CIENCIA
AL DIA*Internacional*
DICIEMBRE, 2000 NUMERO 3 VOLUMEN 3

Modelos matemáticos en formalismo cuántico para el seguimiento de riesgos asociados a actividades específicas y su aplicación al análisis y prevención de accidentes.

© Juan C. Echaurren 2000
juanechaurren@discoverymail.com

RESUMEN

Se estudia aquí la naturaleza mecano-cuántica asociada al comportamiento de riesgos de tipo operacional, vinculados a actividades industriales de diversa índole y peligrosidad. El estudio en sí, tiene por objetivo el planteamiento de modelos matemáticos predictivos, basados en el concepto de función de onda y análisis espectral, en donde el riesgo deja de ser sólo un concepto aplicado a metodologías de prevención, sino que aparece como una entidad físico-matemática con naturaleza dual y comportamiento aleatorio gobernada por el Principio de Incertidumbre de Heisenberg. La dualidad se basa en una apariencia vectorial asociada a una existencia matemática pura, y a una manifestación física al entorno de trabajo espacial (espacio de incidentes), en forma de densidades de probabilidad. Esta nueva concepción es desarrollada por la necesidad urgente de encontrar soluciones eficaces que contribuyan a la eliminación de manifestación física de accidentes, y la protección de los recursos humanos y ecológicos, en donde los métodos estadísticos han demostrado ser ineficientes.

ABSTRACT

Here we study the quantum-mechanic nature associated with the behavior of operational risks, linked to industrial activities of diverse origins and danger. The aim of the study is the establishment of predictive mathematical models, based on the concept of wave

function and spectral analysis, in which the risk is no longer only a concept applied to prevention methodologies, but appears as a physical-mathematical entity with dual nature and aleatory behavior governed by Heisenberg's Uncertainty Principle. The duality is based on a vectorial appearance associated with a pure mathematical existence on the one hand, and to a physical manifestation surrounding the work space (incident space), in the form of probability densities, on the other. This new concept is developed due to the urgent need to find efficient solutions that will contribute to the elimination of the physical manifestations of accidents, and the protection of both human and ecologies resourses, in which statistical methods have shown to be inefficient.

Un problema de urgente solución

El análisis y control de riesgos en la prevención de accidentes en áreas de trabajo de tipo industrial y en general en áreas diversas de desempeño humano, investigación, proyectos expedicionarios y exploración, se constituye en un factor fundamental para el logro de metas e implantación exitosa de proyectos de innovación científica y tecnológica. Lo anterior radica en el hecho comprobado que relaciona una mala gestión de seguridad con daños irreparables a personas y sus familias, consecuencias destructivas en equipos y maquinarias de alto costo y, frecuentemente, en alteraciones irreparables en el entorno y medio ambiente ecológicos debidos a incendios y derrames abundantes de petróleo, sólo por mencionar algunos ejemplos. Es necesario, por tanto, incrementar la atención sobre este problema a fin de minimizar e inhibir al máximo sus efectos dañinos transmitidos a las personas y entornos ecológicos inmediatos.

Reconocible es también el hecho referido a la solución del problema, el cual no es fácil. Esto es actualmente así, pues la estadística no es capaz de solucionar el problema aún. Esto es evidente y demostrable, pues en cada actividad arriesgada asociada a las áreas que hemos mencionado que se ejecuta en el lapso de un año, tenemos que lamentar accidentes fatales con pérdidas de personas, especialistas, maquinarias y recursos ecológicos, siendo éstos últimos siempre valiosos y difíciles de recuperar. De acuerdo a lo anterior, un evento ideal se constituye de un período anual sin accidentes, lo cual nunca ocurre. Sólo como ejemplo basta mencionar que en la División Chuquicamata de la Corporación del Cobre (Codelco) Chile, se trabaja con un índice de frecuencia (IF) de 4.9 con una meta Divisional de 4.6, siendo estas cifras el número de accidentes con tiempo perdido durante un período equivalente a 1 millón de horas-hombre trabajadas.

La solución es factible, las nuevas filosofías de innovación conceptual, Sinergía y la aplicación secuencial de los principios de Transversabilidad en unión con el uso de ciencias de la Complejidad, ayudan a estructurar modelos matemáticos, cuya principal función es la predicción cuantitativa y cualitativa de eventos futuros (Echaurren, 1995).

Los métodos existen

De los métodos o formalismos matemáticos utilizados para el análisis de riesgos y prevención de accidentes en diferentes áreas de desempeño humano, incluyendo las actividades relacionadas con exploración e investigación, vemos que la estadística descriptiva logra un protagonismo bastante amplio cuando se le utiliza como herramienta descifradora, graficadora y predictiva de riesgos asociados a actividades críticas de trabajo.

Sin embargo la estadística en sí, apoyada en sus diversos métodos, ha demostrado no ser una herramienta eficiente en la predicción y bloqueo físico de la materialización de riesgos en accidentes. La prueba está a la vista, pues las pérdidas humanas durante la manifestación de accidentes siguen su curso, sin mencionar los daños transmitidos al medio ambiente y entornos ecológicos inmediatos. La estadística es en sí poderosa cuando los coeficientes de correlación que aporta, son aplicados a la predicción de fenómenos que están en directa relación con el acopio o recolección de datos e información en tiempo real, a través de instrumentos de medición que pueden censar un conjunto de variables en el momento, hablamos aquí de estadística en tiempo real. Para el caso del análisis de riesgos la estadística necesariamente debe utilizar información proveniente de eventos ó accidentes una vez ocurridos, es decir, no es capaz de anticiparse a los hechos y, por tanto, para el estudio de determinados incidentes debe apoyarse en la información proporcionada por aquellos que poseen patrones similares de comportamiento. Sin embargo, esto es inadecuado pues se ha demostrado que ningún evento o manifestación física de algún riesgo es idéntico a otro, aunque se trate del mismo riesgo. Esto es debido a que nuestro entorno habitual es rico en variables.

