuando existe el contacto entre dos individuos: el comportamiento de uno se traslada al comportamiento del otro. Muy similar a los comportamientos de enjambre [28]. Con el aumento del tamaño y la frecuencia de los eventos masivos, el estudio de los desastres de masas y la simulación de los flujos peatonales se han convertido en áreas de investigación importantes. Comprender la dinámica de la multitud a través de la heurística cognitiva no solo es crucial para una mejor preparación de eventos masivos seguros. También allana el camino para un modelo más realista de comportamientos sociales colectivos, en particular de multitudes humanas y enjambres biológicos. La heurística del comportamiento son procedimientos cognitivos rápidos y simples que se utilizan a menudo cuando las decisiones deben

tomarse bajo presión de tiempo o información abrumadora. La heurística del comportamiento ha explicado con éxito la toma de decisiones en una gran variedad de situaciones, como el comportamiento de inversión en los mercados de valores o el diagnóstico médico en situaciones de emergencia [29]. Es fundamental plantear la heurística sobre nuevos modelos de comportamiento humano colectivo, sobre cómo se va a proceder a la toma de decisiones grupales [30], sobre los patrones de actividades grupales específicas [31] o sobre las diferentes interacciones simultáneas entre múltiples individuos [32].

Este documento, plantea un caso teórico aplicado sobre el análisis predictivo de los comportamientos e interacciones entre los individuos que están trabajando sobre la plataforma del forjado de la primera planta. Los movimientos e interacciones están condicionados con parámetros que limitan dichos flujos. La cota del forjado de la planta primera supera los 3'0 metros por lo que el riesgo frontera indica que la zona de riesgo en el borde del forjado es de 1'50 metros (en el riesgo de caída de personas), y su valor característico es de 5. En el riesgo de caída de material sobre la persona, al ser la cota superior a 3'0 metros, la zona de peligro al borde es de 1'75 metros y ocupa todo el hueco (huecos de instalaciones, hueco de ascensor y hueco de escalera); su valor característico es de 9. El estado de ánimo (en el nivel de satisfacción) de la Dirección Facultativa es de Centrado, por lo que tiene un valor característico de 25. El del Coordinador de Seguridad y Salud, del Jefe de Obra y del Encargado es de excitado, y su valor característico es de 9. El de los obreros es de Animado y su valor característico es de 15. El plano que se muestran a continuación (figura 4), indica las zonas de peligro en el forjado de la planta primera en la fase de ejecución de cerramientos de fachada.

