



TESIS DE GRADO
EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

**MÉTODO DE VISUALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE
RIESGOS PARA SISTEMATIZAR EL DISEÑO DE
ÁREAS PEATONALES INDUSTRIALES SEGURAS**

Autor: Leonardo Miguel Robiglio
Instituto Tecnológico de Buenos Aires

Director de Tesis: Dr. Josep Arnaldos Viger
Universidad Politécnica de Cataluña

Codirectora de Tesis: Ing. Mónica Lucioli
Instituto Tecnológico de Buenos Aires

2009

*A mis padres
y mi hermano*

DESCRIPTOR BIBLIOGRÁFICO

Esta tesis propone una nueva técnica sistemática para conseguir diseños de áreas peatonales industriales seguras a través de la visualización de riesgos con un gradiente de colores sobre un plano de planta e incorporando además la consideración del factor geográfico en el análisis. Esta metodología, llamada técnica del "Risk Layout", está creada teniendo especial consideración en lograr una herramienta de sencilla aplicación y clara presentación de resultados.

La concepción de un método que visualiza geográficamente los riesgos es un enfoque innovador que puede ayudar enormemente a conocer y registrar mejor los riesgos convencionales en plantas industriales, derivando en una mejor documentación y comunicación de la información y una mejor toma de decisiones.

Palabras clave: Risk Layout, Análisis de Riesgos, Risk Assessment, Matriz de Riesgos, Risk Matrix, walkway, Safety Through Design, GIS, Mapa de Riesgos, Risk Map.

DESCRIPTION

This thesis proposes a new systematic technique for achieving safety through design on industrial pedestrian areas by displaying risks with a color gradient on a layout and also incorporating the geographical factor in the analysis. This new methodology, called the "Risk Layout" technique, is created taking into consideration the requirements of a user friendly tool with clear displaying of results.

The design of a method to display risk geographically is an innovative approach that can greatly assist to better knowledge and record of conventional risks in manufacturing industries, leading to better documentation and communication of information and better decision making.

DESCRIPCIÓ

Aquesta tesi proposa una nova tècnica sistemàtica per aconseguir dissenys d'àrees industrials de vianants segures a través de la visualització de riscos amb un gradient de colors sobre un pla de planta i incorporant a més la consideració del factor geogràfic en l'anàlisi. Aquesta metodologia, anomenada tècnica del "Risk Layout", està creada tenint especial consideració en aconseguir una eina de senzilla aplicació i clara presentació de resultats

La concepció d'un mètode que visualitza geogràficament els riscos és un enfocament innovador que pot ajudar enormement a conèixer i registrar millor els riscos convencionals en plantes industrials, derivant en una millor documentació i comunicació de la informació i una millor presa de decisions.

RESUMEN

En los países industrializados las fábricas son uno de los ambientes de trabajo con mayor número de muertos y heridos por accidentes laborales. Del total de accidentados en actividad laboral, los accidentes en fábricas representan en Estados Unidos el 16,1%, en Japón el 23,7% y en España 25,1%. En Argentina también es un sector de alto impacto causando el 23,3% del total de accidentes laborales, lo que en 2007 representó 139.159 heridos y 167 muertos. [OIT, 2007].

Las estadísticas también muestran que toda persona es vulnerable a un accidente en una fábrica, sin importar si está en la línea de proceso o en un área peatonal, o si es operario o no [BLS, 2007]. La evolución de la automatización ha ido reemplazando al personal operativo expuesto al riesgo en la línea de proceso, pero las tareas que implican caminar la fábrica, como la tarea del inspector, actualmente están lejos de disminuir, y más aún, son cada vez más solicitadas por las prácticas de gestión. Por ello se hace necesario un nuevo enfoque en seguridad industrial que haga énfasis en considerar la totalidad de áreas donde lleguen personas, incluyendo áreas peatonales.

Para conseguir resultados óptimos y eliminar subjetividades la ingeniería siempre ha buscado sistematizar las etapas de diseño, sin embargo actualmente no se dispone de una técnica sistemática para el diseño seguro de áreas peatonales industriales.

Además, las metodologías disponibles de evaluación de riesgos convencionales, tanto para puestos de línea como demás áreas peatonales, no toman en consideración el factor geográfico del riesgo. Esta tesis demuestra que esto conduce a una deficiente toma de decisiones de seguridad al no considerar que ocurre cuando impacta más de un riesgo en un lugar.

Frente a estas problemáticas, esta tesis propone una nueva técnica sistemática para conseguir diseños de áreas peatonales industriales seguras a través de la visualización de riesgos con un gradiente de colores sobre un plano de planta e incorporando además la consideración del factor geográfico en el análisis. Esta metodología, llamada técnica del "Risk Layout", está creada teniendo especial consideración en lograr una herramienta de sencilla aplicación y clara presentación de resultados.

Aunque la técnica consiga el objetivo ser de aplicación simple para el usuario, el presente trabajo presta especial atención en su validación a través de un desarrollo con profundos fundamentos conceptuales en temas de seguridad y sistemas geográficos de información. Finalmente, se verifica el funcionamiento del método con la creación de un completo software experimental específico a partir de la base teórica diseñada.

La concepción de un método que visualiza geográficamente los riesgos es un enfoque innovador que puede ayudar enormemente a conocer y registrar mejor los riesgos convencionales en plantas industriales, derivando en una mejor documentación y comunicación de la información y una mejor toma de decisiones.

ABSTRACT

In industrialized countries, factories are one of the work environments with the highest cases of deaths and injuries from work-related accidents. In the U.S., accidents in manufacturing industries are 16.1% of total occupational accidents and this accounted for 186,760 cases of injury and 363 deaths in 2007 (excluding violent acts) [BLS, 2007]. In other countries figures are even higher. In UK the percentage of accidents in manufacturing industries over total work-related accidents accounts for 19%, in Argentina accounts for 23.3%, in Japan it is 25.1% and in Italy 28.6% [ILO, 2007].

Statistics also show that everyone is vulnerable to factory mishaps; no matter the location is the process line or a walkway, or whether the person is an operator is or not [BLS, 2007]. The evolution of automation has been replacing the operational staff in risky process line jobs. But tasks that involve walking the factory (i.e. inspection) are now far from decreasing, moreover, are increasingly being requested by management practices. Therefore, it is necessary a new approach on industrial safety that emphasizes the consideration of all areas where people reach, including all pedestrian pathway areas.

Engineers always try to systematize the design stages to get optimum results and to eliminate a subjective design. However, currently there is no systematic technique for achieving safe design on industrial pedestrian areas.

Besides, the available methodologies for assessing conventional risks, either in process line tasks or other pedestrian areas, do not take into account the geographical factor of risk. This thesis demonstrates that this leads into to poor decision making due to disregarding the effect of the impact of more than one risk at a location.

To cope with all these issues, this thesis proposes a new systematic technique for achieving safety through design on industrial pedestrian areas by displaying risks with a color gradient on a layout and also incorporating the geographical factor in the analysis. This new methodology, called the "Risk Layout" technique, is created taking into consideration the requirements of a user friendly tool with clear displaying of results.

Even though the technique accomplishes to be so simple for the final user, this thesis pays special attention in validation through the development of a deep theory basis regarding security issues and Geographical Information Systems. Finally, the performance of the complete method is verified through the creation of experimental specific software.

The design of a method to display risk geographically is an innovative approach that can greatly assist to better knowledge and record of conventional risks in manufacturing industries, leading to better documentation and communication of information and better decision making.

RESUM

En els països industrialitzats les fàbriques són un dels ambients de treball amb major nombre de morts i ferits per accidents laborals. Del total d'accidentats en activitat laboral, els accidents en fàbriques representen als Estats Units el 16,1%, al Japó el 23,7% i a l'Argentina 23,3%. A Espanya també és un sector d'alt impacte causant el 25,1% del total d'accidents laborals, el que el 2007 va representar 231.889 ferits i 84 morts. [OIT, 2007].

Les estadístiques també mostren que tota persona és vulnerable a un accident en una fàbrica, sense importar si està en la línia de procés o en una àrea de vianants, o si és operari o no [BLS, 2007]. L'evolució de l'automatització ha anat reemplaçant al personal operatiu exposat al risc en la línia de procés, però les tasques que impliquen caminar per la fàbrica, com la tasca de l'inspector, actualment estan lluny de disminuir, i més encara, són cada vegada més sol·licitades per les pràctiques de gestió. Per això es fa necessari un nou enfocament en seguretat industrial que faci èmfasi en considerar la totalitat d'àrees on arribin persones, incloent àrees de vianants.

Per aconseguir resultats òptims i eliminar subjectivitats l'enginyeria sempre ha buscat sistematitzar les etapes de disseny, però actualment no es disposa d'una tècnica sistemàtica per al disseny segur d'àrees de vianants industrials.

A més, les metodologies disponibles d'avaluació de riscos convencionals, tant per a llocs de línia com altres àrees de vianants, no prenen en consideració el factor geogràfic del risc. Aquesta tesi demostra que això condueix a una deficient presa de decisions de seguretat en no considerar que passa quan impacta més d'un risc en un lloc.

Davant aquestes problemàtiques, aquesta tesi proposa una nova tècnica sistemàtica per aconseguir dissenys d'àrees industrials de vianants segures a través de la visualització de riscos amb un gradient de colors sobre un pla de planta i incorporant a més la consideració del factor geogràfic en l'anàlisi. Aquesta metodologia, anomenada tècnica del "Risk Layout", està creada tenint especial consideració en aconseguir una eina de senzilla aplicació i clara presentació de resultats.

Encara que la tècnica pugui ser d'aplicació simple, el present treball presta especial atenció en la seva validació a través d'una profunda base teòrica en temes de seguretat i sistemes geogràfics d'informació. Finalment, es verifica el funcionament del mètode amb la creació d'un programari experimental específic a partir de la base conceptual.

La concepció d'un mètode que visualitza geogràficament els riscos és un enfocament innovador que pot ajudar enormement a conèixer i registrar millor els riscos convencionals en plantes industrials, derivant en una millor documentació i comunicació de la informació i una millor presa de decisions.

AGRADECIMIENTOS

Ante todo, desde ya el mayor agradecimiento es a mis padres.

Agradezco especialmente al Dr. Josep Arnaldos por guiarme con su experiencia, por su gran disposición a ayudarme en todo momento y por tantos valiosos comentarios y consejos.

Al Dr. Joaquim Casal y la Dra. Eulàlia Planas por haberme dado la oportunidad de realizar mi proyecto en el Centro de Estudios del Riesgo Tecnológico de la UPC.

A la Ing. Mónica Lucioli por haberme ayudado con el esfuerzo adicional de llevar una cotutoría a la distancia.

TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 PRÓLOGO.....	1
1.2 IMPORTANCIA	2
1.3 OBJETIVO	3
1.4 ESTRUCTURA DE LA TESIS.....	3
2. ESTADO DE LA CUESTIÓN	4
2.1 GIS: GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS.....	4
2.1.1 Definición de GIS.....	4
2.1.2 Funcionamiento de los GIS	4
2.1.3 Representación de los datos en los GIS.....	5
2.1.4 Actuales áreas de aplicación de los GIS.....	6
2.1.5 Antecedentes de aplicación de GIS a riesgos.	9
2.1.5.1 Aplicación de GIS a criminología	9
2.1.5.2 Aplicación de GIS a incendios forestales	12
2.1.6 Antecedentes de aplicación de GIS a plantas industriales.....	13
2.1.7 GIS software.....	14
2.2 RIESGOS INDUSTRIALES.....	15
2.2.1 Concepto de Seguridad de Sistemas (System Safety)	15
2.2.2 Identificación de peligros	15
2.2.2.1 Antecedente de técnica de identificación de riesgos basada en la actividad (task-based) – Técnica Job Hazard Analysis	18
2.2.3 Evaluación de riesgos	18
2.2.3.1 Definición e Índice de Riesgo.....	18
2.2.3.2 Riesgo Individual.....	19
2.2.3.3 Criterio de tolerabilidad del riesgo	19

2.2.3.4	Categorías de riesgos.....	20
2.2.3.5	Tipos de evaluación de riesgo	20
2.2.3.6	Matrices de evaluación de riesgo	21
2.2.3.7	Consideraciones prácticas en la utilización de matrices de riesgo.....	24
2.2.3.8	Limitaciones en la utilización de matrices de riesgo.....	24
2.2.3.9	Consideraciones teóricas en la utilización de matrices de riesgo.....	25
2.2.4	Antecedentes de evaluación de riesgo con componente geográfica.....	26
2.2.5	Razones por las cuales los conceptos de “Seguridad de Sistemas” no han sido extensamente adoptados en la industria en general	27
2.3	DISEÑO DE ÁREAS DE CIRCULACIÓN PEATONAL SEGURAS EN INSTALACIONES INDUSTRIALES	28
2.3.1	Orden de precedencia del diseño seguro.....	28
2.3.2	“Seguridad a través del diseño” (“Safety Through Design”).....	29
2.3.3	Condiciones de diseño estándar de senderos industriales seguros..	30
3.	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	31
3.1	PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	31
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	31
4.	SOLUCIÓN PROPUESTA.....	33
4.1	HERRAMIENTA PROPUESTA: “RISK LAYOUT”	33
4.1.1	Síntesis explicativa de la concepción de la herramienta	33
4.1.2	Diseño de la base teórica de la herramienta.....	35
4.1.2.1	Elección del modo de valorar el riesgo de un peligro particular en una ubicación geográfica	35
4.1.2.1.1	<i>Diseño de las categorías de probabilidad y severidad</i>	37
4.1.2.1.2	<i>Matriz de riesgo propuesta</i>	40
4.1.2.2	Cálculo del nivel de riesgo total en una ubicación geográfica.....	41
4.1.2.3	Diseño de la indicación visual de los niveles de riesgo ...	42
4.1.2.4	Elección de la resolución del raster.....	44
4.1.2.5	Elección del valor representativo del área de la celda raster.....	44

4.1.2.6	Consideraciones respecto del nivel de riesgo tolerable ...	45
4.1.2.7	Diseño del procedimiento práctico de uso de la herramienta	46
5.	VALIDACIÓN DEL MÉTODO.....	51
5.1	CREACIÓN DE APLICACIÓN INFORMÁTICA CON LAS PAUTAS DE LA BASE TEÓRICA	51
5.1.1	Alcance y límites de la aplicación informática y elección del modo de creación.	51
5.1.2	Objetivos específicos de la aplicación informática	52
5.1.3	Creación de la aplicación informática	53
5.2	VERIFICACIONES DEL MÉTODO	56
5.2.1	Verificación teórica	56
5.2.2	Verificación práctica.....	58
5.2.2.1	Ejemplo de las mejores apreciaciones por la incorporación del factor geográfico – Caso del amolado de piezas de fundición	59
5.2.2.2	Ejemplo de la ayuda proporcionada en la visión geográfica de los riesgos para facilitar la toma de decisiones.....	61
5.2.2.3	Resultado del procedimiento de aplicación de la aplicación informática.....	63
5.2.2.4	Dependencia de la industria de aplicación.....	64
6.	CONCLUSIONES	65
7.	FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	67
8.	BIBLIOGRAFIA	69
	ANEXOS	77
	ANEXO A: MATRIZ DE RIESGO NORMA ANSI B11.TR3	77
	ANEXO B: CHECKLISTS (LISTADOS DE CONTROL)	78
	ANEXO C: CÓDIGOS DE PROGRAMACIÓN EN VISUAL BASIC.....	82

1. INTRODUCCIÓN

1.1 PRÓLOGO

Teniendo en cuenta que “el diseño es tanto un arte como una ciencia” [Margolin, 1989] la ingeniería siempre ha buscado sistematizar las etapas de diseño para eliminar subjetividades y conseguir el objetivo funcional requerido en cada caso.

Por ejemplo, en el diseño de plantas industriales existen diversos métodos sistemáticos para el diseño óptimo de la disposición de planta (layout), líneas de producción, almacenes, redes logísticas [Muther & Associates, 2007], tal como el reconocido SLP (Systematic Layout Planning) [Muther, 1973], un método para ubicar las áreas de una planta en función de requerimientos de proximidad.

En cuanto al diseño por requerimientos de seguridad en plantas industriales, se puede mencionar que, para el caso del puesto de trabajo seguro, es el estudio de la ergonomía el que ha desarrollado diversidad de herramientas y métodos para el proceso de diseño. En este campo la tendencia ha dado una gran evolución de diversas técnicas de diseño asistidas por computador denominadas Man-Modelling CADs [Wilson & Corlett, 2005].

En una planta industrial el puesto del trabajador en la línea de proceso no es el único expuesto al peligro; el peatón en las áreas de circulación atraviesa también diversidad de riesgos. Actualmente, para el diseño de estas áreas el ingeniero debe tener en consideración normas que regulan la prevención de accidentes en el trabajo, como las OSHA [OSHA, 2007], y las correcciones de los resultados generados de la aplicación de técnicas de evaluación de riesgos laborales [Casal *et al.*, 1999; Vincoli, 2006; Rubio, 2004; Martínez, 2007]. Pero, aunque la tendencia del mundo de la seguridad indique que los más grandes logros respecto de la seguridad se consiguen desde el proceso del diseño, siendo anticipativo y no reactivo [Manuele, 2003; Institute for Safety Through Design, 2001], no existen métodos sistemáticos que determinen el trazado óptimo de las áreas de circulación peatonal seguras en una planta industrial.

Debido a que las áreas de circulación se caracterizan por atravesar diversidad de riesgos en un espacio, para el desarrollo de un método sistemático que guíe en la toma de decisiones del diseñador la presente tesis toma como antecedente los buenos resultados que ha dado la fusión de los GIS (Geographical Information Systems) con la evaluación de riesgos relacionados con factores ambientales [Mitchell, 1999], crímenes [Boba, 2005] o salud pública [Cromley & McLafferty, 2002], entre otros.

1.2 IMPORTANCIA

En los países industrializados las fábricas son uno de los ambientes de trabajo con mayor número de muertos y heridos por accidentes laborales. Del total de accidentados en actividad laboral, los accidentes en fábricas representan en Estados Unidos el 16,1%, en Japón el 23,7%, en España el 25,1%, en Alemania 24,4%, en Italia el 28,7%. En Argentina también es un sector de alto impacto causando el 23,3% del total de accidentes laborales, lo que en 2007 representó 139.159 heridos y 167 muertos. [OIT, 2007].

Los accidentes en fábricas ocurren tanto a personal productivo como no productivo y se dan tanto en el puesto operativo como en otras áreas a las que puede acceder una persona [BLS, 2007]. No cabe duda de que cualquier contribución a la seguridad de las personas se justifica por más mínima que sea, pero un aporte a favor de la seguridad de las áreas peatonales generales de una planta tiene especial relevancia. La evolución de la automatización ha ido reemplazando al operario de la línea de proceso [Leggatt, 1985], sin embargo las tareas que implican caminar por la fábrica, como la tarea del inspector, están lejos de disminuir, y más aún, son cada vez más solicitadas por las prácticas de gestión.

Un caso de esto es el del área de calidad: “detrás de los anuncios de sus gurús [Deming, 1986; Crosby, 1984; Juran & Godfrey, 1999] el componente fundamental han sido los planes de inspección” [Mawby, 2006]. Otro caso aún más representativo es el de la gestión del mantenimiento con sus requerimientos de Inspección General [Suzuki, 1994]. Los programas de mantenimiento como TPM (Total Productive Maintenance) se basan en la inspección [Wireman, 1992] y esta necesidad se va a mantener incluso en un futuro: “la inspección se hace aún más relevante al automatizar y minimizar el número de operarios ya que el mantenimiento periódico y reparación que el empleado podía hacer por sí mismo se ve limitado y porque a largo plazo se hace foco en que los programas maduros de TPM mejoren hasta consistir únicamente de inspecciones” [Suzuki, 1994].

El caso del uso que le da el inspector a las áreas de circulación peatonal es uno de los más representativos de los riesgos que existen en estas zonas de la disposición de planta, ya que su tarea implica no sólo trasladarse sino también detenerse allí para poder realizar la inspección al lado del elemento (máquina, estructura, etc.) que se desea observar. Por lo tanto, el diseño del camino no sólo se trata de circulación sino también de compatibilidad con las tareas que se realizan allí. Hay que tener en cuenta que aparte de los inspectores de cada área (calidad, mantenimiento, producto, proceso, etc.) existen aún más personas que hacen uso de las zonas de circulación; a modo general se puede mencionar: auditoria (medio ambiente, higiene y seguridad), limpieza, servicios contratados, visitas en general, entre otros. Cabe aclarar que la peligrosidad en casi todos estos casos radica fundamentalmente en que todas estas personas caminan por la

planta con las máquinas en marcha, a diferencia del personal de obra en paradas de mantenimiento.

1.3 OBJETIVO

En este contexto la presente tesis pretende:

- ▶ Desarrollar un método sistemático que asista al ingeniero como una herramienta más en el proceso de diseño de áreas de circulación peatonal en una planta industrial para que se alcance la óptima funcionalidad priorizando la seguridad como criterio de éxito.
- ▶ Complementar el objetivo anterior con la creación de una aplicación informática sencilla que sirva para explicar, experimentar y darle vida al método pudiendo realizar aplicaciones a casos ejemplo.

1.4 ESTRUCTURA DE LA TESIS

Para conseguir estos objetivos se desarrolla la presente tesis cuya estructura consiste en:

- ▶ Un análisis de la literatura relacionada más avanzada en sistemas geográficos de información, riesgos industriales y diseño de áreas de circulación peatonal industriales (Capítulo 2).
- ▶ A partir del análisis bibliográfico se identifican los actuales problemas específicos y en base a estos se formulan objetivos concretos a cumplir (Capítulo 3).
- ▶ Según los objetivos específicos se propone una solución y esta se diseña desde el punto de vista teórico (Capítulo 4).
- ▶ Se crea una aplicación informática a partir del diseño teórico y se valida la solución propuesta diseñada (Capítulo 5).

2. ESTADO DE LA CUESTIÓN

2.1 GIS: GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS

2.1.1 DEFINICIÓN DE GIS

“Aunque los mapas han sido utilizados por miles de años, fue durante los últimos 35 años que mapas, gráficos y bases de datos se han podido combinar con computadoras para crear sistemas de información geográfica.” [Inforain, 2009]

De allí surgieron los GIS, “sistemas que integran hardware, software y datos para alojar, manejar, analizar y mostrar toda forma de información con referencia geográfica” [USGS, 2007].

2.1.2 FUNCIONAMIENTO DE LOS GIS

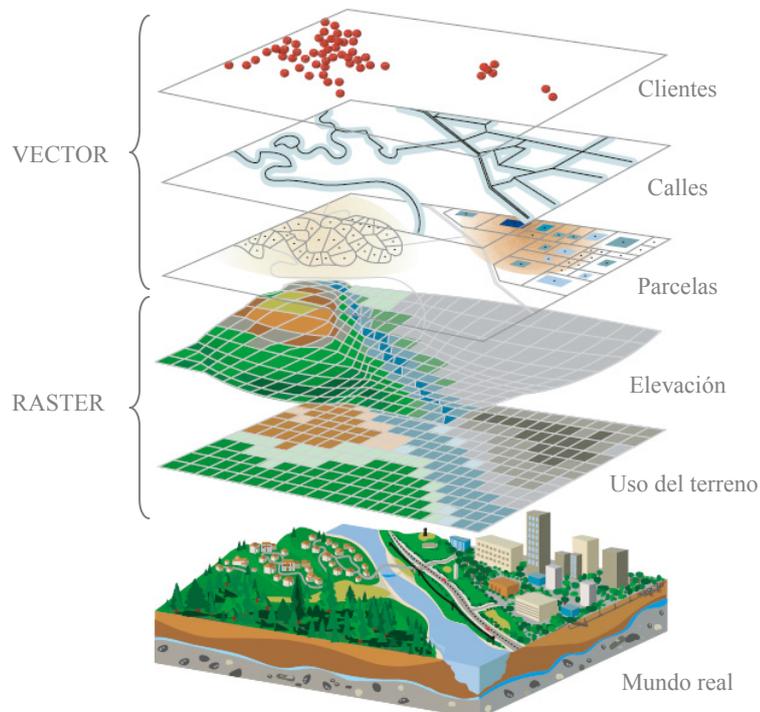


Figura 2.1. Esquema de múltiples capas de diversos contenidos temáticos. Fuente: [ESRI, 2009a]

Los GIS vinculan ubicaciones en lugares de la superficie del planeta (por ejemplo ciudades) con información que describe los atributos de esos lugares (como puede ser el número de habitantes). La información se “georeferencia” a ubicaciones específicas utilizando coordenadas reales de latitud y longitud. Esta información se almacena en mapas de capas temáticas (en inglés llamados “layers”) cada uno con un contenido de una temática específica, por ejemplo: pueblos, rutas, nidos de águilas, picos de montaña, etc. Múltiples capas pueden superponerse en un mismo mapa para mostrar el modo en que cada contenido específico se relaciona geográficamente con los demás [Inforain, 2009]. En la figura 2.1 se ilustra esquemáticamente un ejemplo explicativo de la superposición de capas.

2.1.3 REPRESENTACIÓN DE LOS DATOS EN LOS GIS

Los fenómenos geográficos pueden observarse de dos modos [Shekhar & Xiong, 2008]:

- ▶ **Discreto:** son usualmente objetos que se pueden reconocer directamente por la existencia de límites geométricos con otros objetos (rutas, lagos, edificios).
- ▶ **Continuo:** por lo general no tienen límites observables y varían continuamente sobre el espacio (temperatura, calidad de aire).

La información de los fenómenos discretos y la de los fenómenos continuos usualmente se usan de diferente modo y las operaciones efectuadas sobre datos de estas dos categorías de información por lo general también son diferentes. Por ello, en la práctica son diferentes los métodos para describir estos dos tipos de información (diseño de la estructura de los datos, modo de codificarlos, modo de introducirlos) así como los métodos de procesamiento y análisis aplicados en cada caso. [Shekhar & Xiong, 2008].

En relación a los dos tipos de fenómenos es que tradicionalmente los GIS utilizan dos métodos de representación de los datos:

- ▶ **Vector:** a los fenómenos discretos se los relaciona con los datos del tipo “vector”. En este caso el significado de la palabra vector debe entenderse como el de “gráfico vector” en la ciencia computacional: formato de imagen computacional compuesta por formas definidas mediante ecuaciones matemáticas [Encyclopedia Britannica, 2009].

En relación a los GIS los modelos vector son entonces información representada geográficamente por formas como puntos, líneas y polígonos con referencias mediante coordenadas. Cada punto se representa como un simple par de coordenadas, mientras que las líneas y los polígonos se representan como una lista ordenada de pares de coordenadas [Shekhar & Xiong, 2008].

- ▶ **Raster:** los fenómenos continuos se representan mediante información raster. El uso de esta palabra proviene de su significado en inglés: arreglo de celdas

(píxeles), todas de igual tamaño, formando un grilla para representar imágenes [Encyclopedia Britannica, 2009].

En los raster de los GIS cada celda contiene un atributo y una coordenada, pero en este caso la coordenada es referida al ordenamiento de la propia matriz. En un raster la información no es continua sino dividida en unidades discretas, lo que lo hace particularmente apto para representar información en análisis espaciales como áreas o capas. Grupos de celdas con mismos valores de atributo estarían representando la misma característica geográfica.

Una base de datos raster presenta una imagen similar a la realidad en la que cada celda posee de algún modo la información promedio sobre el área de la celda. El tamaño de la celda (km^2 , mm^2) definiría entonces la precisión en la definición de la información representada [Shekhar & Xiong, 2008].

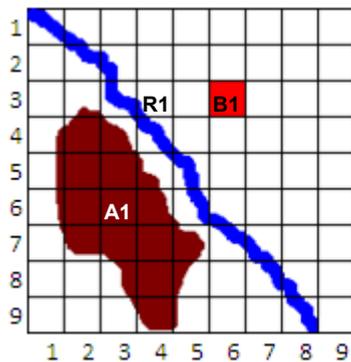


Figura 2.2a. Imagen aérea

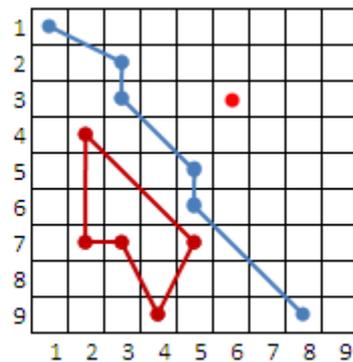


Figura 2.2b. Representación vector

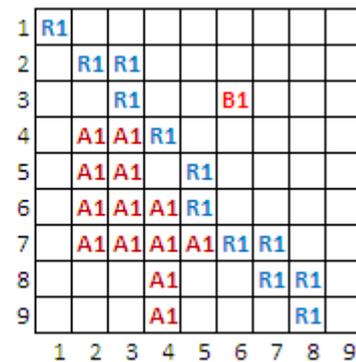


Figura 2.2c. Representación raster

En la figura 2.2 se ilustra un ejemplo de representación vector y representación raster de la misma información [Shekhar & Xiong, 2008].

La figura 2.1 ejemplifica esquemáticamente la superposición de capas vector con capas raster mostrando diversas aplicaciones usuales de cada método de representación según sea el caso del tipo de información.

2.1.4 ACTUALES ÁREAS DE APLICACIÓN DE LOS GIS

Los GIS han evolucionado hacia una tecnología que actualmente tiene gran diversidad de aplicaciones. A continuación se listan áreas de gran difusión con probada efectividad de resultados y algunos ejemplos de aplicación en cada caso [ESRI, 2009b; Mansell *et al.*, 2009]:

► **Arquitectura e Ingeniería de la Construcción**

- ▷ **Ingeniería Civil:** trazado óptimo de una autopista [Schuurman, 2004].

- ▷ **Peritajes:** estudios del terreno.
- ▷ **Aguas:** evaluación de calidad del agua y administración del recurso.
- ▶ **Negocios**
 - ▷ **Seguros:** identificación de riesgos (casas en zonas de inundación o incendios).
 - ▷ **Agentes inmobiliarios:** ubicación de propiedades según criterio de búsqueda.
 - ▷ **Bancos y servicios financieros:** análisis demográfico del cliente para mejorar los servicios.
 - ▷ **Facilities Managment (Gerencia de instalaciones):** reubicación de operaciones, optimización de rutas entre las distintas instalaciones.
 - ▷ **Medios de Comunicación:** brindar infografías con mapas para una mejor comunicación de la información.
 - ▷ **Venta al público y franquicias:** ubicación de locales.
 - ▷ **Marketing:** ubicación de clientes potenciales.
- ▶ **Defensa e Inteligencia**
 - ▷ **Milicias:** movimiento de tropas.
- ▶ **Educación**
 - ▷ **Bibliotecas y museos:** organización, análisis y presentación de información.
 - ▷ **Escuelas y universidades:** mejor explicación de contenidos con relación a ubicaciones geográficas.
- ▶ **Gobierno**
 - ▷ **Gobierno nacional, provincial o local:** identificación de problemas, respuestas inteligentes y exposición de los resultados al público.
 - ▷ **Desarrollo económico:** contribución al desarrollo económico facilitando acceso a datos de infraestructura, negocios, demografía, economía y recursos humanos vía internet.
 - ▷ **Campañas electorales:** acceso a encuestas las 24hs al día, análisis de resultados de votación.
 - ▷ **Registro de propiedad:** archivo y administración de tierras y propiedades.
 - ▷ **Mapeo nacional:** topografía, hidrografía, aeronáutica, cartografía.
 - ▷ **Obras públicas:** planeamiento, gerencia y priorización de transporte, rutas, infraestructura.
 - ▷ **Planeamiento urbano y regional:** organización de información espacial de parcelas, tipos de zonas, uso del terreno, direcciones, redes de transporte y áreas residenciales.

- ▷ **Estadísticas:** censos de población [UK National Statistics, 2003].
- ▶ **Salud**
 - ▷ **Servicios:** planeamiento de servicios y evaluación de impacto en la salud.
 - ▷ **Epidemiología:** para vincular grupos de enfermos con la fuente causal.
- ▶ **Recursos Naturales**
 - ▷ **Ciencias forestales:** inventario y administración de recursos.
 - ▷ **Agricultura:** análisis del rendimiento de los cultivos.
 - ▷ **Arqueología:** descubrimiento y preservación de sitios arqueológicos.
 - ▷ **Cuevas y estratificación del suelo:** revelamiento de información geográfica y visualización de las capas de estratos.
 - ▷ **Conservación de vida silvestre:** monitoreo de hábitats, seguimiento de vida salvaje, predicción de impacto de futuros usos de tierras y recursos.
 - ▷ **Agencias ambientales:** identificación de áreas de riesgo (inundación, tornados), análisis de contaminación ambiental.
 - ▷ **Recursos marinos y costas:** cartas náuticas.
 - ▷ **Minería:** exploración de yacimientos.
 - ▷ **Petróleo:** gerencia de barcos y oleoductos, exploración de yacimientos.
 - ▷ **Aguas:** evaluación de calidad del agua y administración del recurso.
- ▶ **Seguridad pública**
 - ▷ **Departamentos de emergencia** (bomberos, ambulancias): plan de ruta rápida.
 - ▷ **Despacho automático:** los GIS forman parte de la aplicación computarizada de envío automático de servicios de emergencia (por ejemplo servicio 911 de Estados Unidos de América).
 - ▷ **Criminología:** los mapas criminales son unos de los usos más difundidos de GIS.
 - ▷ **Policía:** asignación de recursos por zonas.
 - ▷ **Seguridad del territorio nacional:** administración de fronteras.
 - ▷ **Incendios:** mejor aprovechamiento de recursos tanto en incendios de construcciones como incendios naturales.
- ▶ **Transporte**
 - ▷ **Logística:** optimización de rutas.

- ▷ **Sistemas y redes de transporte:** administración de señales, pavimentos, puentes, iluminación en rutas. Administración del transporte público.
- ▷ **Direcciones:** servicios de mapas al público como Google Maps [Google, 2005]
- ▶ **Servicios públicos y comunicaciones**
 - ▷ **Electricidad, gas, agua:** operaciones y servicio al cliente de las redes, ubicación de instalaciones.
 - ▷ **Infraestructura de redes:** Gerencia del mantenimiento y operación.
 - ▷ **Telecomunicaciones:** ubicación de antenas.

2.1.5 ANTECEDENTES DE APLICACIÓN DE GIS A RIESGOS.

Los riesgos son un fenómeno característicamente espacial. Los GIS contribuyen al estudio de riesgos fundamentalmente por el aporte de mejores modelaciones de la distribución geográfica de peligros, la exposición a estos, las poblaciones susceptibles y las posibles consecuencias [Cromley & McLafferty, 2002]. Por ello los GIS han sido ampliamente difundidos en el estudio de riesgos y entre sus aplicaciones se puede mencionar el análisis de: desastres naturales (incendios forestales, inundaciones), contaminación del medio ambiente y criminología (haciendo analogía entre la probabilidad de un delito y los riesgos).

Al aplicar GIS para representar elementos con límites definidos se utilizan capas vector, como una línea para un río o puntos para árboles. Pero al representar el riesgo como un continuo lo que se utiliza en la práctica son capas raster, tal como se adelantó en el capítulo 2.1.3.

Cada disciplina (incendios forestales, criminología, etc.) evalúa el riesgo según un índice distinto que es particular para cada caso. Así mismo, la metodología para obtener este índice y crear el mapa raster de riesgos también es diferente para cada aplicación. A continuación se dan dos ejemplos de aplicación de GIS a riesgos con una breve explicación de los índices utilizados en cada caso y el método de creación del raster.

2.1.5.1 Aplicación de GIS a criminología

La criminología no se suele asociar propiamente con la temática del análisis de riesgos, pero es un buen antecedente de aplicación de GIS a riesgos si se hace analogía entre la

probabilidad de ocurrir un delito y el riesgo. También es un buen antecedente por ser una ciencia que hace amplio uso de los GIS.

En la criminología el modo usual de creación de mapas del delito es mediante la localización de antecedentes puntuales, por lo que se hace necesaria una base de datos histórica de los hechos ya ocurridos y su ubicación. Los mapas de ubicaciones puntuales son llamados mapas Point Pattern y el método para obtener una representación raster a partir de un mapa Point Pattern es llamado Quadrat Count [O'Sullivan & Unwin, 2002].

En la figura 2.3 se puede ver una distribución geográfica Point Pattern de la localización de homicidios armados y robos callejeros en la ciudad de Saint Louis (Missouri, USA).

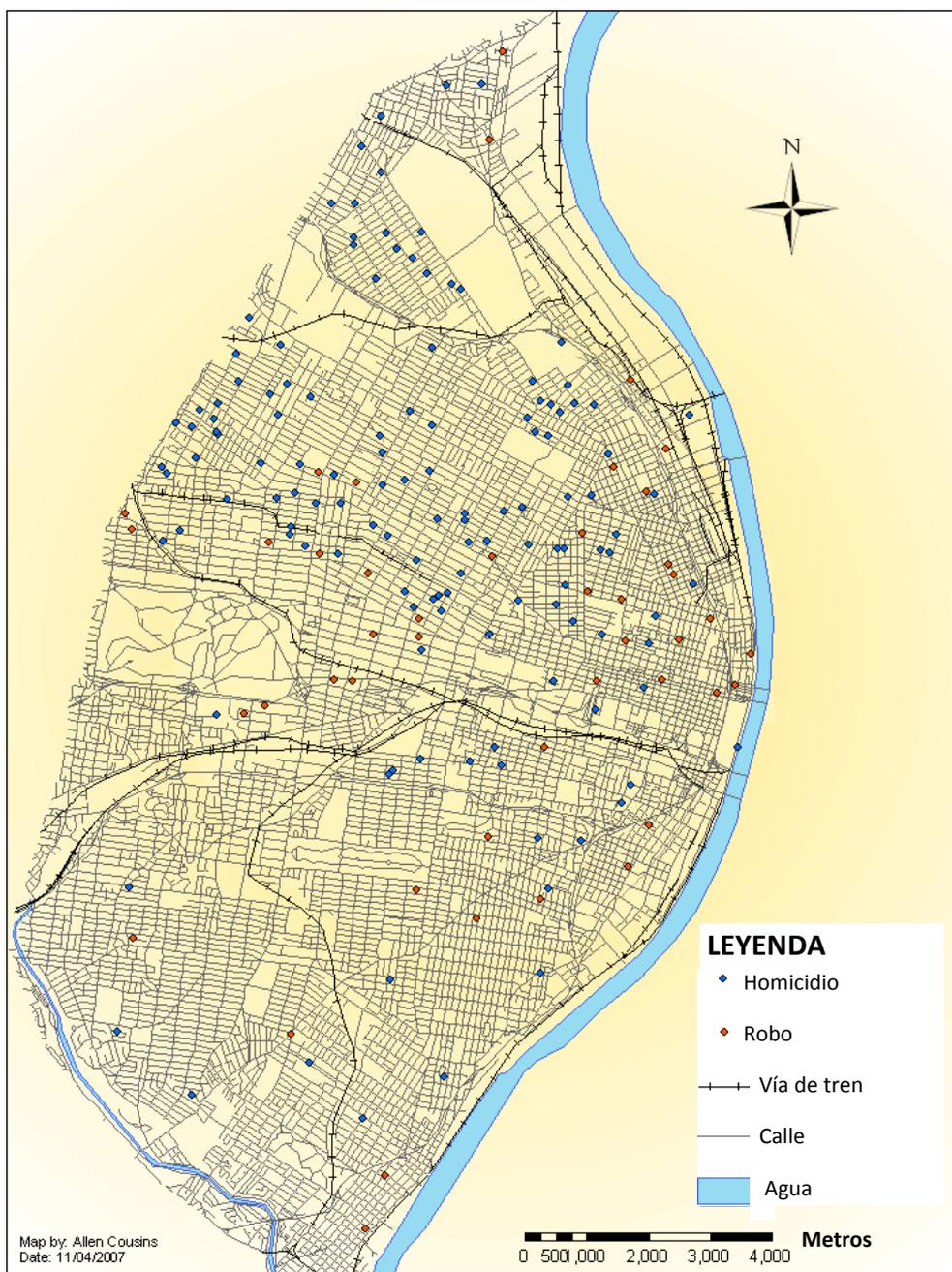


Figura 2.3. Robos a mano armada y homicidios en ocasión de robo en Saint Louis (USA).
Fuente: [Cousins, 2007].

A partir de las ubicaciones puntuales se construye la representación raster ubicando una matriz sobre el mapa y contando el número de eventos puntuales en cada celda, a esto se lo conoce como método Quadrat Count. En la figura 2.4 se ve un ejemplo de una representación raster creada por el método Quadrat Count de los homicidios en ocasión de robo utilizando una matriz de celdas de 750 m de lado. En este caso el índice utilizado para evaluar las celdas es el número de homicidios en ocasión de robo ocurridos históricamente en un período de tiempo preestablecido en la ubicación geográfica georeferenciada por cada celda [Cousins, 2007].

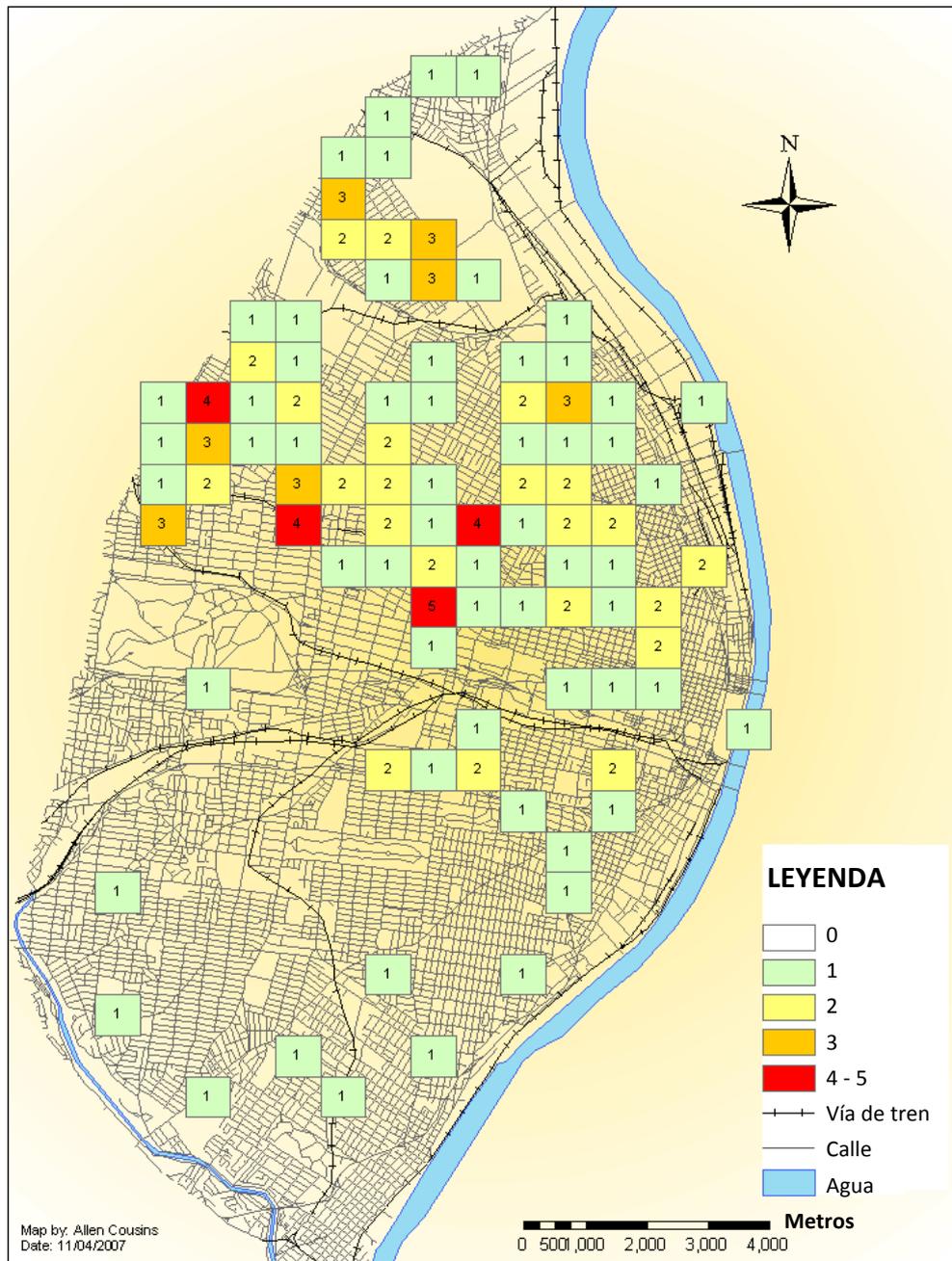


Figura 2.4. Representación raster de los homicidios en ocasión de robo utilizando celdas de aproximadamente 750 m. Fuente: [Cousins, 2007].

2.1.5.2 Aplicación de GIS a incendios forestales

Los incendios forestales son un área de estudio más relacionada con el análisis de riesgos que la criminología. Del mismo modo, se traza una matriz raster sobre un mapa del área de estudio con un tamaño de celda conveniente según la precisión deseada.

El índice que valora el nivel de riesgo de incendio se genera agrupando información que se recoge procedente de varias fuentes que ofrecen datos relevantes sobre la evolución del peligro. Un ejemplo de un índice muy utilizado es el Canadian Forest Fire Weather Index, conocido en español simplemente como Índice Canadiense, que consiste en un modelo de seis variables que contabilizan los efectos de la humedad del material combustible y el viento en el comportamiento del fuego [Natural Resources Canada, 2007].

Son diversas las formas de obtener los valores de las variables para modelizar el nivel

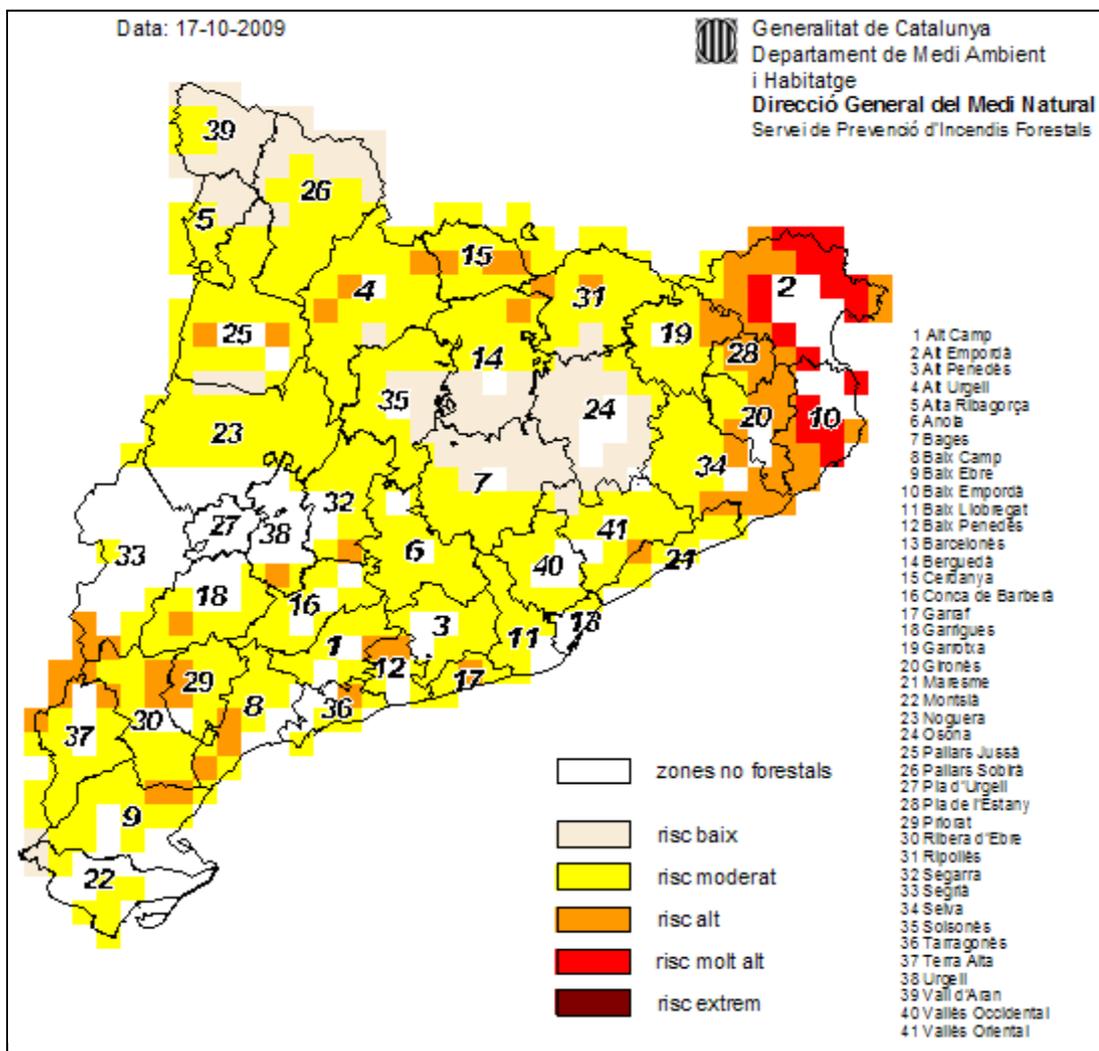


Figura 2.5. Mapa de riesgo diario de incendios online de Cataluña para el día 17 de octubre de 2009.
 Fuente: [Dirección General del Medio Natural de Cataluña, 2007b].

de riesgo. La Dirección General del Medio Natural de Cataluña (España) utiliza un modelo aún más complejo que se sigue de forma ininterrumpida todos los días del año y utiliza las siguientes herramientas para introducir valores a su modelo [Dirección General del Medio Natural de Cataluña, 2007a]:

- ▶ Medición directa en campo de humedad de combustibles finos.
- ▶ Mapas de variables e índices de riesgo de componente meteorológico.
- ▶ Cálculo de percentiles de las variables básicas.
- ▶ Información histórica de incendios y situaciones ocurridas en los últimos años.
- ▶ Gráficos de sensores específicos de seguimiento del riesgo.
- ▶ Seguimiento de patrones meteorológicos sinópticos relacionados con el riesgo de incendio.
- ▶ Mapas estáticos: combustibles forestales, inflamabilidad, altimetría, etc.

A partir de todos estos datos se obtiene un valor para cada celda de la matriz y se genera un mapa de riesgo diario, disponible todos los días en internet, como el que se muestra en la figura 2.5 [Dirección General del Medio Natural de Cataluña, 2007b].

Por último cabe mencionar que los mapas de riesgo de incendios forestales son un buen ejemplo de la utilización de una técnica de valoración más compleja llamada autocorrelación espacial. Éste método de cálculo agrega un componente más al análisis que es el de la dependencia de los valores de las celdas cercanas, esto se debe a que los incendios en una zona finalmente terminan afectando a las zonas aledañas [Shekhar & Xiong, 2008].

2.1.6 ANTECEDENTES DE APLICACIÓN DE GIS A PLANTAS INDUSTRIALES

Los antecedentes que se encuentran de aplicación de GIS a escala de plantas industriales van dirigidos a la gerencia de los recursos y también al diseño, pero no al riesgo laboral. La compañía creadora de ArcGIS, uno de los softwares más difundidos de GIS, publica una lista de áreas de probados antecedentes de aplicación de GIS [ESRI, 2009b] y los casos de utilización que aparecen a escalas menores es la de Facilities Management (Gerencia de Instalaciones). Así mismo, esta es el área en que se tienden a focalizar otros grandes softwares de GIS como Autodesk, GE y Bentley [Steinger & Weibel, 2009].

Los beneficios de utilizar GIS en este contexto son [ESRI, 2009c]:

- ▶ Coordinar la recolección de información y su difusión, actualización y uso.
- ▶ Facilitar un mejor planeamiento y análisis.
- ▶ Permitir el intercambio eficiente de información dentro y fuera del área, proporcionando una visión global de las operaciones.

Dentro de la gerencia de instalaciones los usos con antecedentes han sido [ESRI, 2009c]:

- ▶ Optimización de las instalaciones: Renovación de edificios, reparación de salas, ubicación económica y óptima de nuevas instalaciones.
- ▶ Ubicación de edificios: venta al público, centro de distribución, oficinas, almacén, aulas, servicios, etc.
- ▶ Integración de los sistemas de la empresa.
- ▶ Uso del espacio: sinergia organizacional para ubicar estratégicamente los grupos, cumplimiento con requisitos de espacio, planificación de los cambios de espacios.
- ▶ Gerencia de proyectos: gerencia de espacios, gerencia de la construcción, requisitos de tareas, planeamiento de recursos y plan de emergencias.
- ▶ Instalaciones ecológicas: acortar rutas de vehículos, incrementar espacios verdes, buscar energías alternativas, buscar espacios para paneles solares.

2.1.7 GIS SOFTWARE

Existen numerosos softwares de GIS, tanto con requerimientos de licencia como gratuitos. Así mismo cada uno suele tener diferentes funcionalidades, ya que cada usuario le da un uso distinto. Los diversos softwares GIS se catalogan en tres funcionalidades [Steinger & Weibel, 2009]:

- ▶ Visor (Viewer en inglés): Para abrir archivos de información GIS.
- ▶ Editor: Para crear archivos de información GIS.
- ▶ Analizador (Analyzer en inglés): Para hacer análisis de datos y cálculos sobre la información GIS.

Existen tanto empresas que manufacturan software GIS como proyectos de software gratuitos y “open source”. Mientras que los comercializadores de software ofrecen productos para todas las categorías, los softwares gratuitos suelen focalizarse en una sola categoría. Los actores principales en el mercado de software GIS en la actualidad son Autodesk, Bentley, ESRI Inc., GE (Smallworld), Pitney Bowes (MapInfo) e Intergraph. Los softwares gratuitos tienden más a complementar los softwares bajo licencia que a competir contra ellos ya que son aplicaciones más específicas [Steinger & Weibel, 2009].

2.2 RIESGOS INDUSTRIALES

2.2.1 CONCEPTO DE SEGURIDAD DE SISTEMAS (SYSTEM SAFETY)

El enfoque más actual en el área de la seguridad es el de la Seguridad de Sistemas (System Safety). El concepto se basa en que el uso de métodos y enfoques sistemáticos para identificar, analizar y controlar peligros contribuye en reducir las tasas de errores y en una más efectiva y eficiente realización.

La definición de Seguridad de Sistemas es: “el esfuerzo por conseguir tanta seguridad como sea practicable mediante el uso sistemático de herramientas ingenieriles y gerenciales para identificar, analizar y controlar peligros” [Stephans, 2004].

2.2.2 IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

En la práctica de la Seguridad de Sistemas el primer paso en el análisis de riesgos es la identificación de los distintos posibles accidentes. Idealmente, una vez identificado el peligro se evalúa el riesgo de este y de ser necesario se toman acciones para eliminar o reducir su nivel de riesgo.

En general la identificación de los peligros se puede realizar observando de tres diferentes maneras [Penny, 1996]:

- ▶ Según la ubicación geográfica donde se origina. (Geographically-based). Por ejemplo: taller, almacén, etc.
- ▶ Según la función (Functional-based). Por ejemplo: producción, transporte, etc.
- ▶ Según el peligro. (Hazard-based). Por ejemplo: electricidad, maquinaria, etc.

Existen numerosas metodologías de trabajo para conseguir la identificación de peligros. Las de mayor difusión son las siguientes:

- ▶ **Análisis Preliminar de Peligros** (PHA, Preliminary Hazard Analysis): Técnica que provee una evaluación inicial de los aspectos críticos de seguridad y factores de riesgo de accidente [Roland & Moriarty, 1990].
- ▶ **“What-if”** (“¿Qué pasa si...?”): En cada punto, a través de un brainstorming, el equipo de expertos hace preguntas del tipo “¿Qué pasa si...?” y son respondidas [OSHA 3133, 1994].
- ▶ **Checklist** (Listados de Control): Para análisis un poco más complejos, la técnica “What-if” puede ser mejor organizado con el uso de un “checklist” y asignar los aspectos más complejos a un comité con la mayor experiencia o nivel en aquellos aspectos [OSHA 3133, 1994].