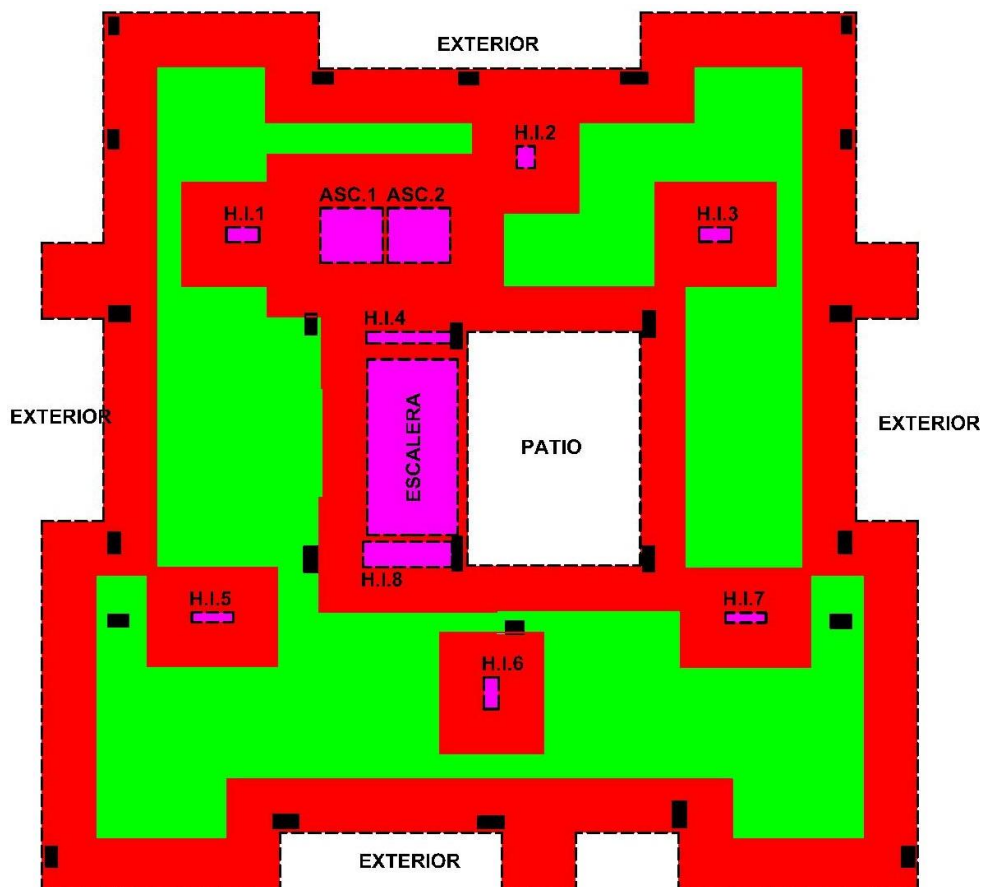


Figura 4. Zonas de riesgo en la planta de forjado.

En color rojo se muestran las zonas de peligro con un ancho de 1'50 metros hasta el borde del forjado (Riesgo Frontera). Las zonas magentas corresponden a los riesgos de caída de material sobre el operario y que generalmente están ubicadas en huecos de ascensor, huecos de instalaciones y huecos de escaleras. Las zonas verdes indican que los riesgos de caída de personas son mínimos y el control de acción preventiva es óptimo.

METODOLOGÍA

Para ello se toma un caso de estudio particular sobre la construcción teórica de un edificio de ocho plantas de altura con 41 viviendas, sobre rasante; con 62 plazas de aparcamiento y 47 trasteros, bajo rasante. El edificio es de tipología aislada, con volumen en altura (figura 5). Se toma como referencia de análisis para el comportamiento predictivo del movimiento humano (8 obreros, 1 encargado, 1 técnico de obra, 2 agentes de edificación y 1 Coordinador de Seguridad y Salud), que la estructura de hormigón armado del edificio está completada y se procede a la ejecución de los cerramientos de fachada de la planta primera. Y que en dicha planta se mueven estas trece personas.



Figura 5. Alzado del edificio y distribución de planta primera.

El estado de ánimo de los obreros suele caer un poco en esta fase; la estructura ya está terminada y comienzan a aumentar los niveles de estrés. Sin embargo, la Dirección Facultativa suele tener un estado de ánimo bueno; los riesgos de la estructura ya no están y la obra parece más segura. Por otro lado, el estado de ánimo del encargado, del jefe de obra y del Coordinador de Seguridad son peores... parece que los riesgos han desaparecido al término de la estructura y comienzan las prisas con la fecha de entrega. Esto hace que el estado de ánimo influya, y que la percepción del riesgo entre los obreros y agentes de edificación sea muy diferente [21].

El procedimiento que se plantea es diseñar el modelo matemático para analizar el movimiento que pueden tener los obreros y agentes de la edificación en el recinto de obra bajo las condiciones por riesgo de caída de personas y riesgo por caída de material. A su vez, se incorpora el parámetro de estado de ánimo en cada persona; ya que, dependiendo de la intensidad del estado emocional, puede contagiarse a los que están cerca. Cuando son de tipo positivo, motiva que los movimientos dentro del recinto sean más efectivos frente a los riesgos, consiguiendo que la percepción del riesgo mejore. Cuando son de tipo negativo, hace que los movimientos y la percepción del riesgo sea

menor; lo cual tiende a unos comportamientos inseguros [23]. La base matemática que se plantea dará pie a una serie de preguntas necesarias en el caso de estudio; para poder ampliar la investigación en la totalidad de la ejecución de la obra.