- ▶ **What-if / Checklist:** Técnica que combina la creatividad del equipo de especialistas con el foco metódico de un checklist preparado. Consiste en generar un brainstorming tal como en la técnica What-if, pero cuando el equipo termina de realizar el análisis con sus ideas espontáneas pasa luego sistemáticamente a través de un checklist preparado para generar preguntas y respuestas adicionales [OSHA 3133, 1994].
- ▶ **HAZOP** (Hazard and Operability Study, o en español, Análisis de Peligro y Operabilidad): HAZOP es un método formalmente estructurado para investigar sistemáticamente cada elemento de un sistema en todos los modos en que parámetros importantes pueden desviarse de las condiciones pretendidas por el diseño derivando así en peligros y problemas de operabilidad. El sistema se evalúa según el diseño y según las desviaciones. Se identifican todas las causas de falla [OSHA 3133, 1994; Casal et al., 1999].
- ▶ **AMFE** (Análisis de Modo de Fallas y Efectos, del inglés, Failure Mode and Effect Analysis): Es un estudio metódico de las fallas de componentes. Se comienza con un diagrama de operación que incluye todos los componentes que puede fallar y afectan la seguridad de la operación. Cada componente se tabula y se analiza según: modo potencial de falla, consecuencias, tipo de peligro, probabilidad de falla, métodos de detección y disposiciones [OSHA 3133, 1994; Ericson, 2005].
- ▶ **Análisis de Árbol de Fallos:** Puede ser un modelo tanto cualitativo como cuantitativo de todas las posibles consecuencias negativas. El diagrama resultante se asemeja a un árbol con muchas ramas listando los eventos secuenciales (fallas) para diferentes caminos hasta el evento superior. Se asignan probabilidades a cada evento y luego utilizan para calcular la probabilidad del evento indeseado [OSHA 3133, 1994]. Se enfoca en un análisis con un alto nivel de detalle en situaciones de extrema gravedad [Casal et al., 1999].
- ▶ **Análisis de Árbol de Eventos:** Es una herramienta analítica que puede utilizarse para organizar, caracterizar y cuantificar accidentes potenciales de un modo metódico. Consiste en modelar la secuencia de eventos que resultan a partir de un evento individual inicial [Booher, 2003]. Se enfoca en un análisis con un alto nivel de detalle en situaciones de extrema gravedad [Casal et al., 1999].

En la tabla 2.1 se presenta un cuadro comparativo de las técnicas con mayor difusión.

Todas estas metodologías se caracterizan por tres etapas: preparación, realización del estudio y documentación. Además, cada una de estas técnicas se aplica en distintas etapas del ciclo de vida de la instalación industrial: diseño, construcción, puesta en marcha, funcionamiento, modificaciones, desmantelamiento o abandono.

La elección de alguna de las técnicas antes mencionadas depende de la etapa del ciclo de vida de la instalación, el nivel de detalle requerido y los recursos disponibles. La figura 2.6 muestra las técnicas de análisis normalmente utilizadas en las distintas etapas de la vida de una instalación de proceso [Casal *et al.*, 1999].

COMPARACIÓN	PHA	WHAT IF/ CHECKLIST	AMFE	HAZOP	ÁRBOL DE SUCESOS	ÁRBOL DE FALLOS
Recurso humano requerido	Equipo de trabajo	Equipo de trabajo	Equipo de trabajo	Equipo de trabajo	Tarea individual	Tarea individual
Hasta qué punto es necesaria la documentación de gráficos, procedimientos y registros de datos para conseguir un análisis efectivo	Mínimo	Mínimo	Extensiva	Extensiva	Extensiva	Extensiva
Tiempo requerido para completar el análisis de un peligro	Mínimo	Mínimo	Moderado	Extensivo	Extensivo	Extensivo
Entrenamiento requerido por el líder del equipo	Mínimo	Mínimo	Moderado	Moderado	Extensivo	Extensivo
Tipos de industria a la que va dirigida	Todas	Todas	Eléctrica/ Mecánica	Química/ Farmacéutica/ Petroquímica/ Nuclear	Todas	Todas
Análisis con enfoque general de todo el sitio o hacia procesos y operaciones específicas	General para todo el sitio	General para todo el sitio	Específico	Específico	Muy específico	Muy específico
Énfasis sobre falla individual o fallas múltiples en combinación	Individual	Individual	Individual	Individual	Múltiples	Múltiples

Tabla 2.1. Comparación de metodologías de análisis de peligros. Basado en: [Zurich, 1998]

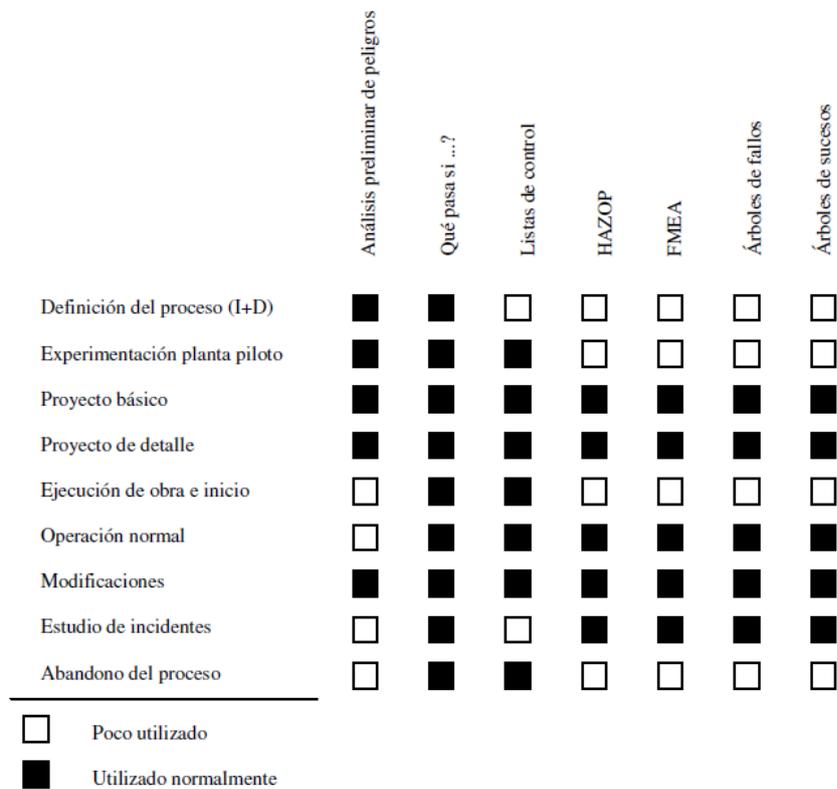


Figura 2.6. Técnicas de análisis normalmente utilizadas en las distintas etapas de la vida de una instalación de proceso Fuente: [Casal et al., 1999].

2.2.2.1 Antecedente de técnica de identificación de riesgos basada en la actividad (task-based) – Técnica Job Hazard Analysis

El Job Hazard Analysis (Análisis de Peligros de la Actividad), también llamado Job Safety Analysis, es una metodología propuesta por la Administración de Higiene y Seguridad en el Trabajo de Estados Unidos (OSHA) para determinar peligros en cada paso de un trabajo o proceso y sus respectivas soluciones. Cada trabajo o proceso específico puede separarse en una serie relativamente simple de pasos. Así, se pueden identificar los peligros asociados a cada paso y se pueden desarrollar soluciones para controlar cada peligro [OSHA 3071, 2002].

El Job Hazard Analysis consiste básicamente en cuatro puntos:

1. Seleccionar un puesto para analizar.
2. Separar el puesto de trabajo en sus pasos básicos.
3. Identificar los riesgos asociados a cada paso realizado.
4. Controlar cada peligro.

2.2.3 EVALUACIÓN DE RIESGOS

2.2.3.1 Definición e Índice de Riesgo

Entre las diversas definiciones de riesgo en la literatura, para realizar un análisis de riesgos se requiere una que permita una cuantificación. Una definición de riesgo que consigue una metodología sistemática y comprensiva es la utilizada por la evaluación probabilística del riesgo, llamada también PRA por sus siglas en inglés (Probabilistic Risk Assessment) [American Institute of Chemical Engineers, 1989; Stamatelatos, 2000]. La PRA se caracteriza por dos cantidades:

- ▶ La **severidad** de la consecuencia negativa que puede resultar de la actividad o acción.
- ▶ La **probabilidad** de ocurrencia de la consecuencia negativa.

En la literatura existen diversas maneras de relacionar estas dos cuantificaciones para obtener un índice, a veces también agregando otras variables como la exposición al riesgo [Manuele, 2001]. Un modo que es utilizado por muchos profesionales para vincularlas y definir el riesgo a partir de estas variables es la multiplicación de ambas [Casal *et al.*, 1999]:

$$\text{Riesgo} = \text{Probabilidad} \times \text{Severidad} \quad (2.1)$$

2.2.3.2 Riesgo Individual

Se define como riesgo individual el riesgo de una persona en la cercanía de uno o más riesgos [Considine, 1984]. El cálculo de este índice en una ubicación geográfica cercana a una planta asume que la contribución de todos los posibles casos de incidentes es aditiva. De este modo, el riesgo individual total en cada punto es igual a la suma de los riesgos individuales en aquel punto de todos los posibles incidentes asociados a la planta como sigue [American Institute of Chemical Engineers, 1989]:

$$IR_{x,y} = \sum_{i=1}^n s_{x,y,i} f_i \quad (2.2)$$

donde $IR_{x,y}$ = riesgo individual total en la ubicación geográfica x,y

f_i = frecuencia del incidente i

$s_{x,y,i}$ = severidad del incidente i en la ubicación geográfica x,y

i = incidente

n = número total de incidentes considerados en el análisis

Para realizar la sumatoria de todos los riesgos es necesario que todos los términos se encuentren en las mismas unidades, y para ello, comparar severidades de un mismo tipo. En este caso, para un individuo afectado por un accidente las severidades se encuentran expresadas como número de muertos de accidente.

2.2.3.3 Criterio de tolerabilidad del riesgo

Actividad	Muertes por persona por año
Industria confección	3×10^{-6}
Industria automóvil	$2,6 \times 10^{-5}$
Industria de la madera	6×10^{-5}
Industria química	8×10^{-5}
Industria mecánica	$1,4 \times 10^{-4}$
Agricultura	2×10^{-4}
Minería	$2,3 \times 10^{-4}$
Industria pesquera	7×10^{-4}
Construcción	$1,28 \times 10^{-3}$

Tabla 2.2. Datos de actuales frecuencia de muertes por persona por año según actividad en Gran Bretaña, asumiendo 2.000 horas de trabajo por año. Adaptado de: [Casal *et al.*, 1999].

Toda la literatura de riesgo insiste en dejar en claro que el “riesgo cero” no existe y que siempre se deben asumir determinados riesgos en todo ámbito de la vida. El propósito de determinar un nivel de riesgo tolerable es definir hasta qué punto el riesgo puede ser

aceptado y este límite depende en cada caso de algún modo del beneficio obtenido a cambio. Por ello el nivel de riesgo tolerable depende de cada industria y de cada caso en particular.

En relación a los riesgos laborales se ha sugerido como riesgo tolerable el correspondiente al menor valor existente de la tasa de accidentes fatales de esa industria [Casal *et al.*, 1999]. En la tabla 2.2 se indican valores correspondientes a las frecuencias de muerte por persona por año de algunas actividades industriales (datos de Gran Bretaña).

2.2.3.4 Categorías de riesgos

Desde el punto de vista concreto de la actividad industrial y la magnitud de sus accidentes posibles, los riesgos se pueden clasificar en [Casal *et al.*, 1999]:

- ▶ *Riesgos convencionales*: relacionados con la actividad y el equipo existentes en cualquier sector (electrocución, caídas).
- ▶ *Riesgos específicos*: asociados a la utilización o manipulación de productos que, por su naturaleza, pueden ocasionar daños (productos tóxicos, radioactivos).
- ▶ *Riesgos mayores*: relacionados con accidentes y situaciones excepcionales. Sus consecuencias pueden presentar una especial gravedad ya que la rápida expulsión de productos peligrosos o de energía podría afectar a áreas considerables (escape de gases, explosiones).

2.2.3.5 Tipos de evaluación de riesgo

Las organizaciones no tienen recursos infinitos y deben tomar decisiones continuamente respecto del nivel de recursos a aplicar para controlar el riesgo. Por ello es importante clasificar y priorizar los riesgos para tener una correcta guía en la toma de estas decisiones estratégicas [Burns, 2002].

El análisis de riesgo puede ser llevado a distintos niveles de detalle dependiendo de [AS/NZS 4360 Handbook, 2004]:

- ▶ el riesgo.
- ▶ el propósito del análisis.
- ▶ la información, datos y recursos disponibles.

Los tipos de análisis pueden ser [AS/NZS 4360 Handbook, 2004; Bowden *et al.*, 2001]:

- ▶ *Cualitativo*:
Se utilizan palabras para describir la magnitud de probabilidad y severidad. Estas escalas pueden adaptarse para ajustarse a cada aplicación y diferentes descripciones pueden utilizarse para diferentes riesgos.

► *Semi-cuantitativo:*

En este análisis se busca ir un paso más del análisis cualitativo asignando valores a las escalas cualitativas antes mencionadas. El objetivo es conseguir un ranking más extenso aunque no se pueda aún sugerir valores reales precisos para todos los riesgos como es el caso de los métodos cuantitativos.

► *Cuantitativo:*

No se manejan escalas descriptivas como en los métodos anteriores sino que se utilizan valores numéricos, tanto para la probabilidad como la severidad, cuando existe la posibilidad de usar datos precisos que surgen por ejemplo de buenas estadísticas reales o experimentación.

2.2.3.6 Matrices de evaluación de riesgo

Especialmente en las etapas de diseño no es posible conocer el verdadero riesgo de un diseño potencial o el peligro de los procedimientos. En estas situaciones un análisis cualitativo del riesgo debería aplicarse derivándose de investigación, análisis y evaluación de información histórica de seguridad en sistemas similares [MIL-STD-882D, 2000].

El propósito de cuantificar el riesgo es establecer un criterio para decidir entre valores que requieren reducción y aquellos que son aceptables. En los métodos cualitativos y semi-cuantitativos esto se consigue utilizando como herramienta las matrices de riesgo. A partir de una clasificación según severidad y probabilidad, las matrices asignan un ranking a partir del cual se decide como actuar frente a cada nivel de riesgo [Manuele, 2001]. Este criterio de decisión se lo ajusta según cada situación en particular. Por ello existen diversidad de estándares de matrices para diferentes aplicaciones; e incluso, la literatura recomienda que cada profesional de la seguridad desarrolle su propia matriz y un proceso de pensamiento que se adapte a las necesidades de cada cliente [Manuele, 2003].

Las matrices de riesgo disponibles son adaptaciones de lo que fue originalmente la norma MIL-STD-882 (Military Standard – System Safety Program Requirements) del Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América. Hoy la más reciente versión de esta norma es la MIL-STD-882D (Standard Practice for System Safety) [MIL-STD-882D, 2000] del año 2000 [Manuele, 2003; Gheorghe & Mock, 1999]. En el anexo A se presentan otras matrices de riesgo con gran difusión.

La norma MIL-STD-882D es una norma de seguridad del Departamento de Defensa pero en ella se aclara que se refiere a la seguridad en lo que conforman los procedimientos de adquisición de la regulación DOD 5000.2 [DOD 5000.2, 2008]; esto es, en lo relativo al desarrollo, prueba, producción, uso y disposición final de sistemas, subsistemas, equipos e instalaciones del Departamento de Defensa.

En la norma MIL-STD-882D se propone la siguiente matriz de riesgo (tabla 2.3):

		SEVERIDAD			
		Mínimo	Marginal	Crítico	Catastrófico
PROBABILIDAD	Frecuente	13	7	3	1
	Probable	16	9	5	2
	Ocasional	18	11	6	4
	Remoto	19	14	10	8
	Improbable	20	17	15	12

Tabla 2.3. Ejemplo de valores de matriz de evaluación de riesgos. Fuente: [MIL-STD-882D, 2000].

donde, a modo de sugerencia por la misma norma, cada clasificación corresponde a lo indicado en las tablas 2.4 y 2.5:

Categoría	Criterio del impacto ambiental, a la seguridad o a la salud.
Catastrófico	<i>Puede resultar en muerte, discapacidad total permanente, pérdida excediendo 1.000.000 USD o daño ambiental severo irreversible que viola ley o regulación.</i>
Crítico	<i>Puede resultar en discapacidad parcial permanente, heridas o enfermedad laboral que resulte en la hospitalización de al menos tres personas del personal, pérdida excediendo los 200.000 USD pero menos de 1.000.000 USD o daño ambiental reversible que viola ley o regulación</i>
Marginal	<i>Puede resultar en herida o enfermedad laboral resultando en uno o más días perdidos, pérdida excediendo los 10.000 USD pero menos de 200.000 USD, o daño ambiental mitigable sin lugar a violación de ley o regulación donde actividades de restauración pueden conseguirse.</i>
Mínimo	<i>Puede resultar en herida o enfermedad sin causar la pérdida de un día de trabajo, pérdida excediendo los 2.000 USD pero menos de 10.000 USD, o daño ambiental mínimo sin lugar a violación de ley o norma.</i>

Tabla 2.4. Categorías de severidad de accidente sugeridas. Fuente: [MIL-STD-882D, 2000].

Categoría	Descripción	Criterio del rango de eventos considerados
Frecuente	<i>Experimentado continuamente</i>	<i>Probable de ocurrir seguido en la vida de un elemento, con una probabilidad mayor que 10^{-1} en ese periodo de vida.</i>
Probable	<i>Ocurrirá frecuentemente</i>	<i>Ocurre varias veces en la vida de un elemento, con una probabilidad de ocurrencia menor que 10^{-1} pero mayor que 10^{-2} en ese periodo de vida.</i>
Ocasional	<i>Ocurrirá varias veces</i>	<i>Probable de ocurrir a veces en la vida de un elemento, con una probabilidad de ocurrencia menor que 10^{-2} pero mayor que 10^{-3} en ese periodo de vida.</i>
Remoto	<i>Improbable, pero puede razonablemente esperarse que ocurra</i>	<i>Improbable pero posible de ocurrir durante la vida de un elemento, con una probabilidad de ocurrencia menor que 10^{-3} pero mayor que 10^{-6} en ese periodo de vida.</i>
Improbable	<i>Improbable de ocurrir, pero posible</i>	<i>Tan improbable que puede asumirse que no se experimentará durante la vida de un elemento, con una probabilidad de ocurrencia menor que 10^{-6} en ese periodo de vida.</i>

Tabla 2.5. Niveles de probabilidad de accidente sugeridos. Fuente: [MIL-STD-882D, 2000].

En la misma la norma MIL-STD-882D se da como ejemplo de categorías de riesgo lo que se muestra en la tabla 2.6 a continuación. La norma indica que la persona con una autoridad apropiada debe revisar e indicar la aceptación del riesgo en cada caso.

VALOR DE LA EVALUACIÓN	CATEGORÍA DEL RIESGO
<i>1 – 5</i>	<i>Alto</i>
<i>6 – 9</i>	<i>Serio</i>
<i>10 – 17</i>	<i>Medio</i>
<i>18 – 20</i>	<i>Bajo</i>

Tabla 2.6. Ejemplo de categorías de riesgo. Fuente: [MIL-STD-882D, 2000].

Las tablas 2.3 y 2.6 se pueden agrupar en la tabla 2.7 [Manuele, 2001] como sigue:

		SEVERIDAD			
		Mínimo	Marginal	Crítico	Catastrófico
PROBABILIDAD	Frecuente	<i>Medio</i>	<i>Serio</i>	<i>Alto</i>	<i>Alto</i>
	Probable	<i>Medio</i>	<i>Serio</i>	<i>Alto</i>	<i>Alto</i>
	Ocasional	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Serio</i>	<i>Alto</i>
	Remoto	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Serio</i>
	Improbable	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>

Tabla 2.7. Ejemplo de matriz de riesgo con valores de categorías. Fuente [Manuele, 2001].

El uso de las matrices de riesgo es recomendado por innumerables normas internacionales [MIL-STD 882D, ANSI B11 TR3, ANSI R15.06, Canadian Robotics Z434, ISO 13849-1 (EN954), AUS/NZ 4360:1999]. Su aplicación es muy difundida y es tan variada que va desde el gerencia del riesgo de inversiones en negocios y corporaciones de gobiernos [Australian Government, 2006] hasta el estudio del peligro de ataques terroristas sobre edificios públicos [Federal Emergency Management Agency of the U.S.A., 2007]. Algunas de las ventajas de las matrices de riesgo son [Cox, 2009; Clemens & Simmons, 1998]:

- ▶ Modo claro y sistemático para trabajar con riesgos.
- ▶ Conveniente documentación de rankings y prioridades.
- ▶ Herramienta estandarizada.
- ▶ Una estimación que, por más que sea subjetiva, evita aceptar inconscientemente los riesgos intolerables que usualmente se desconocen.
- ▶ Formato atractivo.
- ▶ Oportunidad de adaptación a cada uso particular.
- ▶ Oportunidad para la creación de una “cultura de riesgo”.

- ▶ Posibilidad de no requerir formación especializada en evaluación de riesgo cuantitativos ni análisis de datos.

2.2.3.7 Consideraciones prácticas en la utilización de matrices de riesgo

Al considerar el desarrollo de matrices de riesgo y un proceso de pensamiento para su aplicación, es oportuno presentar aquí los comentarios de Fred A. Manuele al respecto:

- “
- ▶ *Debido a la dotación de personal y las limitaciones de tiempo, no es posible conocer o analizar todos los peligros. Dado que no todos los riesgos son iguales, es necesario un juicio subjetivo, aunque entrenado, con respecto a que peligros estudiar.*
 - ▶ *Ser consciente de que algunas situaciones desafían el análisis estadístico.*
 - ▶ *Debe ser simple, sin complicaciones.*
 - ▶ *Hacer análisis de peligros y evaluación de riesgos es un arte, no es una ciencia. No es posible el logro de una certeza absoluta en la determinación de la probabilidad de incidentes o su consecuencia. Una variación de un pensamiento atribuido a Descartes aplica: Si no se puede conocer la verdad, entonces hay que buscar la más probable.*
 - ▶ *Los términos se deben definir y acordar previamente para comunicarse con quienes toman las decisiones, Si bien se utilizan términos idénticos en la literatura de varios métodos de análisis de peligros, aquellos términos pueden tener diferentes significados en el texto que posteriormente los describe.*
 - ▶ *También, en la comunicación con los tomadores de decisiones, es bueno comprender sus percepciones y su tolerancia de riesgo; y apreciar que los riesgos percibidos, así como temas relativos a los empleados y el temor público en general, junto con los intereses del cliente, pueden influir en decisiones relativas al riesgo.*
 - ▶ *Aplicar un análisis de peligro lógico y un modelo de evaluación de riesgo es más importante que cual modelo sea elegido” [Manuele, 2001].*

Todo esto se debe en definitiva a que, por más que se consiga finalmente un índice cuantitativo, el origen de todo número proviene en un inicio de la necesidad de realizar un análisis cualitativo subjetivo de la probabilidad y severidad del riesgo [Manuele, 2001].

2.2.3.8 Limitaciones en la utilización de matrices de riesgo

A pesar de tal difusión de las matrices de riesgo en aplicaciones tan importantes, existen también ciertas críticas a su utilización que poca literatura se atreve a mencionar [Cox,

2009] con respecto a la verdadera efectividad como herramienta en la toma de decisiones.

Louis A. Cox en su libro *Risk Analysis of Complex and Uncertain Systems* señala principalmente las siguientes limitaciones [Cox, 2009]:

- ▶ *Resolución pobre*: Las matrices de riesgo pueden comparar correctamente y sin ambigüedad solo una pequeña fracción de peligros seleccionados al azar. Pueden asignar rankings idénticos a riesgos cuantitativamente muy diferentes.
- ▶ *Errores*: Puede ser asignado erróneamente un valor cualitativamente más alto a riesgos cuantitativamente menores.
- ▶ *Asignación de recursos no óptima*: La localización efectiva de recursos para la reducción de la medida del riesgo no puede ser basada en las categorías asignadas por las matrices de riesgo.
- ▶ *Inputs y outputs ambiguos*: Las categorizaciones de severidad no pueden realizarse objetivamente para ciertas consecuencias. Los valores de entrada de las matrices (frecuencia y severidad) y los resultados obtenidos (categorizaciones) requieren interpretaciones subjetivas y diferentes usuarios pueden obtener valores distintos de riesgos cuantitativamente iguales.

2.2.3.9 Consideraciones teóricas en la utilización de matrices de riesgo

Aún con tales limitaciones el uso de las matrices de riesgo sigue siendo la mejor opción disponible para aproximar una realidad cuantitativa subyacente detallada cuya información no es disponible. Por ello, cuando no hay mejor información ni mejor opción que las matrices de riesgo, Louis A. Cox propone tener en cuenta ciertas consideraciones normativas de propiedades o axiomas que idealmente se deben satisfacer para mitigar las limitaciones mencionadas. Estas condiciones a cumplir por las matrices se resumen a continuación [Cox, 2009]:

- ▶ *Weak Consistency (Consistencia Tenue)*: Una matriz de riesgo con más de un “color” (nivel de prioridades de riesgo) para sus celdas satisface consistencia tenue con una interpretación cuantitativa del riesgo si puntos en su categoría superior representan riesgos cuantitativos más altos que puntos en la categoría inferior.
- ▶ *Betweenness (Valor Intermedio)*: una matriz de riesgo cumple el axioma de valor intermedio si cada segmento de recta con pendiente positiva que se encuentra en una celda de color verde en su parte inferior (izquierda) y en una celda de color rojo en su parte superior (derecha) pasa por lo menos por una celda intermedia (es decir, una que no es verde ni roja) entre ellas.
- ▶ *Consistent Coloring (Coloración coherente)*: (1) Una celda es de color rojo si contiene puntos con riesgos cuantitativos al menos tan elevados como los de

otras rojas (y no contiene puntos con riesgo cuantitativo que lleguen a ser tan pequeños como los de alguna celda verde). (2) Una celda es de color verde si contiene algunos puntos con riesgos al menos tan pequeños como los de otras celdas verdes (y no contiene puntos con los riesgos cuantitativos que lleguen a ser tan altos como los de alguna celda roja). (3) Una celda es de un color intermedio (ni roja ni verde), si (a) se encuentra entre una celda roja y una celda de color verde, o bien (b) contiene puntos con riesgos cuantitativos mayores que alguna celda roja y al mismo tiempo puntos de riesgos cuantitativos inferiores a alguna celda verde.

2.2.4 ANTECEDENTES DE EVALUACIÓN DE RIESGO CON COMPONENTE GEOGRÁFICA

El riesgo individual mencionado en 2.2.3.2 es la frecuencia con que una persona muere debido a un accidente en una planta industrial cercana. La presentación del riesgo individual se suele hacer mediante líneas de contorno sobre un mapa topográfico como se ejemplifica en la figura 2.7.

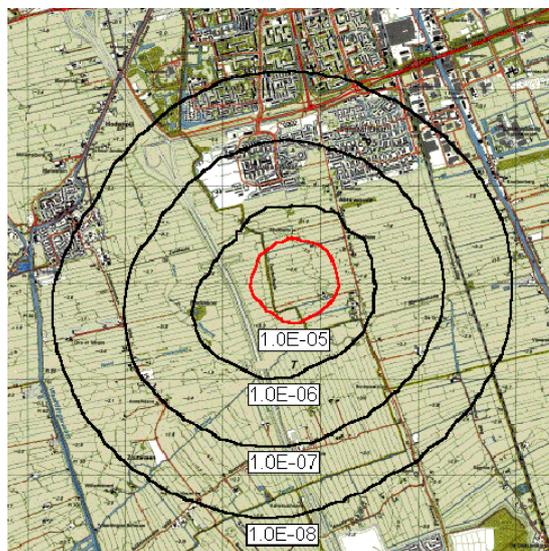


Figura 2.7. Ejemplo de líneas de contorno de riesgo individual en un mapa topográfico.
Fuente: [Uijit de Haag & Ale, 1999].

Cuando el accidente en la planta industrial está relacionado con sustancias tóxicas o inflamables entonces los valores de riesgo individual en las cercanías dependen de otros factores además de la distancia, como pueden ser la clase de clima, dirección del viento o la contribución de los subeventos de ignición derivados. Para conseguir entonces el trazado de las líneas de contorno de los mapas el método implica dividir el mapa en una

cuadrícula de celdas para calcular el riesgo individual en cada una de estas celdas [Uijit de Haag & Ale, 1999].

El centro de cada celda de la cuadrícula es llamado “punto de cuadrícula” (grid point en inglés) y en ese punto es donde se calcula el valor de riesgo individual que da valor a toda la celda. El tamaño de celda debe ser lo suficientemente pequeño para no influenciar los resultados de los cálculos, en otras palabras, que el valor de riesgo individual no tenga grandes variaciones dentro de una misma celda. En la práctica se aconseja tomar celdas de 25 x 25 m para escenarios de distancias de efectos de 300 m, y para escenarios mayores de 300 m se puede usar una celda de 100 x 100 m [Uijit de Haag & Ale, 1999].

2.2.5 RAZONES POR LAS CUALES LOS CONCEPTOS DE “SEGURIDAD DE SISTEMAS” NO HAN SIDO EXTENSAMENTE ADOPTADOS EN LA INDUSTRIA EN GENERAL

A pesar de las ventajas de la Seguridad de Sistemas, para algunos autores este enfoque no ha tenido aún la difusión que se esperaba. Aunque las técnicas de sistemas continúen encontrando aplicaciones y desarrollo en aplicaciones “exóticas” (misiles, industria aeroespacial, energía nuclear) y en la comunidad académica, no son varias las aplicaciones que se encuentran en el dominio de la industria tradicional y en la seguridad en general [Manuele, 2003].

Manuele [Manuele, 2003] y Browning [Browning, 1980] interpretan que las razones por las que el responsable de la seguridad en la práctica rara vez adopta los conceptos de Seguridad de Sistemas son:

- ▶ La seguridad tradicional se predice en valores absolutos, “seguros” o “inseguros”, mientras que los conceptos de un riesgo que puede medirse y aceptarse son fundamentales para la Seguridad de Sistemas.
- ▶ Mucha de la literatura y seminarios sobre Seguridad de Sistemas pueden haber desmotivado a los profesionales generalistas de la seguridad por las aplicaciones “exóticas” que usualmente presentan.
- ▶ La literatura de Seguridad de Sistemas está cargada de léxico gubernamental y puede fácilmente repeler al novato. Esto puede ocurrir además porque los temas de análisis de peligros altamente complejos y técnicas de evaluación de riesgos que requieren un extensivo conocimiento de matemática y probabilidad son más tratados en la literatura de Seguridad de Sistemas que los temas conceptuales y los propósitos.
- ▶ La utilización de algunos de las metodologías de análisis en peligros menos significativos puede tener costos prohibitivos.

2.3 DISEÑO DE ÁREAS DE CIRCULACIÓN PEATONAL SEGURAS EN INSTALACIONES INDUSTRIALES

2.3.1 ORDEN DE PRECEDENCIA DEL DISEÑO SEGURO

Para conseguir la mayor efectividad en la evasión, eliminación o control del peligro, el siguiente orden de precedencia debe aplicarse en todos los procesos de diseño y rediseño [Manuele, 2003].

1. **Prioridad Superior: Diseñar para conseguir un mínimo riesgo.**

Desde la etapa más inicial, la máxima prioridad es que los peligros sean eliminados en la etapa de diseño. Si los peligros no se pueden eliminar, el riesgo asociado debe reducirse a un nivel aceptable a través de decisiones de diseño.

2. **Segunda Prioridad: Incorporar dispositivos de seguridad.**

Como un siguiente curso de acción, de ser posibles soluciones de la prioridad superior, entonces el riesgo debe reducirse a un nivel aceptable con el uso de elementos de diseño o dispositivos que funcionen de protección, ya sea fija, automática, o de algún otro tipo.

3. **Tercera Prioridad: Proveer dispositivos de alerta.**

Si no es posible reducir el riesgo por diseño o incorporar protecciones entonces los sistemas deben proveerse de dispositivos que detecten las condiciones peligrosas y que incluyan señales de alerta para avisar al personal sobre el peligro. Estas señales y su aplicación deben diseñarse de modo de minimizar la probabilidad de reacciones incorrectas del personal y deben estandarizarse para sistemas del mismo tipo.

4. **Cuarta Prioridad: Desarrollar y aplicar procedimientos de operación y entrenamiento.**

Cuando no son prácticas soluciones de las prioridades anteriores entonces deben considerarse procedimientos de operación y entrenamiento relevantes.

5. **Quinta Prioridad: Utilizar equipo personal de protección.**

Cuando ninguna de las anteriores soluciones es posible entonces debe proveerse al personal de equipo protector para prevenir heridas o enfermedades.

Para muchas situaciones de diseño puede aplicar una combinación de estos principios, pero no debe optarse por una prioridad de menor nivel hasta que las aplicaciones prácticas de las prioridades anteriores queden totalmente descartadas. Los primeros dos tipos de soluciones son más efectivos porque reducen el riesgo por diseño.

2.3.2 “SEGURIDAD A TRAVÉS DEL DISEÑO” (“SAFETY THROUGH DESIGN”)

La “Seguridad a través del Diseño” (“Safety Through Design”) se define como “la integración de métodos de análisis de peligros y evaluación de riesgos en etapas tempranas del diseño e ingeniería y la toma de acciones necesarias para que el riesgo de heridos y daños estén en un nivel aceptable” [Manuele, 2001].

En la figura 2.8 se presenta el modelo de seguridad a través del diseño. En la aplicación del concepto se da más énfasis en mover las consideraciones de peligros y riesgos hacia el comienzo del proceso de diseño en vez de lo que suele ser el escenario tradicional de relegarlo a etapas posteriores.

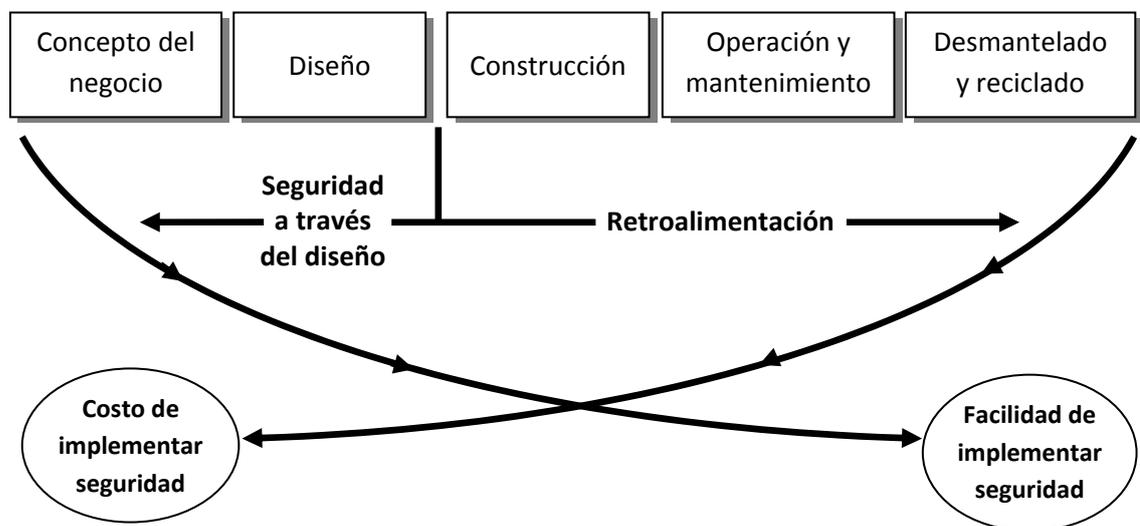


Figura 2.8. Modelo de la seguridad a través del diseño. Fuente: [Manuele, 2001].

La identificación de los accidentes potenciales en las primeras etapas de diseño mejora la eficacia de las medidas reductoras del riesgo, y al mismo tiempo disminuye los costes de su implementación. El seguimiento adecuado de los estudios incrementa su efectividad y proporciona una mejora en la seguridad y fiabilidad de la instalación industrial. Otra mejora no evidente es la disminución de los costes de operación añadidos por la indisponibilidad y los accidentes de la planta. Éstos son difícilmente cuantificables ya que no son fijos, ni aparecen en la cuenta de resultados, ni forman parte del precio final del producto [Casal *et al.*, 1999].

Las ventajas de aplicar este concepto en las etapas de diseño se pueden resumir como sigue [Institute for Safety Through Design, 2001]:

- ▶ Mejora en la productividad.
- ▶ Reducción del costo operativo.
- ▶ Evitar una costosa retroalimentación para corregir deficiencias del diseño.

- ▶ Conseguir una significativa reducción de heridas, enfermedades, daño ambiental y costos de atención.

Los beneficios de la seguridad a través del diseño han generado una tendencia y en este contexto en 1995 se establece en Estados Unidos el Instituto para la Seguridad a través del Diseño para seguir dando impulso a este concepto en el ámbito industrial, empresarial y académico [Institute for Safety Through Design, 2001].

2.3.3 CONDICIONES DE DISEÑO ESTÁNDAR DE SENDEROS INDUSTRIALES SEGUROS.

Para el diseño de senderos industriales seguros, tanto en la Seguridad de Sistemas como en la práctica tradicional de la seguridad, se tienen en consideración los siguientes aspectos normalizados como pautas de diseño:

- ▶ Ancho [AS 1657, 2002].
- ▶ Ángulo de inclinación [AS 1657, 2002].
- ▶ Tipo de superficies [ASTM F1637, 2009].
- ▶ Señalizaciones, códigos de colores y marcado de los peligros [ISO 3864, 2004; OSHA 1910.144, 2007; OSHA 1910.145, 1996].
- ▶ Cobertores, barandas y separación de “islas” [OSHA 1910.22, 1978; OSHA 1910.23, 1984].

Actualmente no se dispone de literatura que haga referencia a algún método sistemático para conseguir un diseño seguro de áreas de circulación peatonal en plantas industriales.

3. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

3.1 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

Del estado de la cuestión se derivan los siguientes puntos débiles en la tarea del diseño de áreas de circulación peatonal seguras:

- ▶ No existe un método sistemático para el diseño de áreas seguras de circulación peatonal en plantas industriales. Esto deriva en:
 - ▷ Dificultad: es fundamental la habilidad e intuición del diseñador para realizarse un esquema mental geográfico de todos los riesgos que se deben atravesar en el layout.
 - ▷ Limitaciones: el diseño queda sujeto a la intuición del ingeniero y su experiencia es el limitante de la visión de nuevas posibilidades y mejoras.
- ▶ Las técnicas de Seguridad de Sistemas dan la impresión de ser complejas (apartado 2.2.5).
- ▶ En las prácticas tradicionales las consideraciones de seguridad se postergan a etapas posteriores al diseño, lo que tiene sus desventajas asociadas (apartado 2.3.2).
- ▶ En los casos en que sí se considere la seguridad en las etapas de diseño, comúnmente las técnicas de Seguridad de Sistemas no se suelen aplicar en la industria en general que sólo presenta riesgos convencionales (apartado 2.2.5).
- ▶ En los casos que sí se aplican técnicas de Seguridad de Sistemas en la etapa de diseño, las metodologías disponibles para los senderos industriales (por ejemplo Análisis Preliminar de Peligros, What-if, Checklists) no contemplan en ningún caso el componente geográfico del riesgo, lo que conduce a un deficiente análisis que puede tener errores por no considerar que los riesgos en un punto se suman (apartado 2.2.3.2).

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

En este contexto los objetivos específicos del presente proyecto son:

- ▶ Desarrollar un método sistemático que asista en la tarea del diseño de áreas de circulación peatonal industriales privilegiando a la seguridad como criterio de éxito.
- ▶ Tomar los conceptos de “Seguridad de Sistemas” y “Seguridad a través del Diseño”, los enfoques más avanzados del mundo de la seguridad, como base fundacional del método.
- ▶ Incorporar el componente geográfico en el análisis.
- ▶ Diseñar una técnica pensando en la facilidad de utilización y la simplicidad en la presentación de resultados.
- ▶ Apuntar a la industria en general como usuario final.

4. SOLUCIÓN PROPUESTA

4.1 HERRAMIENTA PROPUESTA: “RISK LAYOUT”

4.1.1 SÍNTESIS EXPLICATIVA DE LA CONCEPCIÓN DE LA HERRAMIENTA

El diseño de las áreas de circulación peatonal de una planta industrial se enfrenta con el desafío de atravesar diversidad de riesgos en todo su trazado. De aquí nace la idea de la conveniencia que puede tener una herramienta que permita visualizar geográficamente, en un plano, los riesgos presentes en el área de trabajo.

Al tratarse esta herramienta de una representación de información en un área, es provechoso valerse de toda la teoría que se ha desarrollado detrás de la ciencia de los GIS (Geographical Information Systems).

De acuerdo a la diferenciación propuesta por los GIS entre fenómenos geográficos discretos y fenómenos geográficos continuos (ver apartado 2.1.3), se clasifica al riesgo dentro de una planta como un fenómeno continuo ya que no es un elemento con límites observables, sino un intangible que varía continuamente en el espacio. Por esta razón, para representar datos continuos de riesgos, el método idóneo resulta ser el de información raster, tal como se explica en el apartado 2.1.3.

Un raster es una trama de celdas, todas de igual tamaño, formando una matriz; lo que significa que, aunque se reproduzca un fenómeno continuo, el método de representación

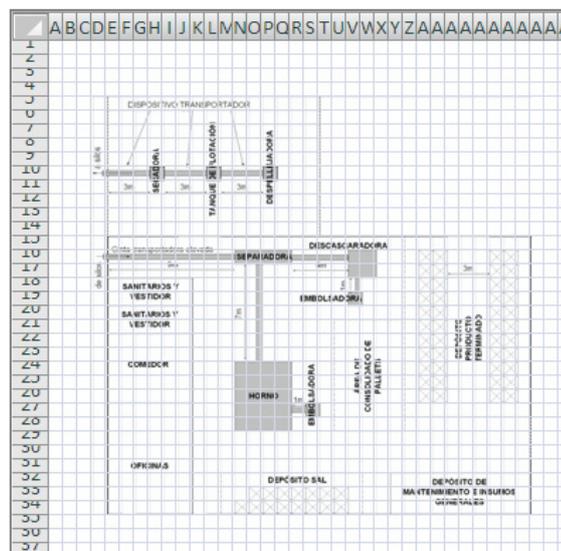


Figura 4. 1. Ejemplo de un raster sobre el plano de una planta procesadora de pistacho dibujado con MS Excel 2007.

sigue siendo discreto y las dimensiones de las celdas definen la precisión con que se describe la realidad continua. Cuanto más pequeñas son las celdas mayor es la precisión de la información, pero mayor dificultad se tiene en introducir el total de los datos. En el apartado 4.1.2.4 se explica cuál es el tamaño de celda del raster elegido para el mejor funcionamiento de la herramienta. La figura 4.1 muestra un ejemplo de una matriz raster con celdas de 1m de lado dispuesta sobre un plano de una planta industrial.

Otra de las ventajas de utilizar raster en esta herramienta es que se puede trabajar con matrices numéricas, de coordenadas (x,y) y valor z para cada celda, donde se puede hacer cálculos y es fácil vincular una matriz con otra.

La utilización de raster en GIS implica que cada celda esté definida por una coordenada y un atributo:

- ▶ La coordenada en este caso se refiere a la ubicación de la celda dentro de la matriz misma del raster. Cada coordenada georeferencia en el plano de la planta un espacio geométrico cuyas dimensiones son las de una celda.
- ▶ En cuanto al atributo de la celda, en la herramienta propuesta esto sería el riesgo que existe en el espacio geométrico georeferenciado por la celda. Como la celda debe indicar un solo valor de riesgo, al hablar del atributo riesgo de la celda entonces se hace referencia de algún modo a un valor que represente dicho riesgo sobre toda el área de la celda (ver apartado 4.1.2.5). En el caso de la herramienta propuesta el riesgo debe ser señalado para cada celda por algún índice concreto de nivel de riesgo. En la literatura existen diversos índices numéricos de riesgo; en el apartado 4.1.2.1 se propone la elección de uno de estos índices ya existentes para utilizar en la herramienta y las razones de su elección. Finalmente, se asigna una escala de colores al rango del índice de riesgo (apartado 4.1.2.3), lo que traduce al atributo numérico de cada celda en un atributo de color y esto permite tener un raster coloreado de un modo visual

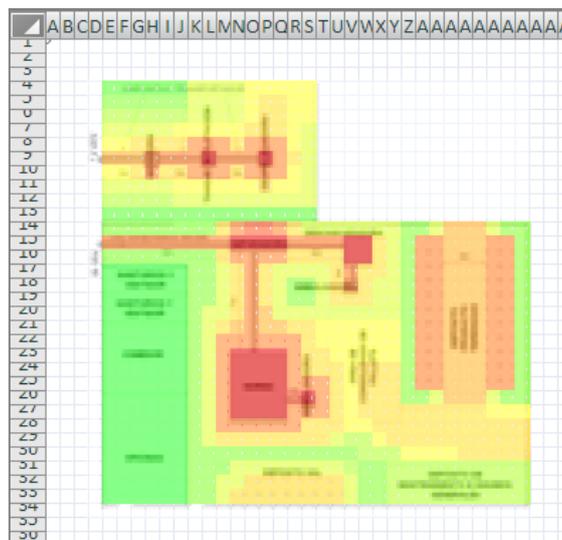


Figura 4. 2. Ejemplo de un raster con atributos de colores sobre el plano de una planta procesadora de pistacho dibujado con MS Excel 2007.

sobre el plano de la planta industrial con los distintos niveles de riesgo. En la figura 4.2 se muestra un ejemplo de cómo resulta la representación visual de los niveles de riesgo.

Al haber en una planta industrial diversidad de riesgos, es valioso aplicar aquí el sistema de capas temáticas (“layers”) que se utiliza en la ciencia de los GIS. Esto permite la realización de un mapa de distribución del riesgo (“risk layout”) aislado para cada tipo de riesgo, y por último hacer interactuar a todas las capas para obtener un único “risk layout” total, que represente completamente la distribución de riesgos total sobre el plano de la planta industrial. El modo de vincular todas las capas de riesgos para obtener un valor único de riesgo para cada celda se estudia en el apartado 4.1.2.2.

Cabe aclarar que al mencionar riesgo en la utilización de esta herramienta se trata únicamente de los riesgos laborales convencionales. Esto es porque los riesgos específicos y los riesgos mayores, por sus magnitudes superiores (ver apartado 2.2.3.4), se asumen constantes para todo el plano de trabajo, sin agregar entonces variación en el análisis de la herramienta.

Por último, para establecer un procedimiento de utilización de esta herramienta (apartado 4.1.2.7) se toma como antecedente otras metodologías ya existentes de equipos de trabajo multifuncionales, en especial para este caso se toma la premisa de las metodologías ya existentes para análisis de riesgos (apartado 2.2.2), ya que son los mismos roles, las mismas áreas funcionales y también son procedimientos que privilegian la seguridad como criterio de éxito.

4.1.2 DISEÑO DE LA BASE TEÓRICA DE LA HERRAMIENTA

4.1.2.1 Elección del modo de valorar el riesgo de un peligro particular en una ubicación geográfica

En el apartado 2.2.3 consta la gran diversidad de índices de riesgo y sus métodos de evaluación. Para la elección de un modo de evaluar el riesgo en una ubicación geográfica para atribuirle como valor a una celda se toma aquí como punto de partida lo que establece la norma MIL-STD-882D: *“La clave para el desarrollo de la mayoría de las herramientas de evaluación de riesgo es la caracterización del riesgo de accidente por severidad del accidente y probabilidad del accidente”* [MIL-STD-882D, 2000]. A su vez, el método recomendado por la misma norma para lograr este objetivo es la utilización de una matriz de riesgos.

Las matrices de riesgo son un método muy difundido en muchas aplicaciones y de suma importancia como se comenta en el apartado 2.2.3.6, donde además se mencionan sus ventajas.

Existen diversidad de matrices de evaluación de riesgo, con innumerables normas internacionales recomendando diversas configuraciones y con infinidad de aplicaciones que van, por ejemplo, desde evaluación de inversiones a protección contra ataques terroristas. Fred A. Manuele llega incluso a aconsejar que: *“Los responsables de la seguridad deberían entender que no se puede desarrollar un listado fijo de definiciones de términos de la probabilidad y severidad de los incidentes que cumpla los requerimientos de todas las situaciones. Por ello, deberían adaptar una matriz que se ajuste a los peligros, riesgos y la tolerancia de riesgo de la gerencia que comúnmente manejan”* [Manuele, 2001]. *“Que el profesional de la seguridad desarrolle una matriz y un proceso de pensamiento que se adapte a las necesidades del cliente”* [Manuele, 2003]. Considerando estas declaraciones entonces el diseño de una matriz estaría sujeta a la aplicación final y de este modo la herramienta propuesta debería modificarse en cada caso dependiendo de aspectos tales como:

- ▶ La industria de aplicación.
- ▶ El sector de la planta en particular.
- ▶ La tolerancia al riesgo de la gerencia que tome las decisiones.
- ▶ La percepción del empleado expuesto al peligro.
- ▶ El temor del público en general.
- ▶ Los intereses del cliente en particular.

Sin embargo, lo que se pretende con este proyecto es el diseño de una herramienta de carácter generalista, que facilite la tarea de quien la utilice y conseguir el objetivo en la mayoría de las situaciones posibles. Queda a criterio del usuario final de la herramienta en cada caso en particular el decidir si es imprescindible un cambio de modelo con respecto al que elige este trabajo para valorar el riesgo total en cada ubicación geográfica. De todos modos, es bueno citar en este punto las palabras de Fred A. Manuele, quien comenta en relación a las matrices de riesgo: *“Aplicar un análisis de peligro lógico y un modelo de evaluación de riesgo es más importante que cual modelo sea elegido”* [Manuele, 2003].

Para conseguir un buen índice para medir el riesgo en este trabajo se tiene en cuenta entonces:

- ▶ El uso de la herramienta por la industria en general.
- ▶ La simplicidad de uso.
- ▶ La mejor compatibilidad con el funcionamiento de la herramienta para conseguir el mejor desempeño posible de las ventajas que esta ofrece.
- ▶ Seguir en la línea de trabajo de índices y matrices ya existentes y utilizados.
- ▶ Fundarse en las normas y literatura disponible y más actual y no contradecir nada de lo existente.

4.1.2.1.1 *Diseño de las categorías de probabilidad y severidad*

Para diseñar una matriz de riesgo para la herramienta se comienza por establecer las escalas de severidad y probabilidad que conforman los ejes de la matriz. Las escalas de las matrices estandarizadas tienen valores que aumentan linealmente (1, 2, ... , n), donde cada número entero representa un rango de valores continuos de la realidad que están en otras unidades (por ejemplo accidentes por año promedio o costo en dólares promedio por accidente). Estos rangos reales asignados a cada valor de riesgo no siguen un patrón definido en las normas existentes (ver tablas 2.4 y 2.5).

Si se consigue un patrón matemático para las escalas de probabilidad y severidad esto permite más adelante una mejor comparación de los valores consiguiendo realizar algunos cálculos que son necesarios para sacar el mayor provecho de las posibilidades que brinda la herramienta.

► **Escala de probabilidad:**

Una de las recomendaciones de Pat Clemens y Rodney Simmons en el diseño de matrices de riesgo es que factores de 10 separen las categorías adyacentes de probabilidad [Clemens & Simmons, 1998]. Además, en la tabla 2.5 se consigue ver a simple vista que los rangos “Frecuente”, “Probable” y “Ocasional” que propone la norma MIL-STD-882D se pueden representar en una escala logarítmica linealizada ya que sus cotas inferiores son probabilidades de ocurrencia 10^{-1} , 10^{-2} y 10^{-3} respectivamente. Es fácil hacer esto extensivo a toda la escala. Se obtiene entonces de este modo una escala de probabilidad que es la misma propuesta por la norma pero con la única diferencia que la categoría de accidente “Remoto”, con el rango 10^{-3} a 10^{-6} , se subdivide a su vez en tres rangos: de 10^{-3} a 10^{-4} , de 10^{-4} a 10^{-5} y de 10^{-5} a 10^{-6} .

Las nuevas categorías de probabilidad propuestas resultan como muestra la tabla 4.1. En esta tabla la columna “Criterio del rango de eventos considerados” es una extensión del criterio del rango propuesto por la norma MIL-STD-882D. Se agregan además la columna “Ejemplo de frecuencia de ocurrencia” con una base anual y la columna “Guía práctica para el profesional”, ambas adaptadas de la norma AS/NZS 4360 [AS/NZS 4360 Handbook, 2004]. La columna “Índice” toma la cota mínima del rango como índice a efectos de cálculos. El rango “Improbable” no tiene límite mínimo, pero se toma como índice un valor 10 veces menor que el límite máximo del rango.

Las categorías propuestas de probabilidad se muestran de un modo más explicativo en la figura 4.3 donde se las compara con las categorías propuestas por la norma MIL-STD-882D.

► **Escala de severidad:**

Poder asignar un patrón logarítmico a la escala de probabilidad es de gran ventaja y esta misma aproximación se trata de conseguir con la escala de severidad.

Categoría	Índice	Criterio del rango de eventos considerados	Ejemplo de frecuencia de ocurrencia	Guía práctica para el profesional
Frecuente	10^{-1}	Probable de ocurrir seguido en la vida de un elemento, con una probabilidad mayor que 10^{-1} en ese período de vida.	Una vez al año o más.	Ocurre anualmente.
Probable	10^{-2}	Ocurre varias veces en la vida de un elemento, con una probabilidad de ocurrencia menor que 10^{-1} pero mayor que 10^{-2} en ese período de vida.	Una vez cada tres años.	Ocurre varias veces durante la carrera profesional.
Ocasional	10^{-3}	Probable de ocurrir a veces en la vida de un elemento, con una probabilidad de ocurrencia menor que 10^{-2} pero mayor que 10^{-3} en ese período de vida.	Una vez cada 10 años.	Ocurre alguna vez durante la carrera profesional.
Inusual	10^{-4}	Probable de ocurrir algunas veces en la vida de un elemento, con una probabilidad de ocurrencia menor que 10^{-3} pero mayor que 10^{-4} en ese período de vida.	Una vez cada 30 años.	Ocurre en algún lado de tiempo en tiempo.
Excepcional	10^{-5}	Inusual de ocurrir durante la vida de un elemento, con una probabilidad de ocurrencia menor que 10^{-4} pero mayor que 10^{-5} en ese período de vida.	Una vez cada 100 años.	Se ha escuchado que ocurrió en algún lado.
Remoto	10^{-6}	Improbable pero posible de ocurrir durante la vida de un elemento, con una probabilidad de ocurrencia menor que 10^{-5} pero mayor que 10^{-6} en ese período de vida.	Uno en 300 años.	Nunca ha escuchado que haya ocurrido.
Improbable	10^{-7}	Tan improbable que puede asumirse que no se experimentará durante la vida de un elemento, con una probabilidad de ocurrencia menor que 10^{-6} en ese período de vida.	Uno en 1000 años.	Teóricamente posible pero no es esperable que ocurra.

Tabla 4. 1. Niveles de probabilidad de accidente para la herramienta propuesta.