DISEÑO DEL MODELO MATEMÁTICO

En la metodología de evaluación de riesgos del Nivel De la Acción Preventiva [21], se ha establecido cómo el estado de ánimo afecta a la percepción del riesgo y por lo tanto a la actitud del trabajador frente a él. Vamos a tratar de estudiar este fenómeno en más detalle, teniendo en cuenta la influencia de los demás trabajadores en planta. Para ello, vamos a definir las siguientes variables:

- l_{qi} : estado emocional del trabajador i de la cuadrilla q .
- l_j : estado emocional del Jefe de obra.
- l_E : estado emocional del Encargado de obra.
- l_{DF} : estado emocional de la Dirección Facultativa.
- l_S : estado emocional del Coordinador de Seguridad.
- r_{qi} : riesgo asumido por el trabajador i de la cuadrilla q .
- r_j : riesgo asumido por el Jefe de obra.
- r_E : riesgo asumido por el Encargado de obra.
- r_{DF} : riesgo asumido por la Dirección Facultativa.
- r_S : riesgo asumido por el Coordinador de Seguridad.

Para simplificar el modelo, vamos a asumir que el estado de ánimo del encargado de obra, el jefe de obra, la dirección facultativa y el coordinador de seguridad no cambian. Sí vamos a permitir cambios en el estado de ánimo de un trabajador en una cuadrilla. Éste se verá afectado en mayor medida por el estado de ánimo que perciba en sus compañeros de cuadrilla y en menor medida, por el estado de ánimo general que perciba en la planta, tanto en las demás cuadrillas como en el encargado y en el jefe de obra. Además, el estrés debido a trabajar en una zona de riesgo de forma continuada, puede afectar también a su estado de ánimo. Podemos resumir estas consideraciones en las siguientes ecuaciones que modelan la variación del estado de ánimo de cada trabajador en respuesta al resto de individuos en la planta:

$$\frac{dl_{qi}}{dt} = A \frac{1}{4} \sum_{j \neq i} (l_{qj} - l_{qi}) + B \frac{1}{2} \sum_{k \neq q} (l_k - l_{qi}) + C \left(\frac{l_E + l_T}{2} - l_{qi} \right) + f(R, r_{iq}, t) \quad (2)$$

$$\frac{dl_E}{dt} = \frac{dl_T}{dt} = \frac{dl_{DF}}{dt} = \frac{dl_S}{dt} = 0 \quad (3)$$

donde $A + B + C = 1$ con $A > B > C$ y R es el nivel de riesgo característico asociado a una zona de trabajo. En una primera aproximación, podemos considerar que f es igual a cero.

Si ahora nos concentramos en la descripción del riesgo asumido, podemos partir de la ecuación 1, del nivel de acción preventiva. En este artículo nos queremos concentrar en una obra concreta, que se encuentra en un estado determinado, por lo que la mayoría de los factores que intervienen en la fórmula anterior se pueden considerar constantes,

lo que nos permite usar una expresión simplificada de la misma, que depende solo del estado de ánimo a través del nivel de satisfacción:

$$r_{qi} = N_{acp}(l_{qi}) = \frac{K}{N_s(l_{qi})} \quad (4)$$

Como antes, nuestro objetivo es dar una estimación más ajustada del riesgo asumido por el trabajador, al tener en cuenta la influencia de sus compañeros. Esta se produce en parte de forma indirecta, a través del efecto en su estado de ánimo, pero también de manera directa por imitación del riesgo asumido por los otros individuos. Se pueden incluir en este segundo tipo de influencia las indicaciones del Coordinador de Seguridad, interpretando estas como una percepción de nivel de acción preventiva óptimo en el coordinador. Esto nos proporcionaría una ecuación para la variación del riesgo asumido similar a la ecuación (2) para la variación del estado de ánimo. Sin embargo, la poca regularidad de N_s con respecto al estado de ánimo desaconseja este enfoque. En su lugar, podemos describir la variación del nivel de acción preventiva para un trabajador usando una formulación discreta con respecto al tiempo por medio de ecuaciones en diferencias. Si reescribimos (2) usando esta formulación obtenemos el sistema que servirá de base para nuestra heurística:

$$l_{qi}^* = l_{qi} + h \left[A \frac{1}{4} \sum_{j \neq i} (l_{qj} - l_{qi}) + B \frac{1}{2} \sum_{k \neq q} (l_k - l_{qi}) + C \left(\frac{l_E + l_T}{2} - l_{qi} \right) + f(R, r_{iq}, t) \right] \quad (5)$$

$$r_{qi}^* = \frac{K}{N_s(l_{qi})} + h \left[\frac{D}{8} \sum_{(k,j) \neq (q,i)} (r_{kj} - r_{qi}) + C \left(\frac{r_T + r_E + r_S}{3} - r_{qi} \right) \right] \quad (6)$$

$$r_T^* = \frac{K}{N_s(l_T)} + h \left[\left(\frac{r_E + r_S}{2} - r_{qi} \right) \right] \quad (7)$$

$$r_E^* = \frac{K}{N_s(l_E)} + h \left[(r_S - r_{qi}) \right] \quad (8)$$

En las ecuaciones (6) a (8) estamos suponiendo una jerarquía que afecta a la capacidad de influir en el nivel de acción preventiva de cada individuo.