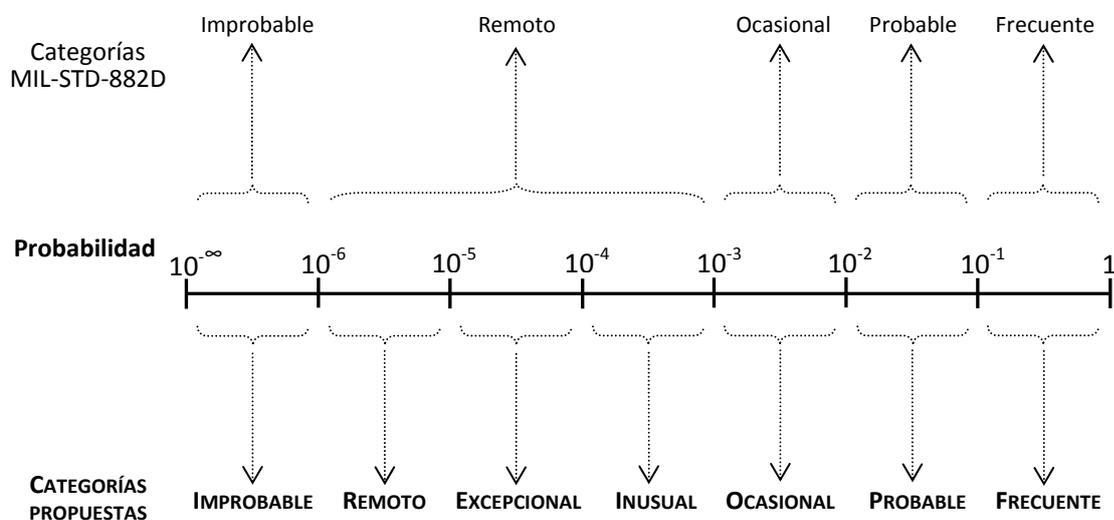


Figura 4. 3. Comparación de las categorías propuestas con las de la norma MIL-STD-882D.

Es simple realizar una escala de probabilidad ya que, al comparar accidentes, las frecuencias de ocurrencia pueden ponerse siempre en mismas unidades (por ejemplo, porcentaje promedio de días con accidente en un año). Pero no ocurre lo mismo al comparar severidades de accidentes. No es comparable una unidad de medida de número de heridos leves contra número de heridos con discapacidad, y menos aún unidades de números de heridos contra unidades de número de muertes, esto tiene además un trasfondo ético. Es muy difundida la utilización de las matrices de riesgo en la industria y en infinidad de aplicaciones, sin embargo, todas estas comparan accidentes con consecuencias muy disímiles. La medida utilizada es mediante el costo que representa el accidente, bien en indemnizaciones, reparaciones o cualquier otra consecuencia monetaria. Para conseguir un índice de riesgo aquí se sigue en la línea de trabajo de las matrices de riesgo, por lo que se utiliza la pérdida monetaria como índice de comparación de severidad.

La norma MIL-STD-882D propone categorías de rangos de severidad de accidente “Mínimo”, “Marginal”, “Crítico” y “Catastrófico” con cotas inferiores de 2.000 USD, 10.000 USD, 200.000 USD y 1.000.000 USD respectivamente (ver tabla 2.4). Se puede ver que, por más que no sea numéricamente exacto, en esencia esta escala también representa órdenes de crecimiento similar al de potencias de 10. Se propone entonces categorías de severidad de accidente como se detalla en la tabla 4.2.

Categoría	Índice	Criterio del impacto ambiental, a la seguridad o a la salud.
Catastrófico	10^6	<i>Puede resultar en muerte, discapacidad total permanente, pérdida excediendo 1.000.000 USD o daño ambiental severo irreversible que viola ley o regulación.</i>
Crítico	10^5	<i>Puede resultar en discapacidad parcial permanente, heridas o enfermedad laboral que resulte en la hospitalización de al menos tres personas del personal, pérdida excediendo los 100.000 USD pero menos de 1.000.000 USD o daño ambiental reversible que viola ley o regulación</i>
Marginal	10^4	<i>Puede resultar en herida o enfermedad laboral resultando en uno o más días perdidos, pérdida excediendo los 10.000 USD pero menos de 100.000 USD, o daño ambiental mitigable sin lugar a violación de ley o regulación donde actividades de restauración pueden conseguirse.</i>
Mínimo	10^3	<i>Puede resultar en herida o enfermedad laboral sin causar la pérdida de un día de trabajo, pérdida excediendo los 1.000 USD pero menos de 10.000 USD, o daño ambiental mínimo sin lugar a violación de ley o norma.</i>

Tabla 4. 2. Niveles de severidad de accidente para la herramienta propuesta.

En la figura 4.4 se muestran de un modo más ejemplificado las categorías propuestas. En el apartado 5.2.2.4 se comenta que ocurre si se desea trabajar con valores fuera del rango de esta figura.

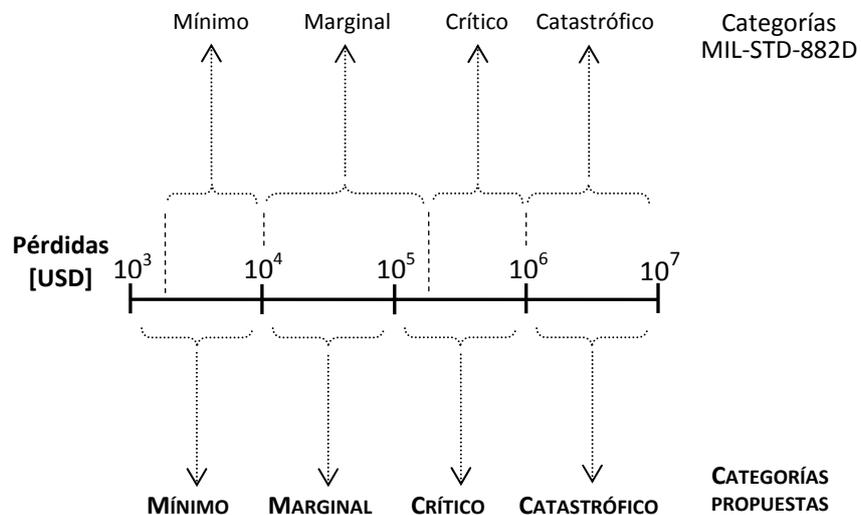


Figura 4. 4. Comparación de las categorías propuestas con las de la norma MIL-STD-882D.

4.1.2.1.2 Matriz de riesgo propuesta

Las escalas de probabilidad y severidad resultan en una matriz de doble entrada como se ilustra se ilustra en la tabla 4.3, donde se obtiene un índice de riesgo a partir de multiplicar los valores de las categorías.

PROBABILIDAD	Frecuente (10^{-1})	100	1000	10000	100000
	Probable (10^{-2})	10	100	1000	10000
	Ocasional (10^{-3})	1	10	100	1000
	Inusual (10^{-4})	0,1	1	10	100
	Excepcional (10^{-5})	0,01	0,1	1	10
	Remoto (10^{-6})	0,001	0,01	0,1	1
	Improbable (10^{-7})	0,0001	0,001	0,01	0,1
		(10^3) Mínimo	(10^4) Marginal	(10^5) Crítico	(10^6) Catastrófico
		SEVERIDAD			

Tabla 4. 3. Matriz de riesgo que resulta de las categorías propuestas.

En el apartado 5.2.1 se presenta una verificación de la representación de riesgos dada por esta matriz contrastándola con matrices estandarizadas.

4.1.2.2 Cálculo del nivel de riesgo total en una ubicación geográfica

En el apartado anterior se define el modo de asignar un valor de riesgo a un peligro particular en una ubicación geográfica particular. Cuando existe un solo peligro en una ubicación geográfica entonces este valor que se obtiene de multiplicar su probabilidad por su severidad representa también el riesgo total en esa ubicación. Pero si en un mismo punto influye el riesgo de más de un peligro entonces es necesaria una ponderación del riesgo de todos los peligros que allí impactan para obtener el riesgo total.

Las metodologías actuales cualitativas o semi-cuantitativas de evaluación de riesgos laborales que utilizan matrices de riesgo no tienen en consideración la influencia de más de un peligro en un punto ya que nunca se toma en consideración el factor geográfico. Con aquellas metodologías se evalúan todos los peligros independientemente lo que significa que en una ubicación geográfica se está considerando solamente un peligro, aquel de mayor de riesgo. De esta manera, aunque cada uno de los peligros identificados en una planta sea disminuido hasta estar por debajo del nivel de riesgo máximo aceptable elegido por la gerencia, esto no asegura que toda el área de la planta esté por debajo del nivel de riesgo tolerable; por ejemplo, dos peligros que tienen ambos un riesgo apenas inferior al máximo tolerable, cuando se suman en un mismo punto pueden aún tener juntos un riesgo mayor al máximo que se está dispuesto a aceptar.

Los métodos cuantitativos que evalúan el riesgo en una ubicación geográfica asumen que la contribución de todos los posibles riesgos es aditiva. De esta manera, se suman los riesgos de todos los peligros en aquel punto obteniendo un valor de riesgo llamado “riesgo individual” tal como se mencionó en el apartado 2.2.3.2. Para hacer esto posible es necesario que todos los riesgos estén expresados en mismas unidades. En el apartado 4.1.2.1.1, al diseñar la escala de severidades se adelanta que lo que hace posible tener las mismas unidades es uniformizar las diversas posibles consecuencias de accidentes en una escala de pérdida monetaria (en este trabajo se adopta como unidad monetaria el dólar de Estados Unidos).

Siguiendo la teoría de la suma de los riesgos, en la herramienta propuesta se tiene entonces que el índice de riesgo total en una ubicación geográfica es la suma del nivel de riesgo de todos los peligros en aquel punto. Matemáticamente esto se expresa como muestra la ecuación 4.1:

$$RT_{x,y} = \sum_{i=1}^n s_{x,y,i} P_i \quad (4.1)$$

donde $RT_{x,y}$ = índice de riesgo total en la ubicación x,y . [$USD / unidad de tiempo$].

p_i = probabilidad del incidente i ; [$incidentes / unidad de tiempo$].

$s_{x,y,i}$ = severidad del incidente i en la ubicación geográfica x,y ; [$USD / incidente$].

i = peligro.

n = número total de peligros considerados en la ubicación geográfica.

4.1.2.3 Diseño de la indicación visual de los niveles de riesgo

Una vez asignada la probabilidad y la severidad a un peligro se tiene de su multiplicación el nivel de riesgo de aquel peligro, y sumando todos los niveles de riesgo en una ubicación se tiene el nivel de riesgo total. El diseño de una matriz de riesgo cualitativa implica el asignar categorías a los niveles de riesgo; por ejemplo, la norma MIL-STD-882D separa los niveles de riesgo en cuatro categorías: alto, serio, medio y bajo (ver tabla 2.6). En los métodos semi-cuantitativos puede asignarse una categorización al igual que en los métodos cualitativos o bien pueden existir tantas categorías como celdas con niveles de riesgo diferentes haya en la matriz de riesgos.

Como es usual en los métodos semi-cualitativos, aquí no se asignan categorías a los

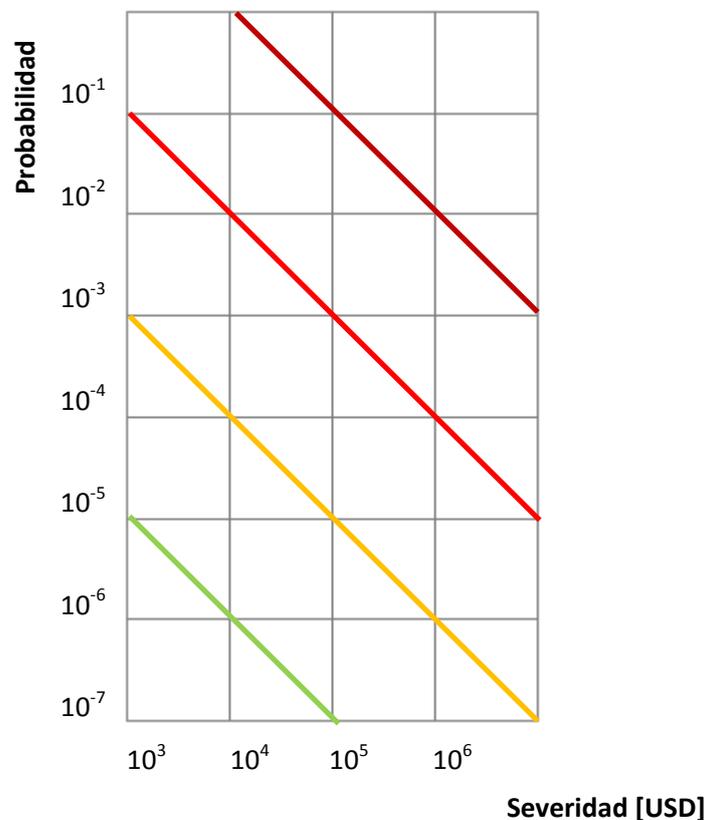


Figura 4. 5. Representación continua de los niveles de riesgo de la matriz propuesta con ejemplos de curvas de isorriesgo.

niveles de riesgo y queda a criterio del usuario de la herramienta elegir el nivel de riesgo que acepta, o bien que acciones tomar frente a cada nivel de riesgo.

Ubicando las escalas propuestas sobre un gráfico continuo se obtiene el gráfico de la figura 4.5, donde se muestran además algunas curvas de isoriesgo. Las curvas de isoriesgo son rectas ya que pertenecen al modelo cuantitativo subyacente, que en este gráfico está representado en escala logarítmica.

Para expresar los niveles de riesgo de un modo visual, conforme se pretende con la herramienta propuesta, aquí se sugiere la asignación de un gradiente de colores a las rectas de isoriesgo. Tal como es común en muchos usos familiares, se propone utilizar un gradiente de colores verde, amarillo y rojo; empezando con el verde para el menor riesgo, atravesando el amarillo y llegando al rojo para el mayor riesgo. El gradiente de colores para los niveles de riesgo se representa en el gráfico de la figura 4.6.

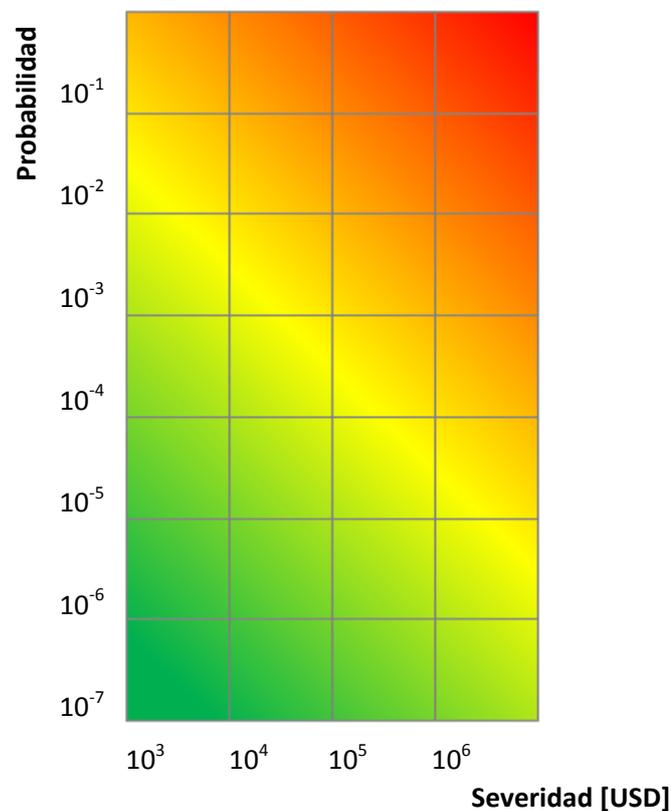


Figura 4. 6. Gradiente de colores para representar el nivel de riesgo de un modo visual.

La ubicación del color amarillo puede ajustarse a niveles más altos o más bajos de acuerdo a la aceptación de riesgo del usuario final. En la figura 4.6 el color amarillo se encuentra asignado al punto medio de la escala logarítmica.

4.1.2.4 Elección de la resolución del raster

Al evaluar el riesgo de cada peligro el equipo de trabajo debe conseguir asignar un nivel de riesgo a cada celda del raster, siendo cada celda la representación de un espacio geográfico en la planta. Cuanto menor es la cantidad de celdas a evaluar menor tediosa es la labor del equipo, pero el tamaño de la celda debe ser lo suficientemente pequeña como para conseguir resultados significativos para el fin buscado.

El apartado 2.2.4 hace referencia al antecedente del trazado de líneas de contorno de riesgo individual, otra metodología que también requiere definir un tamaño de celda para obtener resultados adecuados. En aquel caso el criterio de elección del tamaño de celda es que el valor del riesgo no sea muy diferente en dos puntos distintos dentro de la misma celda. Hay que recordar que el riesgo del apartado 2.2.4 tiene un gradiente de valores suave a largo de la superficie, ya que se trata, por ejemplo, del escape de una nube tóxica desde una fuente puntual; por ello, es difícil hacer una analogía con el caso de los riesgos laborales convencionales, donde los riesgos suelen ser puntuales como puede ser la caída de un elemento o el atrapado de una extremidad.

En el caso de la herramienta propuesta los riesgos convencionales dependen de donde esté ubicada específicamente la persona, por ello el tamaño de celda óptimo es el que pueda definir de mejor manera la ubicación puntual de una persona. Se propone en este trabajo entonces utilizar una celda de 1 x 1 m. Este tamaño de celda es conveniente debido a que:

- ▶ Es suficiente para representar la ubicación puntual de una persona.
- ▶ El riesgo no varía mucho en dos puntos distintos dentro de la misma celda. La diferencia de riesgo en dos puntos no depende ya de la ubicación de la persona sino de su postura y posición de extremidades dentro de 1m².
- ▶ El error en la apreciación del punto real del accidente no es mayor que un paso o un brazo de distancia.
- ▶ Celdas en unidades de metros facilitan la percepción de distancias del usuario de la interfaz raster.

4.1.2.5 Elección del valor representativo del área de la celda raster

El valor de nivel de riesgo que toma cada celda debe representar el riesgo que corre una persona en aquella ubicación. Usualmente en las diversas aplicaciones de GIS se trata que el atributo de la celda posea de algún modo la información promedio sobre el área de la celda.

En el apartado 2.2.4 se comenta que el cálculo del riesgo individual para trazar líneas de contorno del riesgo de sustancias tóxicas e inflamables se realiza en el punto central de cada celda, llamado “punto de cuadrícula” (o “grid point” en inglés). Tiene sentido

pensar que este punto representa bien el valor de riesgo de toda la celda para el caso de accidentes mayores ya que, por ejemplo, la dispersión de una nube tóxica tiene un gradiente suave de valores de mayor a menor de un extremo a otro de la celda, sin grandes variaciones, entonces el valor en el “punto de cuadrícula” es suficiente para estimar bien un valor promedio de todos los riesgos de la superficie de la celda.

No ocurre lo mismo al considerar riesgos laborales convencionales ya que los riesgos suelen ser puntuales y la diferencia entre un paso más o uno menos puede definir el desenlace final de un incidente. Por ello, en la herramienta propuesta no es útil buscar un valor promedio de riesgo de para peligro para toda la celda. Se opta entonces en este caso por una definición un poco más conservadora del atributo de la celda que es tomar como valor de riesgo para toda la celda el máximo valor de riesgo de cada peligro. En otras palabras, el peor desenlace de un accidente de un peligro en algún punto de la celda es aquél que define el valor de riesgo de ese peligro para toda la celda. Esto mismo se debe realizar para cada uno de los peligros presentes en una celda y la suma de todos estos riesgos (apartado 4.1.2.2) resulta en el riesgo total máximo de la celda.

4.1.2.6 Consideraciones respecto del nivel de riesgo tolerable

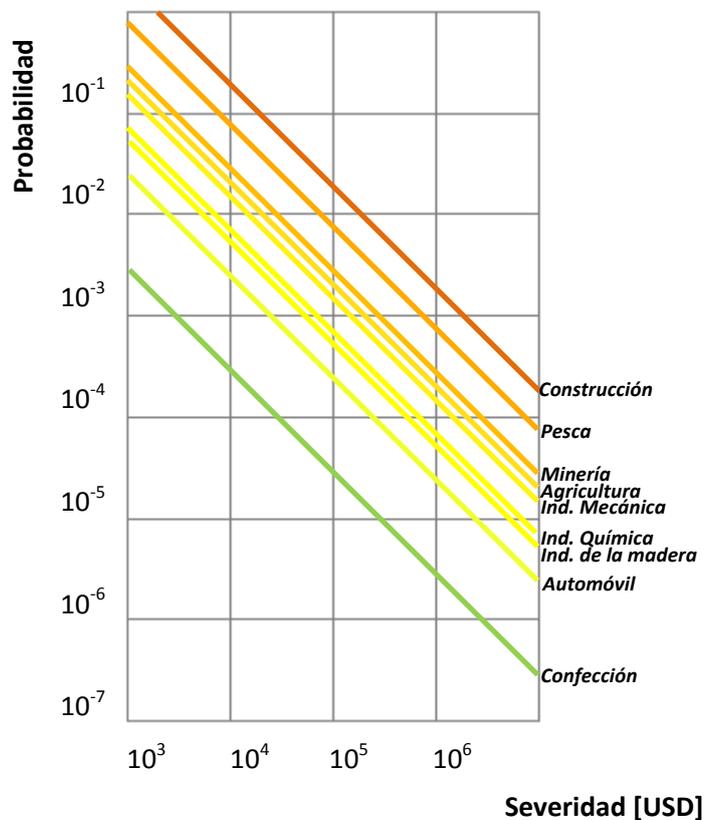


Figura 4. 7. Ejemplos de riesgos tolerables por industria.

En el apartado 2.2.3.3 se explica que el nivel de riesgo tolerable depende de cada industria y de cada caso en particular. El usuario final de la herramienta debe decidir cuál es su nivel de riesgo tolerable.

La comparación con los niveles de riesgo aceptables propuestos por las matrices de riesgo de normas es un posible antecedente en la elección del nivel tolerable. Con las categorías de riesgo establecidas por las normas MIL-STD-882D o ANSI B11.TR3 es posible determinar tanto un nivel de riesgo tolerable como un nivel urgente (ver figuras 5.5 y 5.6).

Otro modo es la comparación con las tasas de accidentes fatales de la industria en particular que se está analizando. En el gráfico de la figura 4.7 se trazan los niveles de riesgos aceptables de diversas industrias según las frecuencias de muertes por persona por año que se indican en la tabla 2.2.

4.1.2.7 Diseño del procedimiento práctico de uso de la herramienta

Finalmente, para darle a la herramienta propuesta un marco de aplicación práctico y realista, en el presente apartado se diseña una metodología de uso que se base en las actuales técnicas de análisis de riesgos (se consideran sólo las metodologías más comunes en la industria que se mencionan en el apartado 2.2.2).

Una clasificación posible para los peligros que pueden provocar accidentes en una celda es la siguiente:

- ▶ Peligros asociados a la actividad.
- ▶ Peligros asociados a la ubicación.

Los primeros son los peligros propios de la actividad realizada en aquél lugar. Estos dependen de la persona que se encuentre allí y de la acción que esté realizando en el momento en qué pueda ocurrir el accidente, el cual generalmente ocurre debido a un evento individual originado por la persona.

Los segundos peligros son los que pueden generar un incidente en el área de la celda sin depender de que se encuentre una persona allí; o sea, que el riesgo es igual para toda persona que esté en aquella ubicación, cualquiera sea la acción que se esté llevando en ese momento. Generalmente estos accidentes se deben a un evento originado fuera de la ubicación donde está la persona.

Para poder trabajar con la herramienta propuesta es deseable una metodología de identificación de peligros que permita trabajar en las etapas iniciales de diseño, cuando se dispone información no detallada sobre el riesgo, y que sea posible una visión general de los riesgos convencionales presentes. Se descarta entonces la utilización de los árboles de fallos y árboles de sucesos ya que se enfocan en análisis con un alto nivel de detalle en situaciones de extrema gravedad.

La técnica HAZOP es enfocada en la seguridad de peligros de la línea de proceso y la técnica AMFE tiene un minucioso revelamiento para la prevención de fallas de cada parte y subparte de cada sistema. Ambas pueden ser compatibles con la herramienta propuesta, especialmente con los peligros asociados a la ubicación, ya que estos se pueden producir frecuentemente a partir de eventos y fallas originados en los procesos y en los sistemas en general de la planta industrial. Las metodologías HAZOP y AMFE hacen un análisis detallado de todos los peligros en los procesos y sistemas de la planta, y los posibles accidentes no son necesariamente aquellos que ocurren en las áreas de circulación peatonal. Si se pretende generalizar la herramienta propuesta a un gran estudio que abarque todos los peligros en la planta entonces es factible la aplicación en conjunto con la técnica HAZOP o AMFE. Pero si el enfoque es hacia los accidentes particulares de las áreas de circulación peatonal, entonces la utilización de alguna de estas técnicas desvía la atención del objetivo haciendo que el estudio tenga gran complejidad. Por esta razón, en el presente trabajo, se evita la utilización de éstas técnicas.

Quedan entonces como posibles técnicas de identificación de peligros el Análisis Preliminar de Peligros, la técnica What-if y los checklists.

Para los peligros asociados a las actividades, ya existe una técnica que se enfoque en accidentes de este tipo, es la técnica Job Hazard Analysis (JHA) propuesta por OSHA. Esta técnica es análoga a un análisis What-if sobre una lista de cada uno de los pasos de una tarea, los cuales pueden ser comparados con un checklist de tareas. Se propone entonces analizar los peligros asociados a las tareas tal como lo hace la técnica JHA, organizándola en este caso de un modo sistemático según una técnica What-if/Checklist. El método consiste entonces en que un equipo de trabajo se pregunte:

- ▶ Cuáles son las personas que pueden acceder al área de la celda.
- ▶ Cuáles son las acciones que cada una realiza allí.
- ▶ Cuáles son los peligros de cada una de las acciones.

Luego de responder estas preguntas el equipo de trabajo puede sistemáticamente pasar a través de diferentes checklists de posibles personas, posibles acciones y posibles peligros para estimular nuevas ideas. En el anexo B se ejemplifican posibles checklist a utilizar para la industria en general tomando como antecedente los listados utilizados por el software de diseño seguro DesignSafe®, de la firma Design Safety Engineering Inc. [Design Safety Engineering, 2009].

Para los peligros asociados a la ubicación se entiende que el modo de encontrar la totalidad de peligros en el caso ideal es mediante técnicas más detalladas como HAZOP y AMFE; pero como se comenta anteriormente, un análisis de este tipo es de gran complejidad, requiere información que por lo general no es disponible en etapas iniciales y porque desvía la atención del objetivo buscado de la seguridad en las áreas de circulación peatonal. En este proyecto se propone entonces la realización de un Análisis Preliminar de Peligros con una búsqueda que observe según los posibles tipos de peligros (hazard-based). Se propone que el equipo de trabajo se pregunte y responda

cuáles son todos los tipos de accidentes que se pueden dar en el punto de análisis y posteriormente, cuando no surjan más ideas, entonces pasar sistemáticamente a través de un listado de tipos posibles de accidentes para estimular nuevas ideas. Un análisis de este tipo es más simple pero no asegura encontrar tantos peligros como lo hacen las técnicas de HAZOP y AMFE; queda a criterio del usuario final de la herramienta si en su caso es necesario seguir profundizando en los análisis para encontrar más peligros, tanto asociados a la ubicación como a la tarea.

Cada vez que el equipo de trabajo identifica un peligro este debe ser documentado. Los puntos mínimos indispensables a documentar para el correcto funcionamiento de la herramienta son:

- ▶ Coordenadas de la celda.
- ▶ Descripción del peligro, su consecuencia y caracterizarlo según sea propio de la tarea (¿Quién? y ¿Haciendo qué?) o propio de la ubicación.
- ▶ Severidad esperada.
- ▶ Probabilidad de ocurrencia esperada.
- ▶ Mitigación, en caso de ser necesaria.

Las coordenadas de la celda, la severidad y la probabilidad se deben documentar para que la herramienta pueda calcular el nivel de riesgo. El resto de la documentación es a fines de facilitar la mitigación del riesgo.

En la figura 4.8 se muestra el diagrama de flujo del proceso que resulta de la metodología propuesta.

Primero se debe delimitar un “área de análisis” de la instalación definiendo los límites de la superficie que entran en el estudio. Luego de delimitar una “zona de análisis” se comienza a estudiar cada una de las celdas donde una persona puede acceder. Celdas que representan lugares geográficos donde una persona no puede acceder quedan fuera del análisis (columnas, máquinas, etc.).

Seleccionada una celda donde una persona puede acceder entonces el equipo de trabajo propone quien es esa persona (inspector, personal de set-up, técnico de mantenimiento, invitado, etc.). Seleccionada una persona entonces el equipo propone las actividades que esa persona realiza allí (set-up, lubricación, caminar de paso, etc.) y para cada actividad se identifican sus posibles consecuencias negativas. De existir una consecuencia negativa posible entonces esta se documenta según lo indicado anteriormente.

Una vez no se identifiquen más peligros relacionados con una actividad entonces el equipo revisa un checklist de posibles peligros como se ejemplifica en la tabla anexa B.3 con el propósito de reconocer peligros que hayan quedado fuera del análisis. Del mismo modo, una vez no se identifiquen más actividades para una persona entonces el equipo revisa un checklist de actividades como el del ejemplo en la tabla B.2 y cuando no se identifiquen más personas entonces el equipo revisa un checklist como el de la tabla B.1.

Cuando se terminan se identificar los peligros asociados a la actividad entonces se

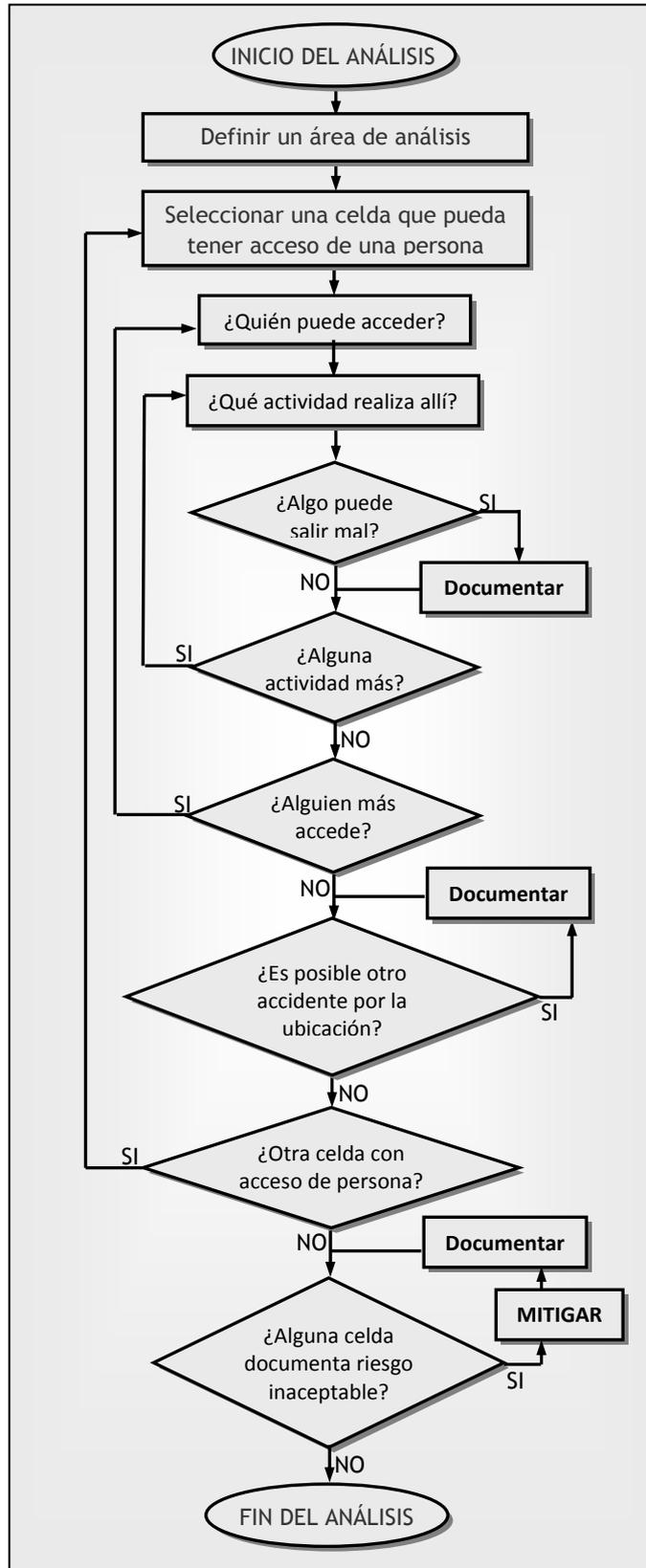


Figura 4. 8. Diagrama de flujo de la metodología de uso de la herramienta propuesta

deben analizar los relacionados con la ubicación. En este caso el equipo propone todos los posibles tipos de accidentes que puedan darse allí de acuerdo a antecedentes y su experiencia. Cada posible accidente identificado se debe documentar como según lo indicado anteriormente. Una vez no se encuentren más peligros entonces se revisa un checklist de posibles accidentes como se ejemplifica en la tabla B.3 de modo de motivar nuevas ideas.

Al momento de obtener el nivel de riesgo total en una celda, el riesgo para cada persona es diferente, pero el riesgo de que ocurra un accidente a alguien en la celda es la suma de todos los riesgos. De este modo se tiene la fórmula 4.2.

$$RT_{x,y} = \left(\sum_{j=1}^m RTA_{x,y,j} \right) + RTU_{x,y} \quad (4.1)$$

Donde $RT_{x,y}$ = Nivel de riesgo total en la ubicación geográfica x,y .

$RTA_{x,y,j}$ = Nivel de riesgo total de los peligros asociados a la actividad de la persona “ j ”.

$RTU_{x,y}$ = Nivel de riesgo total de los peligros asociados a la ubicación (riesgo para todas las personas).

j = Persona.

m = Número total de personas que puede acceder a la ubicación geográfica.

Finalmente, después de documentar y ponderar todos los riesgos, de existir una celda para una persona con nivel de riesgo total inaceptable entonces se debe mitigar el riesgo, comenzando por los riesgos de mayor nivel, hasta llegar a un nivel de riesgo total aceptable. Las celdas deben observarse en conjunto para buscar mejores soluciones (por ejemplo, un cambio de recorrido del personal, o una alarma para todo un sector). Las soluciones a aplicar deben seguir el orden de prioridad establecido en el apartado 2.3.1. El equipo de trabajo realiza un brainstorming y propone la mejor solución; posteriormente se revisa un checklist de varios métodos posibles de solución en caso de que puedan existir mejores ideas. La tabla B.4 presenta un ejemplo de checklist de posibles soluciones de reducción de riesgo. El nuevo nivel de riesgo obtenido debe ser documentado nuevamente. El proceso se repite hasta que no haya celdas con nivel de riesgo inaceptable.

De este modo se consigue un procedimiento de diseño sistemático de áreas de circulación peatonal de una industria priorizando a la seguridad como criterio de éxito. A la herramienta propuesta con el funcionamiento teórico diseñado en el apartado 4.1 se le designa el nombre “Risk Layout” a partir de aquí.

5. VALIDACIÓN DEL MÉTODO

5.1 CREACIÓN DE APLICACIÓN INFORMÁTICA CON LAS PAUTAS DE LA BASE TEÓRICA

En el presente apartado se pretende encontrar un modo de aplicación de la herramienta Risk Layout a nivel experimental, para ello se decide crear una aplicación informática que ayude al usuario en las tareas requeridas por el método. Es valioso también tener en cuenta aquí la posibilidad de que en un futuro se continúe desarrollando la herramienta para futuras líneas de trabajo, proyectando el uso a más aplicaciones además de la de este trabajo, tanto en ámbitos académicos como profesionales.

5.1.1 ALCANCE Y LÍMITES DE LA APLICACIÓN INFORMÁTICA Y ELECCIÓN DEL MODO DE CREACIÓN.

En el apartado 2.1.7 se explica la gran diversidad de softwares GIS en el mercado. Para utilizar un software GIS para aplicar la herramienta Risk Layout este debería cumplir al menos algunas condiciones tales como:

- ▶ Cargar plano de planta y escalarlo de un modo sencillo.
- ▶ Editar raster de una manera simple, tanto los atributos numéricos como el color.
- ▶ Fácilmente realizar operaciones entre capas.
- ▶ Compatibilidad con cualquier ordenador.
- ▶ Simple instalación.
- ▶ De preferencia un software gratuito.
- ▶ Interfaz de uso intuitivo para cualquier usuario evitando cursos.
- ▶ Disminuir la oposición a la nueva herramienta en un equipo de trabajo.
- ▶ Clara presentación a personal fuera del equipo de trabajo.
- ▶ Posibilidades de futuros desarrollos de la herramienta.

Los actuales softwares GIS disponibles de por sí son todos una nueva interfaz para el usuario, implican instalar un nuevo programa, requieren un tiempo de estudio o asimilación para conocer su funcionamiento para cargar planos, editar el raster y programar las operaciones. Esto significa que al aplicar la herramienta siempre tiene que haber alguien en el equipo de trabajo que conozca el software GIS y que previamente prepare el programa para ser utilizado. Además no todos los programas GIS existentes permiten operaciones entre capas y estas operaciones suelen ser tediosas ya que deben ser programadas.

Por ello, en este proyecto se evalúa como la mejor opción la creación de una nueva aplicación informática específica para el Risk Layout, que guíe por sí misma al usuario en la aplicación del procedimiento del método, omitiendo toda problemática ajena a la herramienta teórica y el objetivo de la seguridad laboral. El propósito es que la herramienta informática se acerque a conseguir que el número y complejidad de las tareas del usuario se reduzcan hasta consistir exclusivamente en seguir el método descrito en el apartado 4.1.2.7.

Sin embargo, cabe aclarar aquí que por más que se apunte a crear una buena aplicación informática, el objetivo de la tesis no es hacer hincapié en la creación de un nuevo software, sino abrir el camino para la nueva herramienta del Risk Layout, dándole vida al método y posibilitando su prueba y futuro desarrollo.

Para crear dicha herramienta se decide trabajar sobre Microsoft Excel con la programación de Macros en Microsoft Visual Basic.

5.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS DE LA APLICACIÓN INFORMÁTICA

Las tareas pertenecientes a los pasos del método del Risk Layout que realiza un equipo de trabajo (ver figura 4.10) se pueden resumir en:

- ▶ Brainstorming y acuerdo sobre los usuarios sometidos al riesgo que acceden a cada celda y posterior revisión del correspondiente checklist.
- ▶ Brainstorming y acuerdo sobre las actividades de cada usuario y posterior revisión del correspondiente checklist.
- ▶ Brainstorming y acuerdo de los peligros existentes y su probabilidad y severidad, con posterior revisión del correspondiente checklist.
- ▶ Brainstorming y acuerdo de las mitigaciones del riesgo y revisión del correspondiente checklist.
- ▶ Documentación.

Las tareas que requiere realizar el usuario pero que se encuentran fuera del diagrama de flujo del método del Risk Layout son:

- ▶ Tomar un plano del área de análisis y colocar sobre este una cuadrícula raster.
- ▶ Ajustar el plano o la cuadrícula para que ambos estén a la misma escala.
- ▶ Repetir las dos tareas anteriores tantas veces como capas temáticas (layers) sean necesarias.
- ▶ Multiplicar severidad y probabilidad de cada riesgo de cada celda de cada capa.
- ▶ Sumar el riesgo subtotal en cada celda de cada capa.
- ▶ Asignar atributo nivel de riesgo a cada celda de cada capa.
- ▶ Sumar capas temáticas entre sí para obtener riesgos totales.
- ▶ Asignar atributo nivel de riesgo a cada celda del riesgo total.
- ▶ Colorear las celdas según el nivel de riesgo.

El objetivo específico de la aplicación informática es automatizar todas las tareas que requiere realizar el usuario pero que se encuentran fuera del diagrama de flujo del método del Risk Layout y además proveer elementos que faciliten, ordenen y simplifiquen la realización de las tareas que sí pertenecen al diagrama de flujo del método.

Si la herramienta informática cumple el objetivo específico anterior entonces es posible experimentar la dinámica de trabajo que propone el método, analizando si representa un método simple o complejo para el usuario final e identificando posibles errores del método.

5.1.3 CREACIÓN DE LA APLICACIÓN INFORMÁTICA

A partir de los objetivos específicos se diseña una aplicación que consiste en un libro de Excel con tres hojas:

1. **Establecer plano:**

Interfaz con el propósito de automatizar las tareas de colocar cuadrículas raster sobre el plano de la planta, igualar la escala del plano y el raster y repetir la operación con todas las capas temáticas que sean necesarios. El usuario debe pegar una imagen de su layout y ajustarla sobre una cuadrícula con una escala definida. El comando “Establecer área de trabajo” crea la hoja “Risk Layout” con todas las capas necesarias; en la figura C.1 se puede ver el código de programación en Visual Basic. En la figura 5.1 se muestra la interfaz de la primera hoja con un ejemplo de un plano de planta.

2. **Documentación:**

Esta hoja es la principal del libro donde se documenta toda la actividad del equipo de trabajo. La hoja incluye una planilla donde documentar ordenadamente:

- ▷ **Celda:** Celda de análisis.
- ▷ **Usuario/Capa:** Capa en análisis. Existe una capa para cada posible más una capa para los peligros propios de la ubicación. Este campo puede llenarse a partir de una lista desplegable como se muestra en la figura 5.2.
- ▷ **Actividad:** Actividad que realiza el usuario. Puede elegirse de un checklist desplegable sugerido.
- ▷ **Peligro:** Peligro identificado que impacta en la celda. Puede elegirse de un checklist desplegable.
- ▷ **Descripción del Peligro**
- ▷ **Severidad:** Puede elegirse de un checklist desplegable.
- ▷ **Probabilidad:** Puede elegirse de un checklist desplegable.

- ▷ **Riesgo:** Cálculo automático de multiplicar severidad y probabilidad.
- ▷ **Orden de Solución:** Orden de prioridad de la mitigación del riesgo de acuerdo al apartado 2.3.1.
- ▷ **Solución:** Puede elegirse de un checklist desplegable.
- ▷ **Descripción de la Solución**

El comando “Actualizar Risk Layout” realiza el cálculo de sumar todos los riesgos en cada celda de cada capa, sumar todos los riesgos de todas las capas y asignar los atributos de colores a las capas de la hoja “Risk Layout”. El código de programación Visual Basic se muestra en la figura C.2.

En la figura 5.3 puede verse una imagen general de esta interfaz.

3. Risk Layout:

Interfaz donde se muestra la distribución geográfica del riesgo (Risk Layout). Es el resultado automático de la información documentada por el equipo en la segunda hoja. Allí se encuentran todas las capas temáticas con sus niveles de riesgo y además el plano con el resultado del riesgo total. En la figura 5.4 se muestra un ejemplo de la hoja Risk Layout con un plano una vez analizado por el equipo de trabajo.

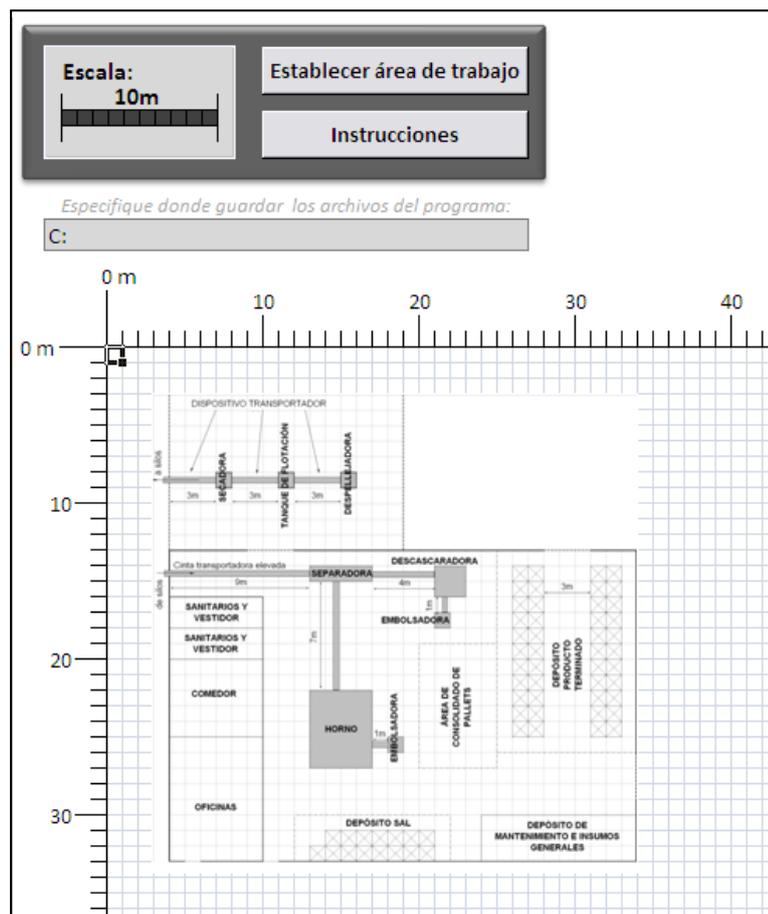


Figura 5. 1. Imagen de la interfaz de la hoja “Establecer Plano”.

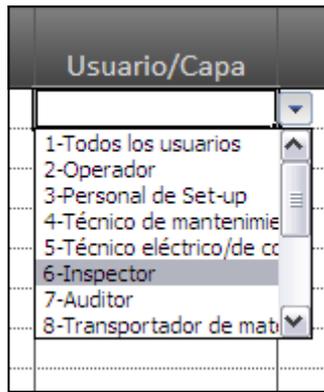


Figura 5. 2. Ejemplo de menú desplegable.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L					
	Actualizar Risk Layout	Vinculos a capas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
			Celda	Usuario/Capa	Actividad	Peligro	Descripción del Peligro	Severidad	Probabilidad	Riesgo	Orden de Solución	Descripción de Solución					
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	
24																	
25																	

Figura 5. 3. Imagen general de la interfaz de la hoja “Documentación”.

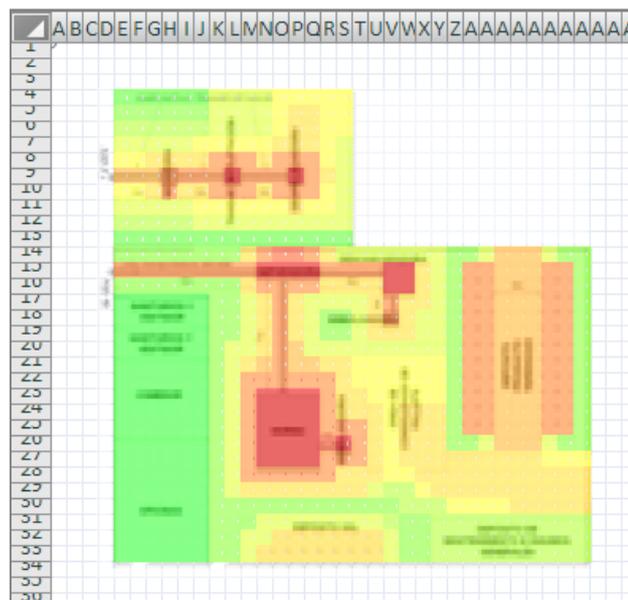


Figura 5. 4. Ejemplo de la hoja Risk Layout con un plano una vez analizado por el equipo de trabajo.

5.2 VERIFICACIONES DEL MÉTODO

El presente apartado tiene como objetivo validar la solución propuesta:

- ▶ verificando que su funcionamiento no contradice a las metodologías actuales,
- ▶ demostrando que los resultados aportados son en ocasiones aún mejores que los que se obtienen con las técnicas disponibles y
- ▶ experimentando el funcionamiento de la técnica con algunos ejemplos.

5.2.1 VERIFICACIÓN TEÓRICA

Todo el desarrollo de la técnica del Risk Layout se basa en teorías ya existentes (apartado 4.1); pero hay un punto específico del diseño de la herramienta donde se proponen algunas modificaciones bajo ciertos supuestos.

En el apartado 4.1.2.1.1 se proponen algunas adaptaciones de las matrices de riesgo estandarizadas para obtener una matriz de riesgo que permite el funcionamiento de la herramienta del Risk Layout. Aún cuando dichas modificaciones tienen una razonada justificación y además son realizadas bajo pautas recomendadas para el diseño de matrices de riesgo, es conveniente verificar que la nueva matriz de riesgo propuesta consigue una representación válida de los riesgos según las matrices de las normas ya existentes. Para ello se realizan aquí algunas comparaciones de los números que en el fondo muestran las matrices de riesgo.

Valiéndose de las escalas de las figuras 4.3 y 4.4 es posible dibujar los niveles de riesgo de otras matrices sobre un trazado como el de la figura 4.5 que es un gráfico continuo de la matriz propuesta para la herramienta. Los niveles de riesgo de la matriz de la norma MIL-STD-882D sobre la matriz propuesta se muestran en el gráfico de la figura 5.5.

En la figura 5.5 se pueden ver también dos curvas iso-riesgo. La roja es la curva correspondiente a todos los valores de probabilidad y severidad del modelo cuantitativo que multiplicados dan 1000, y la curva verde para el valor de 100.

El mismo procedimiento de comparación de niveles de riesgo también puede ser realizado con la matriz de la norma ANSI B11.TR3 obteniendo así el gráfico de la figura 5.6; pero hay que tener en cuenta que las categorías de esta norma no indican valores numéricos contra los cuales comparar, por ello en este caso el gráfico es una aproximación sujeta a una interpretación subjetiva de las categorías. Las categorías de probabilidad y severidad de la matriz de riesgo de la norma ANSI B11.TR3 pueden verse en el anexo A.

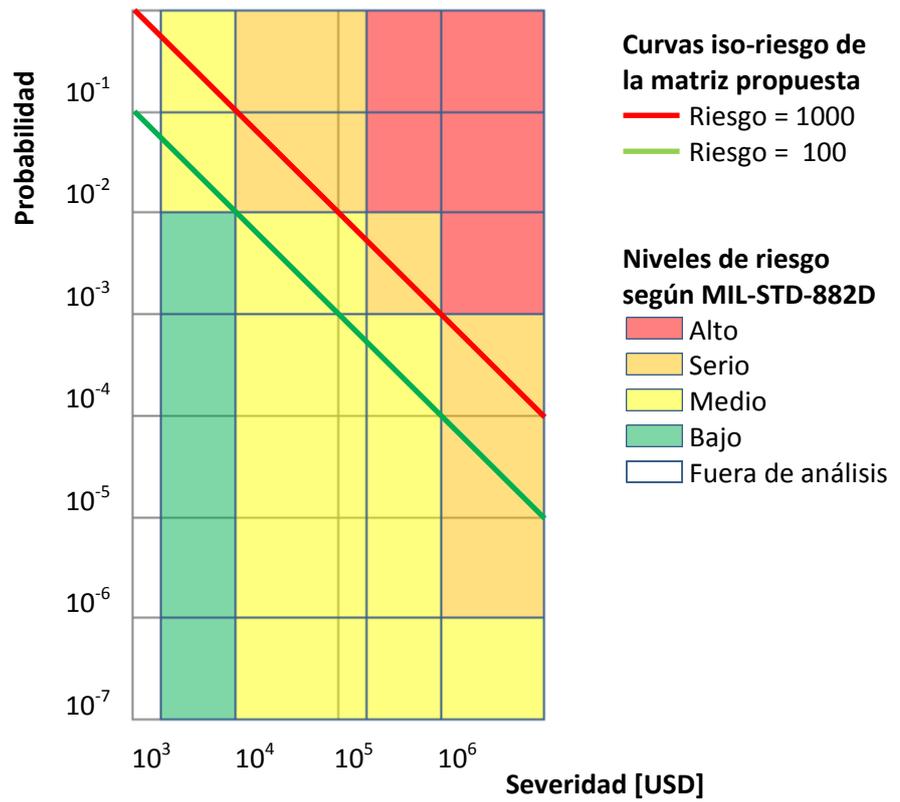


Figura 5. 5. Niveles de riesgo de la matriz de la norma MIL-STD-882D sobre las escalas de la matriz propuesta.

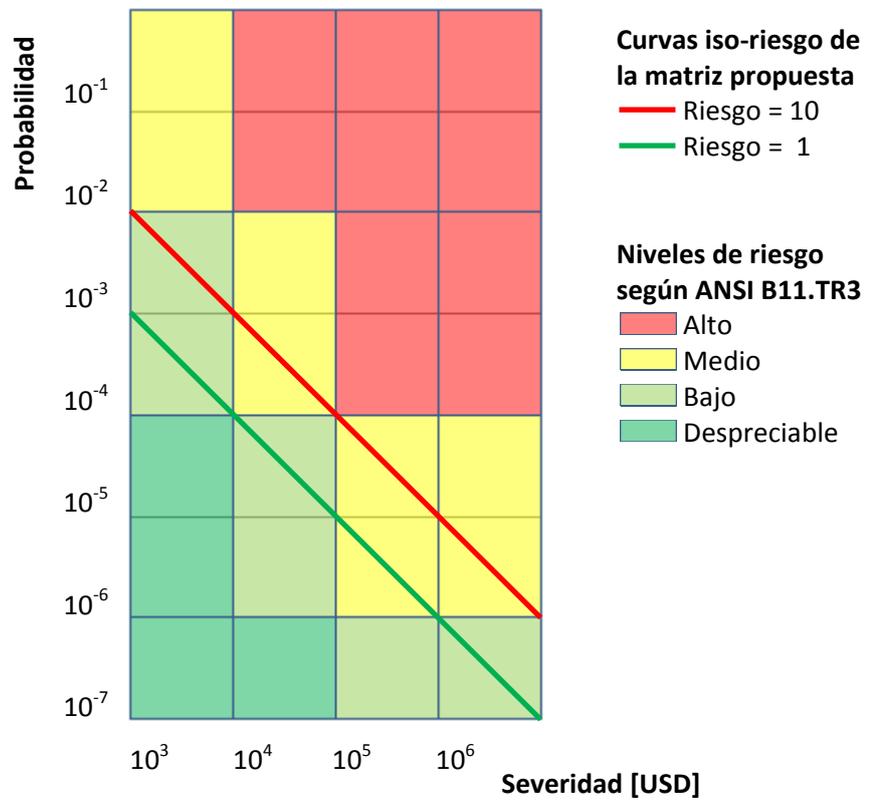


Figura 5. 6. Niveles de riesgo de la matriz de la norma ANSI B11.TR3 sobre las escalas de la matriz propuesta.

Conclusiones que se desprenden de los gráficos de las figuras 5.5 y 5.6:

- ▶ En la figura 5.5, la curva iso-riesgo de la matriz propuesta con menor valor que representa el menor nivel de riesgo en la categoría de riesgo “alto” según la norma MIL-STD-882D es la curva de valor 1000. Esta curva en ningún punto llega a coincidir con el riesgo de un peligro que según la norma tiene nivel “bajo” ya que el nivel de riesgo más alto de esta categoría según la matriz propuesta es el de valor 100. De este modo se verifica que si los niveles de prioridades de riesgo de la norma se asignan a la matriz propuesta entonces la matriz propuesta estaría cumpliendo el axioma “consistencia tenue” (ver apartado 2.2.3.9); esto significa que el modelo cuantitativo subyacente a la matriz propuesta no contradice a la norma MIL-STD-882D en sus asignaciones de prioridades. Además, se verifica el axioma de “valor intermedio” ya que al pasar de cualquier punto de la categoría inferior a la mayor siempre se cruza por una categoría intermedia.
- ▶ En la figura 5.6, la curva iso-riesgo de la matriz propuesta con menor valor que representa el menor nivel de riesgo en la categoría de riesgo “alto” según la norma ANSI B11.TR3 es la curva de valor 10. Esta curva en ningún punto llega a coincidir con el riesgo de un peligro que según la norma tiene nivel “despreciable” ya que el nivel de riesgo más alto de esta categoría según la matriz propuesta es el de valor 1. De este modo se verifica que si los niveles de prioridades de riesgo de la norma se asignan a la matriz propuesta entonces la matriz propuesta estaría cumpliendo el axioma “consistencia tenue” (ver apartado 2.2.3.9). Se puede decir que el modelo cuantitativo subyacente a la matriz propuesta no contradice a la norma ANSI B11.TR3 en sus asignaciones de prioridades. Además, se verifica el axioma de “valor intermedio” ya que al pasar de cualquier punto de la categoría inferior a la mayor siempre se cruza por una categoría intermedia.