Una vez establecido cómo un trabajador afronta el riesgo en el contexto que estamos modelando, podemos acoplar las ecuaciones (5) a (8) con ecuaciones que describan el movimiento de los trabajadores siguiendo trayectorias adecuadas a las tareas que han de realizar y evaluar la probabilidad de que un accidente se produzca en base a simulaciones.

Una ecuación típica para el movimiento se puede definir a partir de la variación de la posición como

$$\frac{dx_i}{dt} = \Gamma_i'(t) + \alpha(r_i) \sum_{i \neq j} \nabla U(x_i - x_j) + \sigma(r_i) \quad (9)$$

donde $\Gamma(t)$ es la trayectoria que debe seguir el trabajador i , $U(x_i - x_j)$ es un potencial de atracción-repulsión que describe la variación en la trayectoria debida a la interacción con otros trabajadores, ajustado por un coeficiente $\alpha(r_i)$ que permita tener en cuenta la percepción del riesgo del trabajador. Finalmente, $\sigma(r_i)$ es una perturbación aleatoria cuya intensidad depende del nivel de acción preventiva.

HEURÍSTICA DEL COMPORTAMIENTO Y LOS RIESGOS DE CONSTRUCCIÓN

El término “heurística” es un concepto amplio que aborda diferentes técnicas o métodos para poder solucionar una dificultad planteada. Nos indican Moussaïd, Helbing y Theraulaz [29] la importancia de los planteamientos heurísticos para poder predecir con mayor facilidad los movimientos de los individuos de manera individual y grupal.

El planteamiento de este documento propone introducir al método de evaluación de riesgos del Nivel de la Acción Preventiva la experiencia de sus autores tanto en el campo de la ejecución de obra como en el campo de la matemática predictiva. Para ello, se procede a plantear las preguntas que con tanta frecuencia se realizan, sobre todo, cuando existe una experiencia negativa con un accidente. En esos momentos es cuando se muestran todas las preguntas del ¿por qué...?

¿Por qué, generalmente, los obreros repiten y se contagian de los comportamientos más inseguros frente a los comportamientos seguros?

¿Los roles de mando se contagian de igual forma que los roles de los compañeros de trabajo?

¿Conocen los trabajadores y los agentes de edificación las zonas de peligro de una obra?

¿Los operarios son conscientes del riesgo que les rodea; y los Técnicos de obra?

¿Por qué la percepción del riesgo de un trabajador no es la misma que la de un técnico?

Ante una situación de estado de ánimo conflictivo, ¿saben los trabajadores cómo responder; se dejan contagiar?

¿Por qué no suelen realizarse o indicarse las zonas de paso seguras en una obra?

¿Los medios digitales pueden ayudar a la implementación de roles seguros?

¿Por qué la participación de los trabajadores y agentes de la edificación en materia de prevención suele ser tan baja?

Los trabajadores con excesos de confianza, falsa valentía, edad alta, con experiencia; si no participan en la prevención, ¿por qué se contagia?

Dentro de los principios heurísticos, se han establecido varias sugerencias de situaciones reales que suceden y se repiten en las obras de construcción. En base a las reglas heurísticas, las vías que se abren para dar solución a dichas sugerencias parten de un parámetro fundamental: la participación en materia de prevención a partir de la comunicación. Como estrategias heurísticas, los medios de que se disponen para enfocar las soluciones a las situaciones de riesgo en las obras conllevan una formación más amplia de los trabajadores y agentes de la edificación en materia de prevención; colaborando y participando de los conocimientos entre los diferentes individuos que coinciden en un tajo de trabajo [33].