5.2.2 VERIFICACIÓN PRÁCTICA

La realización de un estudio completo de análisis de riesgos excede ampliamente los límites de esta tesis, por ello se opta aquí por formular dos ejemplos hipotéticos de aplicación que prueban el funcionamiento del método a través de la aplicación informática y que además sirven para comparar y explicar las virtudes de la herramienta frente a las técnicas actuales.

5.2.2.1 Ejemplo de las mejores apreciaciones por la incorporación del factor geográfico – Caso del amolado de piezas de fundición.

Un ejemplo clásico utilizado por OSHA es el caso del amolado de piezas de fundición. El caso consiste en un trabajador que toma una pieza de fundición de un canasto, la amuela y finalmente ubica la pieza en otro canasto de producto terminado. En el ejemplo se identifica el peligro de la caída de una pieza con el riesgo de herir seriamente los pies del trabajador y se determina finalmente proveer al trabajador de calzado de seguridad [OSHA 3071, 2002].

En la figura 5.7 se presenta un esquema geográfico de la situación:

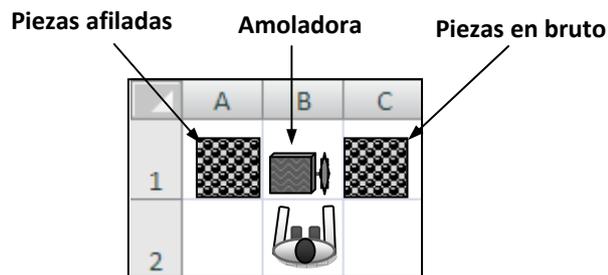


Figura 5. 7. Esquema geográfico del ejemplo.

Esta información se puede documentar de acuerdo al apartado 4.1.2.7 como muestra la tabla 5.1.

Ubicación	Persona	Peligro	Probabilidad	Severidad	Riesgo	Mitigación
B2	Operador de amoladora	Caída de pieza en los pies	10^{-1}	10.000	1.000	Calzado de seguridad

Tabla 5. 1. Documentación sintética del ejemplo.

La documentación de la tabla 5.1 se condice con la determinación del ejemplo de OSHA en la necesidad de mitigar el riesgo porque el nivel de riesgo que obtiene la herramienta de Risk Layout es de índice 1.000 y este es mayor que el máximo tolerable para la industria mecánica (ver figura 4.7) cuyo valor es 140, por lo tanto la tabla 5.1 también indica que es necesaria una solución al riesgo. Asumiendo que no es posible una solución de más alta prioridad (apartado 2.3.1) para evitar la caída de la pieza sobre los pies entonces resulta necesaria una solución mediante equipo de protección personal como es el calzado de seguridad.

En la tabla 5.1 simplemente se presenta la misma información del ejemplo de OSHA pero según el formato de documentación de la herramienta del Risk Layout. Si ahora además se realiza un análisis de la misma situación pero según la metodología propuesta por el apartado 4.1.2.7 entonces la nueva documentación puede resultar como muestra la tabla 5.2.

Ubicación	Persona	Peligro	Probabilidad	Severidad	Riesgo	Mitigación
A2	Todas	Caída de pieza en los pies	10^{-2}	10.000	100	
		Golpeado por pieza afilada al ser trasladada por el amolador	10^{-2}	10.000	100	
B2	Operador de amoladora	Caída de pieza en los pies	10^{-1}	10.000	1.000	Calzado de seguridad
C2	Todas	Caída de pieza en los pies	10^{-2}	10.000	100	
		Golpeado por pieza afilada al ser trasladada por el amolador	10^{-2}	10.000	100	

Tabla 5. 2. Análisis del riesgo con mitigación según técnicas actuales.

Hasta este punto las metodologías actuales de análisis de riesgo (What-if, Análisis preliminar de riesgos, etc.) pueden obtener la misma documentación de la tabla 5.2 y al identificar un riesgo mayor que el tolerable, como es el caso de la caída de una pieza sobre los pies del operador de la amoladora, entonces determinan la necesidad de una mitigación, como puede ser la de utilizar calzado de seguridad.

Sin embargo, si se analiza esta documentación según la perspectiva del Risk Layout se obtiene la figura 5.8.

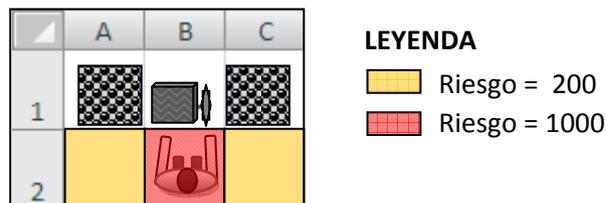


Figura 5. 8. Representación según la herramienta del Risk Layout.

En la figura 5.8 se puede ver que al sumar todos los riesgos en la celda A2 y todos los riesgos en la celda C2 el nivel de riesgo total resulta de 200 en cada una. Este valor es mayor que 140, el máximo tolerable para la industria mecánica, por lo tanto también es necesaria una mitigación al riesgo. Una posible mitigación al riesgo en este caso es la inclusión de una baranda con puerta alrededor de las ubicaciones A2, B2 y C2 para restringir que acceda otra persona que no sea el operador de la amoladora y colocar un rodapié a la baranda para evitar que las piezas que caigan reboten o rueden y golpeen a otras personas fuera del área del operador de la máquina; de no ser esto posible puede

marcarse el suelo delimitando visualmente las áreas seguras y el área operativa. La documentación resultante de un análisis Risk Layout es como la que se muestra en la tabla 5.3.

Ubicación	Persona	Peligro	Probabilidad	Severidad	Riesgo	Mitigación
A2	Todas	Caída de pieza en los pies	10^{-2}	10.000	100	Permitir acceso sólo al operador (barandas o marcado de suelo)
		Golpeado por pieza afilada al ser trasladada por el amolador	10^{-2}	10.000	100	
B2	Operador de amoladora	Caída de pieza en los pies	10^{-1}	10.000	1.000	Calzado de seguridad
C2	Todas	Caída de pieza en los pies	10^{-2}	10.000	100	Permitir acceso sólo al operador (barandas o marcado de suelo)
		Golpeado por pieza afilada al ser trasladada por el amolador	10^{-2}	10.000	100	

Tabla 5. 3. Análisis de riesgos con mitigación según la metodología del Risk Layout.

Con este ejemplo se verifica como la herramienta del Risk Layout puede proveer mejores resultados que las técnicas actuales al considerar el factor geográfico del riesgo.

5.2.2.2 Ejemplo de la ayuda proporcionada en la visión geográfica de los riesgos para facilitar la toma de decisiones.

Supóngase el caso de un análisis de riesgos que según la metodología del Risk Layout resulta como muestra la figura 5.9. Con la presentación de la distribución de riesgos que ofrece esta figura se facilita la deducción de soluciones teniendo una imagen más amplia de los riesgos presentes. Por ejemplo, en la planta representada se tienen las siguientes situaciones:

- Existe un área de cierto riesgo por donde circulan autoelevadores, esta zona funciona además como sendero peatonal para trasladarse del área del dock hacia el área de picking y el almacén de repuestos pequeños, por ello es necesario que esta zona esté muy bien señalizada y además que los conductores de autoelevadores extremen las medidas de precaución y bajen su velocidad de operación.

- b. Toda la zona de la planta que no sean oficinas tiene la restricción de utilizar calzado de seguridad. Cada vez que personal de la oficina, como un comprador, requiere ir de su oficina al almacén de repuesto pequeños entonces debe proveerse de calzado de seguridad, y lo mismo toda persona que lo acompañe (proveedor, etc.).

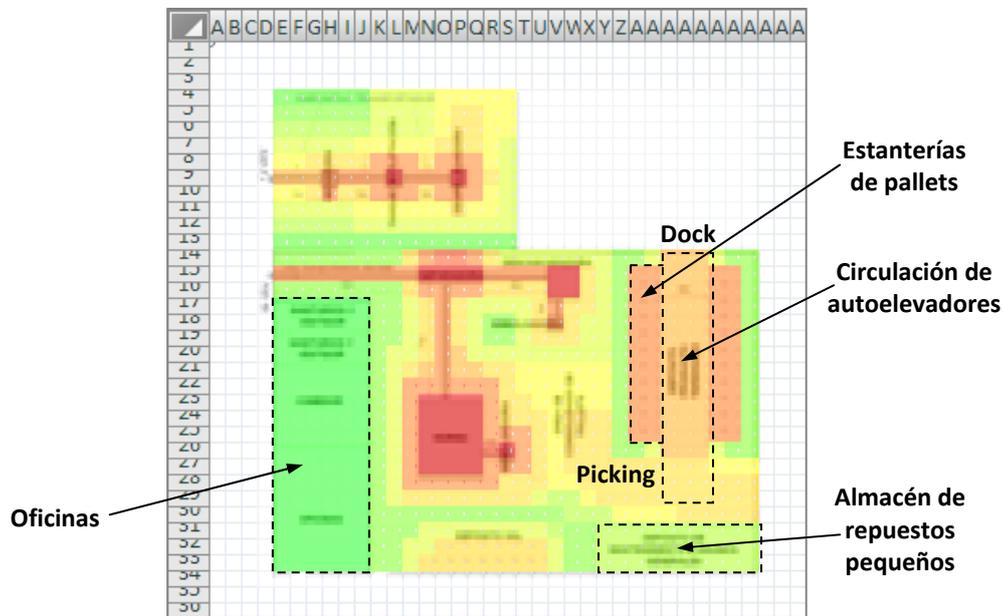


Figura 5. 9. Ejemplo del resultado de un análisis de riesgos según el Risk Layout.

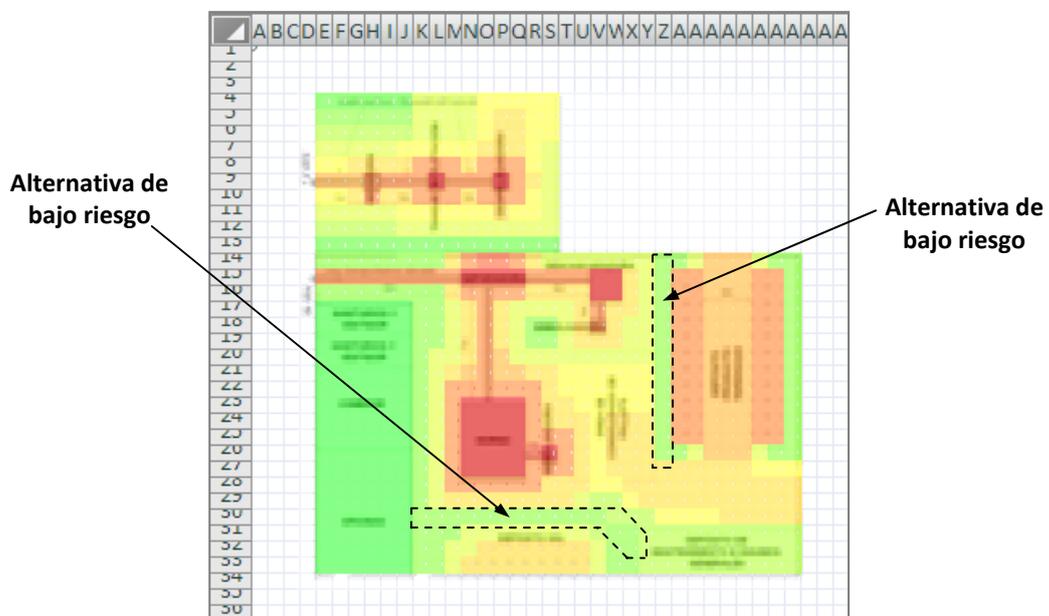


Figura 5. 9. Ejemplo de visualización de nuevas alternativas facilitada por el Risk Layout.

Para la situación “a” existen ciertas medidas de tercera y cuarta prioridad según el apartado 2.3.1, que son la señalización y el aviso a todo el personal de tomar mayor precaución al caminar por la zona del almacén. Sin embargo, si se considera la figura

5.10 se puede observar que detrás de las estanterías de pallets existe la posibilidad de desviar todo el flujo peatonal por un camino de menor riesgo, lo que representa una solución de “prioridad superior” consiguiendo que la seguridad surja desde el diseño mismo.

Para la situación “b”, que obliga a todos a utilizar calzado de seguridad, se puede ver que para el uso que le da el comprador y el proveedor visitante no es imprescindible la utilización de calzado especial ya que el recorrido de la oficina al almacén de repuestos pequeños puede ser realizado enteramente por un recorrido seguro como el indicado en la figura 5.10. La solución puede ser entonces demarcar un camino seguro, que incluso puede tener barandas limitando por donde sí es posible circular sin calzado de seguridad.

Con estos ejemplos hipotéticos se pretende explicar cómo es que una presentación de la información con una herramienta como el Risk Layout puede asistir en el análisis de alternativas de diseño.

5.2.2.3 Resultado del procedimiento de aplicación de la aplicación informática.

En todos los casos que se experimenta con la aplicación informática el procedimiento de uso resulta ser como sigue:

1. Tareas realizadas sólo una sola vez en el primer uso de la herramienta:
 - ▷ Pegar imagen del plano a analizar en hoja “1 – Establecer plano”.
 - ▷ Ajustar el tamaño de la imagen para estar en escala con la cuadrícula.
 - ▷ Hacer click en “Establecer área de trabajo”.
2. Tareas realizadas sucesivamente hasta completar el análisis:
 - ▷ Ir a un layer en hoja “3 – Risk Layout” y elegir una ubicación en el plano.
 - ▷ Completar la documentación de dicha ubicación en la hoja “2 – Documentación”
 - ▷ Hacer click en “Actualizar Risk Layout” para al finalizar la documentación.
 - ▷ Mitigar los riesgos que excedan un nivel tolerable preestablecido.

5.2.2.4 Dependencia de la industria de aplicación.

Uno de los objetivos del diseño del método es que éste sea aplicable a toda la industria en general. Se han identificado dos puntos del método que dependen de la industria en estudio:

- ▶ El nivel de riesgo tolerable.
- ▶ El rango de severidades que maneja el tipo de industria.

El primer punto no representa ningún inconveniente ya que implica simplemente elegir un número del gráfico de la figura 4.7 contra el cual comparar.

El segundo punto pareciera en un principio representar un inconveniente ya que la matriz de riesgo diseñada tiene un rango definido de severidades, sin embargo esto no representa ningún conflicto. La razón por la que esto no afecta en lo más mínimo al método es que la severidad puede tomar cualquier valor numérico más allá de los cuatro planteados por la matriz de riesgo.

Los cuatro rangos de la matriz propuesta son “Catastrófico”, “Crítico”, “Marginal” y “Mínimo”, correspondientes respectivamente a pérdidas entre diez millones y un millón de dólares, pérdidas entre un millón y cien mil dólares, pérdidas entre cien mil y diez mil dólares, y pérdidas entre diez mil y mil dólares. Estas cuatro categorías se plantean con el mero propósito de facilitar la tarea del equipo de trabajo en asignar una severidad a un peligro del cual no se dispone información detallada. Pero si el equipo de trabajo puede determinar con mayor precisión que las pérdidas asociadas a un peligro representan un número intermedio a un rango, por ejemplo cincuenta mil dólares, se alienta al equipo en este caso a asignar el valor de severidad cincuenta mil y no el valor de diez mil como corresponde al rango “Marginal”. Del mismo modo, si se determina un valor de severidad que está fuera del rango de la matriz propuesta (menos de mil o más de diez millones de dólares), entonces el número que indica la severidad debe ser el determinado por el equipo de trabajo y esto no representa ningún conflicto con el método sino que lo fortalece por trabajar con datos más precisos.

En la figura 4.4 la razón por la que la matriz de riesgo propuesta no incluye en el rango a severidades mayores de diez millones de dólares es porque un riesgo convencional con una posible pérdida de más de diez millones de dólares en el espacio de 1 m² es algo inimaginable. La razón por la que en el rango de la matriz no se incluyen valores menores de mil dólares es porque un análisis de peligros con severidades mucho menores puede empezar a perder sentido práctico y esto se condice con otras matrices estándar como la MIL-STD 882D que también toman un valor mínimo límite para la evaluación de riesgos.

6. CONCLUSIONES

1. El análisis bibliográfico ha aportado las siguientes conclusiones:
 - ▷ No hay disponible actualmente un método sistemático para el diseño de áreas de circulación peatonal en plantas industriales que privilegie a la seguridad como criterio de éxito.
 - ▷ Las técnicas actuales de análisis de riesgos del tipo convencionales aplicables a la etapa de diseño no contemplan en ningún caso el componente geográfico del riesgo.

2. Se ha demostrado que la falta de consideración del factor geográfico de los riesgos convencionales por parte de las técnicas actuales deriva en una errónea apreciación del riesgo lo que conduce a una deficiente toma de decisiones.

3. Se ha logrado el desarrollo de un método sistemático para el diseño de áreas seguras de circulación peatonal en plantas industriales que se fundamenta en las concepciones más avanzadas de la literatura disponible y que además tiene la virtud de incorporar la consideración del factor geográfico. Este método se ha denominado con el nombre de “Risk Layout”.

4. Se ha diseñado un software que da vida al método del Risk Layout y que a partir de su experimentación pone en evidencia la sencillez de manejo de la metodología por parte del usuario final.

5. Las únicas cuestiones que dependen del tipo de industria a la que se aplica la herramienta son:
 - ▷ Elección de un nivel de riesgo tolerable.
 - ▷ Rango de severidades que maneja la industria.

Se ha comprobado que ninguno de estos puntos representa una problemática ni agrega complejidad al método, por lo tanto se ha conseguido un método aplicable a toda la industria en general.

6. Tal como la revisión de la literatura de GIS lo adelanta, se muestra como la representación visual geográfica de los riesgos es una buena ayuda en la toma de decisiones. Asimismo, este modo de presentar la información

facilita la comunicación con la gerencia y también con personal no capacitado. La representación en este trabajo se hace mediante una cuadrícula raster, pero si se desea otro tipo de representación geográfica como vector o mapa de densidad de Kernel el raster se puede convertir fácilmente.

7. Además de alcanzar los objetivos planteados, la herramienta desarrollada tiene las siguientes ventajas:
 - ▷ Crea una estructura de análisis más ordenada que las técnicas actuales ya que impulsa al equipo de trabajo a caminar imaginariamente paso a paso la planta y situarse en cada punto, lo que aumenta la posibilidad de identificar más peligros.
 - ▷ Pone un énfasis superior en el análisis de riesgo haciendo un estudio continuo metro a metro, lo que se relaciona con lo que indica la norma MIL-STD 882D: “La experiencia indica que el grado de seguridad adquirido en un sistema depende directamente del énfasis dado”.
 - ▷ Crea un efecto motivacional en un equipo de trabajo ya que la presentación visual es comprendida por cualquier persona sin importar su formación.
 - ▷ Al trabajar con atributos numéricos sobre un raster esto permite realizar cálculos, lo que da lugar a diversas futuras líneas de trabajo.
 - ▷ El modo de documentar y presentar la información posibilita generalizar la herramienta para otros usos más allá del de esta tesis.

8. La obtención de un método que visualiza geográficamente los riesgos es un enfoque innovador que puede ayudar enormemente a conocer y documentar mejor los riesgos convencionales que son enfrentados en una planta industrial derivando en una mejor comunicación de la información y una mejor toma de decisiones. La técnica del Risk Layout que ha sido concebida en esta tesis abre un nuevo camino en esta dirección.

7. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

1. Aplicar la técnica del Risk Layout a un análisis de riesgos completo de una planta industrial, tanto a un nuevo proyecto como a una planta existente.
2. Fusionar la técnica con otras técnicas de análisis de riesgo para abarcar otros tipos de riesgos y con diferente detalle.
3. Al trabajar sobre un raster con atributos numéricos esto permite realizar cálculos, lo que da lugar a diversas futuras líneas de trabajo tales como:
 - ▷ Determinar un camino óptimo seguro mediante algún algoritmo o iteración que busque la mejor combinación.
 - ▷ Realizar un análisis que además de incluir la documentación del riesgo también sume un indicador del costo de la reducción del riesgo y con este valor determinar el camino óptimo que consiga la mayor seguridad al menor costo.
 - ▷ Fusionar esta técnica con otras que prioricen otros factores de diseño como por ejemplo la logística y así conseguir una solución óptima que considere todos los factores que el cliente desee.
4. Desarrollar un software basado en el método que sea más sofisticado.
5. Evolucionar la aplicación de los sistemas geográficos de información para abarcar más temáticas relacionadas con una planta industrial y hacerlo del modo más interactivo posible.
6. La visualización geográfica de riesgos es un modo ventajoso para documentar y comunicar información que puede aplicarse como:
 - ▷ Instrumento de comunicación de los riesgos existentes a todo el personal.
 - ▷ Documento de auditoría: Cada planta puede tener un Risk Layout actualizado y con observarlo un auditor puede realizar una rápida y frecuente supervisión preliminar.
 - ▷ Documento de las aseguradoras de riesgos del trabajo: Basar primas en un Risk Layout actualizado de la planta.

8. BIBLIOGRAFIA

American Institute of Chemical Engineers. Center for Chemical Process Safety. 1989. *Guidelines for chemical process quantitative risk analysis*. 585 Páginas. Publicado por American Institute of Chemical Engineers. ISBN 0816904022.

ANSI/AMT (Varios autores). 2000. *Risk assessment and reduction: A guide to estimate, evaluate and reduce risks associated with machine tools (B11.TR3-2000)*. Normalizado por American National Standard Institute.

Australian Government. 2006. *Climate Change Impacts & Risk Management: A Guide for Business and Government*. Publicado por Australian Greenhouse Office, in the Department of the Environment and Heritage. Canberra, Australia: Commonwealth of Australia. www.greenhouse.gov.au/impacts/publications/pubs/risk-management.pdf. Página vigente al 04/10/2009.

AS 1657. 2002. *AS 1657 - Fixed platforms, walkways, stairways and ladders — Design, construction and installation*. Normalizado y publicado por Standards Australia. ISBN 0726278610

AS/NZS 4360. 2004. *HB 4360 - Risk Management Guidelines Companion to AS/NZS 4360:2004*. Normalizado y publicado por Standards Australia/Standards New Zealand. ISBN 0733759602

ASTM F1637. 2009. *ASTM F1637 - Standard Practice for Safe Walking Surfaces*. Normalizado y publicado por ASTM International

BLS. 2007. *Nonfatal Occupational Injuries and Illnesses Requiring Days Away From Work, 2007*. Publicado por U.S. Bureau of Labor Statistics. www.bls.gov/news.release/osh2.htm. Página vigente al 11/11/2009.

Boba, Rachel. 2005. *Crime analysis and crime mapping*. 301 páginas. Publicado por SAGE. ISBN 0761930922

Booher, Harold R. 2003. *Handbook of human systems integration*. 964 páginas. Publicado por Wiley-IEEE. ISBN 0471020532

- Bowden, Adrian R.; Lane, Malcolm R.; Martin, Julia H. 2001. *Triple bottom line risk management: enhancing profit, environmental performance, and community benefits*. 314 páginas. Publicado por John Wiley and Sons. ISBN 047141557X
- Browning, R. L. 1980. *The loss rate concept in safety engineering*. 162 páginas. Publicado por M. Dekker. ISBN 0824712498
- Burns, Thomas. 2002. *Serious incident prevention: how to achieve and sustain accident-free operations in your plant or company*. 199 páginas. Publicado por Gulf Professional Publishing. ISBN 0750675217
- Casal, Joaquim; Montiel, Helena; Planas, Eulàlia; Vilchez, Juan A. 1999. *Análisis del riesgo en instalaciones industriales*. 361 páginas. Publicado por Ediciones UPC. ISBN 8483012278
- Clemens, Pat L; Simmons, Rodney J. 1998. *System Safety and Risk Management*. Publicado por U.S. National Institute for Occupational Safety and Health. Publicación NIOSH Order No. 96-37768.
- Cousins, Allen. 2007. *GEOG 586 – Project 4: Point Pattern Analysis*. www.personal.psu.edu/users/a/g/agc135/586/Project4/Project4.html. Página vigente al 25/05/2009.
- Considine, M. 1984. *The Assessment of Individual and Societal Risks*. SRD Report R-310, Safety and Reliability Directorate, UK Atomic Energy Authority, Warrington, England.
- Cox, Louis Anthony Jr. 2009. *Risk Analysis of Complex and Uncertain Systems*. 436 páginas. Publicado por Springer, Volume 129 of International Series in Operations Research & Management Science. ISBN 0387890130
- Cromley, Ellen K.; McLafferty, Sara. 2002. *GIS and public health*. 340 páginas. Publicado por Guilford Press. ISBN 1572307072
- Crosby, Philip. 1984. *Quality Without Tears*. Publicado por McGraw-Hill New York. ISBN 0070145113.
- Deming, W. Edwards. 1986. *Out of the Crisis*. 507 páginas. Publicado por MIT Press. ISBN 0911379010

- Design Safety Engineering. 2009. About Design Safety Engineering Inc. www.designsafe.com/about.php. Página vigente al 25/05/2009.
- Dirección General del Medio Natural de Cataluña. 2007a. *Sistema de evaluación del riesgo de incendio forestal*. http://mediambient.gencat.net/esp//el_medi/incendis/sistema_avaluacio.jsp. Página vigente al 22/09/2009
- Dirección General del Medio Natural de Cataluña. 2007b. *Mapa de riesgo de incendios en línea*. mediambient.gencat.net/esp//el_medi/incendis/mapa_risc.jsp?ComponentID=71169&SourcePageID=5737#1. Página vigente al 22/09/2009
- DOD 5000.2. 2008. *Operation of the Defense Acquisition System*. Normalizado por Department of Defense of the United States of America.
- Encyclopedia Britannica. 2009. *Vector Graphic*. Encyclopedia Britannica Online. www.britannica.com/EBchecked/topic/624354/vector-graphics Página vigente al 12/06/2009.
- Ericson, Clifton A. 2005. *Hazard analysis techniques for system safety*. 499 páginas. Publicado por John Wiley and Sons. ISBN 0471720194
- ESRI. 2009a. *What is GIS?*. Environmental Systems Research Institute Inc. Online. www.gis.com/whatisgis. Página vigente al 10/06/2009.
- ESRI. 2009b. *Industries*. Environmental Systems Research Institute Inc. Online. www.esri.com/industries.html. Página vigente al 15/06/2009.
- ESRI. 2009c. *GIS for Facilities Management*. Environmental Systems Research Institute Inc. Online. www.esri.com/industries/facilities-management/index.html. Página vigente al 22/09/2009.
- Federal Emergency Management Agency of the U.S.A. 2003. *Reference Manual to Mitigate Potential Terrorist Attacks Against Buildings*. www.wbdg.org/ccb/FEMA/fema426.pdf. Publicado por U.S. Department of Homeland Security. Página vigente al 05/10/2009.

- Felinksi, David A. 2007. *ANSI B11 Subcommittees*. www.osha.gov/SLTC/machineguarding/scope98.html. Publicado por Occupational Safety & Health Administration of the U.S.A. Página Vigente al 10/10/2009.
- Gheorghe, Adrian V.; Mock, Ralf. 1999. *Risk engineering: bridging risk analysis with stakeholders values*. 271 páginas. Volumen 174 de Topics in Safety, Reliability and Quality. Publicado por Springer. ISBN 0792355741
- Google. 2005. *Google Maps*. Google Inc. maps.google.com. Página vigente al 16/06/2009.
- Inforain. 2009. *What is GIS?* Ecotrust Online. www.inforain.org/copperriver/content/pages/gis/index.htm Página vigente al 10/06/2009.
- Institute for Safety Through Design, 2001. *About Institute for Safety Through Design*. www2.nsc.org/istd/aboutus.htm. Página vigente al 25/05/2009.
- ISO 3864. 2004. ISO 3864 - Graphical symbols - Safety colours and safety signs. Normalizado y publicado por International Organization for Standardization.
- Juran, J M; Godfrey, A. Blanton. 1999. *Juran's quality handbook. 5th Edition*. 1872 páginas. Publicado por McGraw-Hill Professional Publishing. ISBN 0071386874
- Leggatt, Timothy W. 1985. *The evolution of industrial systems: the forking paths*. 258 páginas. Publicado por Taylor & Francis. ISBN 0709916035
- Mansell, Judith; Rayner, David; Mount, Nick; Harper, Gill. 2009. *Getting Started with GIS*. IBG-RGS (Institute of British Geographers - Royal Geographical Society). www.gis.rgs.org/10.html. Página vigente al 14/06/2009.
- Manuele, Fred A. 2001. *Innovations in safety management: addressing career knowledge needs*. 251 páginas. Publicado por Wiley-IEEE. ISBN 0471439592
- Manuele, Fred A. 2003. *On the practice of safety. 3rd Edition*. 488 páginas. Publicado por Wiley-IEEE. ISBN 0471272752
- Margolin, Victor. 1989. *Design discourse: history, theory, criticism*. 291 páginas. Publicado por University of Chicago Press. ISBN 0226505146

- Martínez Ponce de León, Jesús G. 2007. *Introducción al análisis de riesgos*. 218 páginas. Publicado por Editorial Limusa. ISBN 9681861531
- Mawby, William D. 2006. *Integrating inspection management into your quality improvement system*. 150 páginas. Publicado por American Society for Quality. ISBN 0873896653
- MIL-STD-882D. 2000. *Standard Practice For System Safety*. Normalizado por Department of Defense of the United States of America.
- Mitchell, Andy. 1999. *The ESRI guide to GIS analysis*. 186 páginas. Publicado por ESRI Inc. ISBN 1879102064
- Muther, Richard. 1973. *Systematic layout planning, 2nd Edition*. 360 páginas. Publicado por Cahners Books. ISBN 0843608145
- Muther & Associates. 2007. *Our Family of Systematic Planning Methods*. www.hpcinc.com/rma/rma.asp?TopicID=2&Name=Methods. Página vigente al 25/05/2009
- National Center for Patient Safety of the U.S. Department of Veterans Affairs. 2009. *Using Healthcare Failure Modes and Effects Analysis*. www.va.gov/NCPS/CogAids/HFMEA/index.html#scoringmatrix. Publicado por U.S. Department of Veterans Affairs. Página vigente al 10/10/2009.
- Natural Resources Canada. 2007. *Canadian Forest Fire Weather Index (FWI) System*. http://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca/en_CA/background/summary/fwi. Página vigente al 22/09/2009
- O'Sullivan, David; Unwin, David John. 2002. *Geographic information analysis*. 436 páginas. Publicado por John Wiley and Sons. ISBN 0471211761
- OIT. 2007. *Laborsta Internet – International Labour Office Database*. Publicado por el Departamento de Estadísticas de la Organización Internacional del Trabajo. <http://laborsta.ilo.org/> Página vigente al 11/11/2009.
- OSHA. 2007. *Frequently Asked Questions*. www.osha.gov/as/opa/osha-faq.html. Página vigente al 25/05/2009.

OSHA 1910.144. 2007. *Safety color code for marking physical hazards*. Normalizado y publicado por Occupational Safety and Health Administration, U.S. Department of Labor

OSHA 1910.145. 1996. *Specifications for accident prevention signs and tags*. Normalizado y publicado por Occupational Safety and Health Administration, U.S. Department of Labor

OSHA 1910.22. 1978. *Walking-Working Surfaces General Requirements*. Normalizado y publicado por Occupational Safety and Health Administration, U.S. Department of Labor

OSHA 1910.23. 1984. *Guarding floor and wall openings and holes*. Normalizado y publicado por Occupational Safety and Health Administration, U.S. Department of Labor

OSHA 3071. 2002. *OSHA 3071 - Job Hazard Analysis*. Normalizado y publicado por Occupational Safety and Health Administration, U.S. Department of Labor.

OSHA 3133. 1994. *OSHA 3133 - Process Safety Management Guidelines for Compliance*. Normalizado y publicado por Occupational Safety and Health Administration, U.S. Department of Labor.

Penny, Royston Kenneth. 1996. *Risk, Economy and Safety, Failure Minimisation and Analysis*. 377 páginas. Publicado por Taylor & Francis. ISBN 9054108231

Roland Harold E.; Moriarty Brian. 1990. *System safety engineering and management*. 367 páginas. Publicado por Wiley-IEEE. ISBN 0471618160

Rubio Romero, Juan Carlos. 2004. *Métodos de evaluación de riesgos laborales*. 270 páginas. Publicado por Ediciones Díaz de Santos. ISBN 8479786337

Schuurman, Nadine. 2004. *GIS: a short introduction*, 4th Edition. 169 páginas. Publicado por Wiley-Blackwell. ISBN 0631235337

Shekhar, Shashi; Xiong, Hui. 2008. *Encyclopedia of GIS*. 1370 páginas. Publicado por Springer. ISBN 0387359737

- SRT. 2007. *Indicadores de accidentabilidad globales, por sector económico, a 1 dígito del CIIU. Año 2007*. Publicado por la Superintendencia de Riesgos del Trabajo. www.srt.gov.ar/data/indices/2007/01.htm. Página vigente al 11/11/2009.
- Stamatelatos, Michael. 2000. *Probabilistic Risk Assessment: What Is It And Why Is It Worth Performing It?* Publicado por NASA Office of Safety and Mission Assurance. www.hq.nasa.gov/office/codeq/qnews/prs.pdf. Página vigente al 24/09/2009.
- Steinger, Stefan; Weibel, Robert. 2009. *GIS Software - A description in 1000 words*. Publicado por University of Zurich. www.geo.unizh.ch/publications/sstein/gissoftware_steiniger2008.pdf. Página vigente al 23/09/2009.
- Stephans, Richard A. 2004. *System safety for the 21st century*. 382 páginas. Publicado por Wiley-IEEE. ISBN 0471444545
- Suzuki, Tokutarō. 1994. *TPM in process industries*. 391 páginas. Publicado por Productivity Press. ISBN 1563270366
- UK National Statistics. 2003. *Census 2001 Interactive Map, Key Statistics for Local Authorities*. UK National Statistics Online. www.statistics.gov.uk/census2001/censusmaps/index_new.html. Página vigente al 14/06/2009.
- Uijt de Haag P.A.M, Ale B.J.M. 1999. Guideline for quantitative risk assessment. "Purple Book". CPR 18E. Committee for the Prevention of Disasters. ISSN: 0166-8935/2.10.0121/8804
- USGS. 2007. *Geographic Information Systems*. United States Geological Survey Online. egsc.usgs.gov/isb/pubs/gis_poster. Página vigente al 12/06/2009.
- Vincoli, Jeffrey W. 2006. *Basic guide to system safety. 2nd Edition*. 224 páginas. Publicado por Wiley-Interscience. ISBN 0471722413
- Wilson, John R.; Nigel Corlett, Esmond. 2005. *Evaluation of human work, 3rd Edition*. 1026 páginas Publicado por CRC Press. ISBN 0415267579. Parte IV. Capítulo 28. Páginas 743-766.
- Wireman, Terry. 1992. *Inspection and training for TPM*. 244 páginas. Publicado por Industrial Press Inc. ISBN 0831130423

Zurich Insurance Company, Risk Engineering. 1998. *Which Hazard Analysis?*.
Publicación “Risk Topics” de Zurich Insurance Company. Publicación número 10,
octubre 1998.

ANEXOS

ANEXO A: MATRIZ DE RIESGO NORMA ANSI B11.TR3

Autoridad: American National Standard Institute

Norma: ANSI B11.TR3

Año: 2000

Título: Evaluación del Riesgo y Reducción del Riesgo – Una Guía para Estimar, Evaluar y Reducir los Riesgos Asociados con Máquinas Herramienta.

Descripción: Este informe técnico B11 proporciona un medio para identificar los riesgos asociados con una máquina o sistema, cuando es utilizado para su aplicación prevista, y establece un procedimiento para estimar, evaluar y reducir los riesgos de daños a las personas en relación a los peligros asociados a sus diversas condiciones de uso [Felinksi, 2007].

Categoría	Criterio del impacto ambiental, a la seguridad o a la salud.
Catastrófico	<i>Muerte o herida de incapacidad permanente o enfermedad (imposibilidad de retornar a actividad laboral).</i>
Serio	<i>Herida seria debilitante o enfermedad (posible retorno a actividad laboral en algún punto).</i>
Moderado	<i>Herida significativa o enfermedad que requiera más que primeros auxilios (posibilidad de retornar a la misma actividad laboral).</i>
Menor	<i>Sin herida o herida leve que no requiera más que primeros auxilios (poco o sin tiempo perdido de trabajo).</i>

Tabla A. 1. Criterio de categorías de severidad.

Categoría	Criterio del rango de eventos considerados
Muy probable	<i>Ocurrencia casi segura.</i>
Probable	<i>Puede ocurrir.</i>
Poco probable	<i>Poco probable que ocurra.</i>
Remoto	<i>Tan poco probable que se acerca a cero.</i>

Tabla A. 2. Criterio de categorías de probabilidad.

		SEVERIDAD			
		Menor	Moderado	Serio	Catastrófico
PROBABILIDAD	Muy probable	<i>Medio</i>	<i>Alto</i>	<i>Alto</i>	<i>Alto</i>
	Probable	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Alto</i>	<i>Alto</i>
	Poco probable	<i>Despreciable</i>	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>
	Remoto	<i>Despreciable</i>	<i>Despreciable</i>	<i>Bajo</i>	<i>Bajo</i>

Tabla A. 3. Matriz de riesgos basada en ANSI B11 TR3. Fuente: [ANSI/AMT, 2000].

ANEXO B: CHECKLISTS (LISTADOS DE CONTROL)

Los checklists aquí presentes se toman como ejemplo a partir de los utilizados por el software DesignSafe ®, software especializado de la firma Design Safety Engineering Inc. que guía, facilita y documenta el proceso de risk assessment en diversidad de tipos de industria conforme a los estándares actuales [Design Safety Engineering, 2009].

<p>Todos los usuarios Operador Personal de Set-up Técnico de mantenimiento Técnico eléctrico/de controles Inspector Auditor Logística de materiales Líder/supervisor Ingeniero Instalador Removedor Personal de limpieza Persona de paso / no usuario Otros</p>

Tabla B.1. Ejemplo de checklist de posibles usuarios que pueden acceder a una celda. Fuente: [Design Safety Engineering, 2009].

<p>1-Todos los usuarios Tareas comunes Operación norma Carga y descarga de materiales Solución de problemas Destruir atasco Limpieza</p> <p>2-Operador Tareas comunes Funcionamiento normal Almacenamiento / realmacenamiento Carga y descarga de materiales Atascos Pequeños ajustes a la máquina Solución de problemas básicos Apagado Ordenado / inspección de partes Limpieza de Máquina</p> <p>3-Personal de Set-up Tareas comunes Set-up o reemplazo Cambio de herramienta Comprobación de alineación Solución de problemas Lubricación Ajuste de controles / ajustes Instalación</p> <p>4-Técnico de mantenimiento Tareas comunes Lubrication Mantenimiento periódico Set-up o reemplazo Solución de problemas Apagado Recambio de piezas Funcionamiento normal Limpieza Instalación Desmantelamiento Eliminación</p> <p>5-Técnico eléctrico / de controles Tareas comunes Solución de problemas Conectado de líneas / cables Paneles de conexión a tierra / control / maquinaria Instalación de panel de control Prueba de circuitos Reparación / sustitución de cables y sistemas Montaje/Instalación de conductos eléctricos Tirar cables Ajuste de controles</p> <p>6-Inspector Tareas comunes Solución de problemas Inspección de partes Caminar por / a lo largo del equipo Asistir a los especialistas</p>	<p>7-Auditor Tareas comunes Caminar cerca maquina Trabajar cerca o al lado de máquina</p> <p>8-Logística de materiales Tareas comunes Carga/Descarga de materiales Manejar desde y hacia ubicaciones Carga de combustible Mover/ajustar materiales Transportar materiales</p> <p>9-Líder/Supervisor Tareas comunes Solución de problemas Inspección de partes Caminar por / a lo largo del equipo Asistir a los especialistas</p> <p>10-Ingeniero Tareas comunes Modificación de partes/componentes Conducción de pruebas Solución de problemas Ajuste de software de programas/controles Inspección de maquinaria</p> <p>11-Instalador Tareas comunes Solución de problemas Ajuste/instalación de maquinaria Prueba de máquina Operación de máquina Instalación de sistemas eléctricos Entrenamiento de cliente Modificación de máquina insitu</p> <p>12-Removedor Tareas comunes Desarmado de equipo Mover/Remover componentes Cortar metal Subir/Bajar Materiales/Componentes Preparar para transporte</p> <p>13-Personal de limpieza Tareas comunes Preparación de para limpieza Apagado de máquina Limpieza de máquina Enjuague de máquina Manejo de químicos</p> <p>14-Persona de paso/No usuario Tareas comunes Caminar cerca maquina Trabajar cerca o al lado de máquina</p> <p>15-Otro Tareas comunes Caminar cerca maquina Trabajar cerca o al lado de máquina</p>
--	---

Tabla B.2. Ejemplo de checklist de posibles actividades que realiza cada usuario.
Fuente: [Design Safety Engineering, 2009].

Visualización Geográfica de Riesgos

<p>- MECÁNICA - Aplastado Corte / ruptura Captura / enredo Punto de pellizo Apuñalamiento / punción Inicio inesperado Fatiga Golpe en la cabeza objetos generales Rotura durante la operación Atracción magnética y movimiento Inestabilidad de la máquina Impacto - ELÉCTRICO / ELECTRÓNICA - Equipo energizado / partes vivas Falta de puesta a tierra (puesta a tierra o neutro) Fallos de aislamiento Cortocircuito / arco / chispa Cableado inapropiado Sobrecarga Contaminantes Agua y lugares húmedos Ruido eléctrico Inesperada puesta en marcha / movimiento Sobretenión / sobrecorriente Interrupción del suministro eléctrico Susceptibilidad electromagnética Descarga electrostática - PATINADO / TROPIEZO / CAÍDA - Patinado Tropiezo Riesgo de caída a distinto nivel Apertura en piso / pared Desechos Impacto hacia / con Inestabilidad Caída de materiales / objetos - ERGONOMÍA / FACTORES HUMANOS -- Exceso de la fuerza / esfuerzo Postura Repetición Duración Flexión / torsión al levantarse - INCENDIOS Y EXPLOSIONES - Fuentes de ignición no controlados Chispas Llamas Superficies calientes Gas inflamable Líquido inflamable / vapor Productos químicos indebidamente mezclados Falta de suministro de oxígeno Salidas inadecuada / rutas de evacuación Exposición a arcos eléctricos Electricidad estática Combustión espontánea Polvo inflamable Humo en las áreas de trabajo - CALENTAMIENTO / TEMPERATURA - Quemaduras o escaldaduras Calor radiante Calor intenso Frío intenso Calefacción y refrigeración inadecuada - RUIDO / VIBRACIÓN -- Ruido / niveles de ruido > 80 dba Ruido / niveles de ruido > 120 dba instantánea Pérdida de agudeza auditiva Daños en el equipo Pérdida del equilibrio Pérdida de la conciencia Interferencias en las comunicaciones Fatiga en el personal Fatiga en la resistencia de material</p>	<p>- INGRESO / EGRESO - Iluminación inadecuada Medios inadecuados de evacuación Interferencia almacenamiento de los materiales Salida cerrada/bloqueada - MANEJO DE MATERIALES - Apilamiento Almacenamiento Movimiento hacia y desde el almacenamiento Inestabilidad Exceso de peso Movimiento de vehículos motorizados Circulación de autoelevadores Movimiento robots industriales y sistemas Circulación de vehículos de transporte no tripulados - MEDIO AMBIENTE / HIGIENE INDUSTRIAL -- Residuos peligrosos Carcinogénicos Asfixiantes Irritantes Venenos Disolventes Trazas de metales Sustancias que agotan el ozono Emisiones Manejo de aguas residuales / aguas residuales La contaminación de las aguas residuales Corrosión Contaminación - VENTILACIÓN / CONFINAMIENTO - Confinamiento Demasiada ventilación Pérdida de gases de escape Concentración Falta de aire fresco Humo Contaminantes del aire Recirculación de aire Firección del flujo de aire - QUÍMICOS - Reacción hacia / con productos químicos irritantes Piel expuesta a sustancias químicas tóxicas Emisiones químicas Químicos / efectos de toxicidad sentía distante en el tiempo y lugar Producción de materiales peligrosos Mezcla de productos químicos incompatibles - QUÍMICOS Y GASES - Acetona Amoníaco Dióxido de carbono Tetrafluoruro de carbono Cloro Helio Hidrógeno Cloruro de hidrógeno Peróxido de hidrógeno Metanol Metil etil cetona Ácido nítrico Nitrógeno Óxido nitroso Oxígeno Peróxido Ácido fosfórico Hidróxido de sodio Ácido sulfúrico Tricloroetano</p>	<p>- BIOLÓGICOS / SALUD - Enfermedades de transmisión sanguínea Falta de primeros auxilios Condiciones insalubres Residuos biológicos peligrosos Bacteriana Viral Moho - FLUIDOS / PRESIÓN - Aire a alta presión Refrigerante a alta presión Ruptura hidráulica Ruptura neumática Vacío Explosión / implosión Inundado Fugas/eyección de fluidos - RADIACIÓN - Partículas alfa Partículas beta Rayos gamma Rayos x Neutrones Electrones de alta velocidad Protones de alta velocidad Ambiente de los campos estáticos Ambiente de los campos de frecuencia extremadamente baja (elf) Ambiente a frecuencias bajas Ambiente con radio frecuencia/ microondas Radiación infrarroja Luz visible Luz ultravioleta Presencia de interferencias en marcapasos cardíaco Presencia de interferencias magnetizables en prótesis Exposición de los ojos Exposición de la piel a rayos uv - LASERS - Exposición de los ojos Exposición de la piel a rayos uv Exposición potencial eléctrico Generación láser de contaminantes del aire lgacs / por productos Fuente de ignición (láseres clase 4) Explosión de luz por caída / impactos Ruido - especialmente de láseres de pulsos Fracaso de los sistemas de refrigeración Fluor gas tóxico - RESIDUOS (LEAN) - Piezas defectuosas / corrección Sobreproducción Movimiento Movimiento de material y transporte Espera / demora Almacenamiento Procesamiento / sobreprocesamiento - SIN PELIGRO / OTROS - No representa un peligro Referencia a otro usuario/actividad/peligro</p>
--	---	---

Tabla B.3. Ejemplo de checklist de posibles peligros.

Fuente: [Design Safety Engineering, 2009].

<p>1st-Eliminar por diseño Evitar la acumulación de la energía Sustituir material o método por otro menos peligroso Prevenir la liberación de energía Retrasar la liberación de la energía Separar peligros de personas en tiempo o espacio Otro cambio de diseño</p> <p>2nd-Proteger contra el peligro Áreas cerradas y barreras fijas Áreas cerradas y barreras regulables Interruptores de apagado Inicio demorado Llave de apagado Cortina liviana Carpetas de seguridad / lámina de contacto Presencia de otros dispositivos de detección Controles de dos manos Control electrónico de parada Herramientas especiales o accesorios Ingeniería de sistema de protección contra caídas Otros dispositivos</p> <p>3rd-Señal de alarma del peligro Alarma sonora o sonidos Señal de alarma visual Etiqueta/s de advertencia Señal/s de advertencia Barreras de aviso Otra advertencia</p> <p>4th-Entrenar usuario Estandarizar procedimientos Desbloqueo/despeje/desenergizado Restricción de usuarios Manual de instrucciones Entrenamiento en el oficio Procedimientos especiales Rotación de tareas Cronograma de períodos de descanso Supervisión Video</p> <p>5th-Equipo de protección personal Anteojos de seguridad Protección auditiva Protección de la cabeza Arnés de protección Protección respiratoria Calzado Vestimenta especial Guantes</p>
--

Tabla B.4. Ejemplo de checklist de posibles soluciones para reducción de riesgo.
Fuente: [Design Safety Engineering, 2009].

ANEXO C: CÓDIGOS DE PROGRAMACIÓN EN VISUAL BASIC

```

Sub Layers ()
Dim Sh As Worksheet, Exist As Boolean
Dim DrObj
Dim Pict

'Atrapa errores.
On Error Resume Next
Err.Clear

If ActiveWindow.Selection.ShapeRange.Count = 1 Then
If Left(Selection.Name, 7) <> "Picture" Then
MsgBox "Por favor seleccionar un objeto de imagen."
Else

'Borra layout anterior
Exist = False
For Each Sh In Sheets
If Sh.Name = "3 - Risk Layout" Then
Exist = True
End If
Next Sh
If Exist = True Then
Answer = MsgBox("Establecer un nuevo plano borra sus planos anteriores de la hoja
'3-Risk Layout'. Desea continuar?", vbYesNo)
If Answer = vbYes Then
Sheets("3 - Risk Layout").Delete
Sheets("1 - Establecer Plano").Select
Else
Exit Sub
End If
Else

'Crear la nueva imagen a guardar
Selection.Copy
Sheets("Acepte las alertas de seguridad").Visible = True
Sheets("Acepte las alertas de seguridad").Select
Application.Goto Reference:="R4C4"
ActiveSheet.paste
Cells.Select

'Guardar
With ActiveWorkbook.PublishObjects("Insert layout tool_1426")
.HtmlType = xlHtmlStatic
.FileName = Range("'1 - Establecer Plano'!ar1").Value
.Publish (False)
.AutoRepublish = False
End With

'Chequear si se tuvo acceso a la ubicación especificada
If Dir(Range("'1 - Establecer Plano'!ar2").Value) = "" Then
If Dir(Range("'1 - Establecer Plano'!ar3").Value) = "" Then
If Dir(Range("'1 - Establecer Plano'!ar4").Value) = "" Then
MsgBox ("La carpeta especificada no existe o tiene acceso denegado,
por favor indique otra ubicación.")
Sheets("Acepte las alertas de seguridad").Select
'Borrar todas las imagenes excepto el cuadrado blanco.
Set DrObj = ActiveSheet.DrawingObjects
For Each Pict In DrObj
If Left(Pict.Name, 7) = "Picture" Then
Pict.Select
Pict.Delete
End If
Next
Sheets("Acepte las alertas de seguridad").Visible = False
Sheets("1 - Establecer plano").Select
Range("d14").Select
Exit Sub
End If
End If
End If

```

Figura C. 1. Programación Visual Basic comando “Establecer área de trabajo”
(Continúa en hoja siguiente).

```

Sheets("Acepte las alertas de seguridad").Select
'Borrar todas las imagenes excepto el cuadrado blanco.
  Set DrObj = ActiveSheet.DrawingObjects

  For Each Pict In DrObj
  If Left(Pict.Name, 7) = "Picture" Then
  Pict.Select
  Pict.Delete
  End If
  Next

'Crear hoja nueva para el background
Sheets.Add After:=Sheets(Sheets.Count)
Cells.Select
Selection.Locked = False
Selection.ColumnWidth = 0.83
Selection.RowHeight = 7.5
Selection.Locked = False
Selection.FormulaHidden = False
ActiveSheet.Name = "3 - Risk Layout"

'Abrir layer compatible con Windows - Inglés
  ActiveSheet.SetBackgroundPicture Filename:=Range("'1 - Establecer
  Plano'!ar2").Value
'Abrir layer compatible con Windows - Español
  ActiveSheet.SetBackgroundPicture Filename:=Range("'1 - Establecer
  Plano'!ar3").Value
'Abrir layer compatible con Windows - Francés
  ActiveSheet.SetBackgroundPicture Filename:=Range("'1 - Establecer
  Plano'!ar4").Value

'Pegar fórmula para sumatoria de Riesgo total
Sheets("Acepte las alertas de seguridad").Select
Range("it1", "sn304").Copy
Sheets("3 - Risk Layout").Select
Range("it1").Select
ActiveSheet.paste
Selection.Locked = True
Selection.FormulaHidden = False

'Asignar escala de colores
Sheets("3 - Risk Layout").Select
Cells.Select
Selection.FormatConditions.AddColorScale ColorScaleType:=3
Selection.FormatConditions(Selection.FormatConditions.Count).SetFirstPriority
Selection.FormatConditions(1).ColorScaleCriteria(1).Type = _
  xlConditionValueNumber
Selection.FormatConditions(1).ColorScaleCriteria(1).Value = 0
With Selection.FormatConditions(1).ColorScaleCriteria(1).FormatColor
  .color = 5287936
  .TintAndShade = 0
End With
Selection.FormatConditions(1).ColorScaleCriteria(2).Type = _
  xlConditionValueNumber
Selection.FormatConditions(1).ColorScaleCriteria(2).Value = 6
With Selection.FormatConditions(1).ColorScaleCriteria(2).FormatColor
  .color = 65535
  .TintAndShade = 0
End With
Selection.FormatConditions(1).ColorScaleCriteria(3).Type = _
  xlConditionValueNumber
Selection.FormatConditions(1).ColorScaleCriteria(3).Value = 12
With Selection.FormatConditions(1).ColorScaleCriteria(3).FormatColor
  .color = 255
  .TintAndShade = 0
End With

ActiveSheet.Protect DrawingObjects:=True, Contents:=True, Scenarios:=True
Sheets("Acepte las alertas de seguridad").Visible = False
Sheets("2 - Documentación").Select
End If
End If
Else
  MsgBox "Por favor seleccionar sólo una imagen."
End If
End Sub

```

Figura C. 2. Programación Visual Basic comando “Establecer área de trabajo”
(Continuación de hoja anterior).

```

Sub SubtotalesyMapear()

'Hacer el cálculo Severidad x Probabilidad sólo para las celdas analizadas.
Range("b2").Select
  While ActiveCell.Value <> ""
    ActiveCell.Offset(0, 7) = "=RC[-1]*RC[-2]"
    ActiveCell.Offset(1, 0).Range("A1").Select
  Wend

'Filtrar celdas analizadas.
Range("b:b").AdvancedFilter Action:=xlFilterCopy, CopyToRange:=Range( _
  "n1"), Unique:=True

'Crear y darle estilo a la columna Riesgo SubCapa.
Columns("n:n").Select
Selection.Copy
Columns("o:o").Select
Selection.PasteSpecial paste:=xlPasteFormats, Operation:=xlNone, _
  SkipBlanks:=False, Transpose:=False
Application.CutCopyMode = False
Range("o1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "Riesgo SubCapa"
With ActiveCell.Characters(Start:=1, Length:=14).Font
  .Name = "Calibri"
  .FontStyle = "Regular"
  .Size = 11
  .Strikethrough = False
  .Superscript = False
  .Subscript = False
  .OutlineFont = False
  .Shadow = False
  .Underline = xlUnderlineStyleNone
  .ThemeColor = xlThemeColorDark1
  .TintAndShade = -0.149998474074526
  .ThemeFont = xlThemeFontMinor
End With
Columns("o:o").ColumnWidth = 11

'Poner formula de sumarsi al lado de cada nombre de celda y calcular logaritmos de las sumas.
Range("n2").Select
  While ActiveCell.Value <> ""
    ActiveCell.Offset(0, 1) = "=SUMIF(C[-13],RC[-1],C[-6])"
    ActiveCell.Offset(0, 2) = "=IF(RC[-1]=0,-7,log10(RC[-1]))+7"
    ActiveCell.Offset(1, 0).Range("A1").Select
  Wend

'Asignar Atributo a todo el Raster
Sheets("2 - Documentación").Select
Range("'2 - Documentación'!n2").Select

  While ActiveCell.Value <> ""
    'Asignar atributo a celda
    ActiveCell.Offset(0, 2).Copy
    Range("p1") = ActiveCell.Value
    Sheets("3 - Risk Layout").Select
    Range(Range("'2 - Documentación'!p1").Value).Select
    ActiveCell.Offset(0, 0).PasteSpecial paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone,
      SkipBlanks _
        :=False, Transpose:=False
    Sheets("2 - Documentación").Select
    ActiveCell.Offset(1, 0).Select
  Wend
  Range("p1") = "log10"

End Sub

```

Figura C. 3. Programación Visual Basic comando “Actualizar Risk Layout”.