CONCLUSIONES

El comportamiento de las multitudes, aunque es el resultado de comportamientos individuales, puede llevar a la formación de patrones a un nivel de mucha mayor escala. Estos patrones tienen una fuerte influencia en la eficiencia del flujo. Por lo tanto, es interesante entender cómo emergen espontáneamente en una multitud. Más generalmente, incluso en un flujo más homogéneo, es lo interesante de ser capaz de predecir el comportamiento global de la multitud a partir de las interacciones locales de los individuos [24]. El movimiento de las personas en diferentes flujos de movimientos, puede ser analizado para comprobar cómo se comportan la interacción de las líneas o trayectorias de cada uno de los peatones y en diferentes escenarios. En el caso de estudio, se analizan los flujos de los individuos en la plataforma de trabajo y la interacción entre ellos, tanto por su movimiento, como por el contagio de su estado de ánimo. Es motivo de un trabajo posterior el estudio de las diferentes fases del proceso de la ejecución de la obra en el que se mostrarán los valores obtenidos en aplicación del diseño matemático definido.

Se comprueba que los estados de ánimo influyen tanto en el movimiento del trabajador como en su percepción del riesgo. Los límites introducidos como variables fijas (borde de forjado, huecos de escaleras, pilares de la estructura, etc.) condicionan la toma de decisión del individuo y le hace repetir escenarios seguros o inseguros en base al número de contagios debidos a los comportamientos de otros.

La metodología de evaluación de riesgos del Nivel de la Acción Preventiva, evalúa el entorno documental (proyecto de obra), el entorno constructivo (gestión de obra) y el entorno social (clima de seguridad) del proceso edificatorio; en base a conceptos de parametrización del valor característico de la complejidad propia de la obra y de la percepción del entorno por los trabajadores, mediante criterios técnico-sociales. Con este estudio se incorpora un entorno conceptual basado en la matemática predictiva para poder determinar con modelos predictivos el movimiento y el comportamiento de los trabajadores en las obras de construcción.

Es fundamental aprender a observar a las personas, atendiendo a sus comportamientos y movimientos por el recinto de obra, desde los distintos entornos del proceso constructivo, en sus puestos de trabajo e identificar actos inseguros o deficientes, ya que la prevención de accidentes y gestión del riesgo es una prioridad social en la industria de la construcción.

Es esencial la participación de todos los agentes de la edificación y de los trabajadores para que se produzcan mejoras en los sistemas de prevención de las obras de construcción para conseguir empresas saludables dando valor a las personas.

REFERENCIAS

- [1] Carpio, A.J.; González, M.N. (2017). Critical analysis of risk assessment methods applied to construction works. *Revista de la Construcción*, 16 (1), 104-114. DOI: 10.7764/RDLC.16.1.104
- [2] Martin, T.L. (2004). *Project risk management in the Queensland engineering construction industry: a survey*. *International Journal of Project Management* 22 (1), 51-61.

- [3] Silva, S., Araújo, A., Costa, D., Meliá, J.L. (2013) *Safety climates in construction industry: understanding the role of construction sites and workgroups*. Open Journal of Safety Science and Technology, 3 (4), 80-86.
- [4] Martínez, M., Rubio, M., Gibb, A. (2010). *Prevention of design: effect of European Directives on construction workplace accidents*. Safety Science, 48 (2), 248-258.
- [5] He Zhi (1995). *Risk management for overseas construction projects*. International Journal of Project Management 13 (4), 231-237.
- [6] Haslam, R.A., et al. (2005). *Contributing factors in construction accidents*. Applied Ergonomics 36, 401-415.
- [7] Mohamed, S. (2009). *National culture and safe work behaviour of construction workers in Pakistan*. Safety Science 47, 29–35.
- [8] Neal, A., Griffin, M.A., Hart, P.M. (2000). *The impact of organizational climate on safety climate and individual behavior*. Safety Science 34, 99-109.
- [9] Rozenfeld, O., Sacks, R., Rosenfeld, Y. & Baun, H. (2010). *Construction job safety analysis*. Safety Science, 48 (4), 191-498.
- [10] Tixier, J, Dusserre, G, et al. (2002). *Review of 62 risk analysis methodologies of industrial plants*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. Vol.15, p. 291-303
- [11] Zhi, H. (1995). *Risk management for overseas construction projects*. International Journal of Project Management, 13 (4), 231-237
- [12] Forteza, F.J.; Sesé, A.; Carretero, J.M; (2014); *Herramienta global para la evaluación de obras de construcción*. Proceeding of the 15th International Conference on Occupational Risk Prevention; <http://www.orpconference.org>
- [13] Pinto, A, (2014). *QRAM a Qualitative Occupational Safety Risk Assessment Model for the construction industry that incorporate uncertainties by the use of fuzzy sets*. Safety Science. Vol.63, p.57-76. (DOI:10.1016/j.ssci.2013.10.019)
- [14] Zadeh, L.A., (1965). *Fuzzy sets*. Information and Control 8, 338–353.
- [15] Reyes, J.; San José, J.; Cuadrado, J.; Sancibrián, R. (2014). *Health & Safety Criteria For Determining The Sustainable Value Of Construction Projects*. Safety Science 62, 221-232
- [16] Sousa, V.; Almeida, N.M.; Dias, L.A. (2014). *Risk - based management of occupational safety and health in the construction industry – Part 1: Background knowledge*. Safety Science 66, 75-86
- [17] Salanova, M.; Gracia, E.; Lorente, L. (2007). *Estudio de riesgos psicosociales en trabajadores de la construcción*. Gestión Práctica de Riesgos Laborales, nº:44, p: 12, diciembre.
- [18] Úbeda de Mingo, P. (2002) *Espacio: Roles, ritos y valores entre los constructores de edificios*. Granada: Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Granada. ISBN: 84-607-6184-3.
- [19] Gomes de Oliveira, C. (2010) *Propuesta de una metodología integrada para la evaluación del riesgo profesional*. Tesis Doctoral. Universidad de León.

- [20] Claudino Véras, J. (2012) Método para la evaluación de riesgos laborales en obras de construcción de grandes viaductos. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Enginyeria de la Construcció. Barcelona.
- [21] Carpio, A.J. (2017). Nueva metodología de evaluación de riesgos laborales adaptada a obras de edificación: Nivel de la Acción Preventiva. (Tesis Doctoral), E.T.S. de Edificación (UPM). <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.47976>
- [22] Fine, W., & Kinney, W. (1971). Mathematical evaluation for controlling hazards. *Journal of Safety Research*, 3 (4), 157–166.
- [23] Rosado, J. (2010). Analysis of some diffusive and kinetic models in mathematical biology and physics. (Tesis Doctoral), Departamento de Matemáticas de la Universidad Autónoma de Barcelona. <http://hdl.handle.net/10803/3113>
- [24] Appert-Rolland, C., Cividini, J., Hilhorst, H.J., Degond, P. (2014) Pedestrian flows: from individuals to crowds. *Science Direct, Transportation Research Procedia* (2) 468–476
- [25] Prieto, M. (2006). Educar contra el estrés. *Sal Terrae* 94 (373-384)
- [26] Martín, P., Salanova, M. (2003). El estrés laboral, ¿Un concepto cajón-de-sastre? Proyecto social: *Revista de relaciones laborales*. 10-11, 167-185. ISSN 1133-3189.
- [27] Thayer, R.E. (1996). *The origin of everyday moods. Managing energy, tension and stress*. Oxford University Press, Inc. New York. ISBN 84-493-0530-6
- [28] Bertozzi, A., Rosado, J., Short, M., Wang, L. (2014) Contagion Shocks in One Dimension. *J Stat Phys* (2015) 158:647–664, DOI 10.1007/s10955-014-1019-6
- [29] Moussaïd, M., Helbing, D.; Theraulaz, G. (2011) How simple rules determine pedestrian behavior and crowd disasters. *PNAS* April 26, 2011 108 (17) 6884-6888; <https://doi.org/10.1073/pnas.1016507108>
- [30] Salganik MJ, Dodds PS, & Watts DJ (2006) Experimental study of inequality and unpredictability in an artificial cultural market. *Science* 311(5762):854-856.
- [31] Barabási A-L (2005) The origin of bursts and heavy tails in human dynamics. *Nature* 435:207-211.
- [32] Wu F & Huberman B (2007) Novelty and collective attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104(45):17599-17601.
- [33] "Heurística". *Significados.com*. Enlace: <https://www.significados.com/heuristica/>
Consultado: 27 de abril de 2019, 07:00 pm.