Existen publicaciones como *"Uncertainty in the risk assessment of environmental and occupational hazards"* de *A. John Bailer, Cesare Maltoni y JohnC. Bailar lll* ; que intentan la medición de los factores que aumentan la incertidumbre en la predicción de manifestación de riesgos, pero no se constituyen en soluciones reales y concretas al estar basadas en historias estadísticas (histogramas).

Las debilidades también existen

Según lo anterior podemos constatar que dentro de las debilidades que posee el método estadístico aplicado al análisis y prevención de accidentes, está el hecho de trabajar en la generación de histogramas asociados a una gama de riesgos críticos industriales ó de otra clase, que intentan estudiar el comportamiento de éstos, suponiendo una correlación válida a riesgos similares o equivalentes. Esto no es así en la realidad física cotidiana. Un mismo evento jamás ocurre o se manifiesta de la misma manera, ni tampoco en función de las mismas causas. Más bien, la estructura de éstas en un sistema dinámico que fluye a través del tiempo, se encuentra en constante cambio, aunque la organización sea básicamente la misma.

La solución

Luego la solución consiste en ser capaz de generar un mapa que prediga los riesgos para cada actividad de trabajo que se realice en una planta, proyecto o diseño de investigación. El mapa en cuestión debe su existencia a un modelo matemático standard (Echaurren, 1995, 1998, 2000), con altos grados de exactitud y acuciosidad, compuesto de un grupo de ecuaciones que cuantificarán un riesgo, ya no como concepto, sino que numéricamente en tiempos de exposición y ubicación espacial dentro de los procedimientos especificados para cada actividad y dentro de los volúmenes del entorno de trabajo. Un muy simple esbozo del formalismo matemático utilizado es dado a continuación, y detalles explícitos sobre las funciones de onda riesgo, densidades de probabilidad y gráficos, pueden ser encontrados en la sección Apéndice, inmediatamente antes de la sección Referencias

Función de onda-riesgo = $\psi Ri\ (xi,ti)$

Densidad de probabilidad = $PRi\ (ti) \equiv (1/C)\left[\int_{Ti}^{Tf} |\ \psi Ri\ (ti)\ |^2\ B(t)dt \right]$

Luego, según lo anterior los riesgos dejan de ser conceptos, y en formalismo estrictamente cuántico (Yndurain, 1988) son tratados como funciones de onda de Gauss en sistemas cerrados (plantas, laboratorios, etc.), o como funciones de onda perturbadas en sistemas abiertos (entornos ecológicos, intemperie, carreteras, trabajos en altura, expediciones, tareas en el Espacio, etc.). Las funciones de onda para riesgos se comportan inicialmente como vectores en realidades matemáticas, su manifestación física hacia sistemas cerrados o abiertos es conocida como grados de manifestación, los cuales corresponden al cálculo de densidades de probabilidad, es decir, cual es la probabilidad real y exacta dentro de un volumen de trabajo determinado (Bdt), de que se manifieste un accidente; identificando el lugar, paso de la actividad de trabajo y tiempo de exposición transcurrido desde el inicio Ti, hasta el final de la actividad, Tf.

Los volúmenes de entorno son modelados matemáticamente en coordenadas esféricas y en función del tiempo. De ésta manera se reúne un conjunto de información numérica en un mapa de predicción para la actividad de trabajo, el cual nos dirá cuáles son y donde están sectorizados los obstáculos que en el futuro podrían transformarse o materializarse en accidentes. Los riesgos son invisibles aún con el método de la estadística; con el mapa de riesgos en cambio, podemos verlos, reconocerlos y localizarlos en tiempo y espacio; es semejante a caminar sobre un campo minado con un mapa preciso y exacto de la ubicación y distribución de cada una de las minas explosivas durante nuestro trayecto. Este trayecto es una tipología asociada a la realización de la actividad de trabajo, luego, el mapa de riesgos nos dirá la ubicación temporal y espacial de aquellos grados de manifestación numérica más altos (transitorios), al igual de aquellos menos intensos (régimen permanente o amortiguamiento natural). Los gráficos de comportamiento en cuestión construidos con esta información serán los más reales, nítidos y útiles generados hasta el momento. Esto debido a que toda la información numérica obtenida a través de nuestro *"Conjunto de Ecuaciones"* está en función directa del acopio de datos en terreno (medición de coordenadas de volumen de entorno, alturas, ángulos de inclinación para líneas de trayecto, número de personas a cargo de actividades de trabajo, estatura-masa-talla de calzado para cada uno de ellos, constantes específicas de densidad gravitatoria, etc.). Todo esto conforma un modelo *"objetivo y de predicción"* a la vez.

Una prueba de Fuego

De acuerdo a todo lo expuesto anteriormente podemos tener una idea general de como la estadística descriptiva aplicada al análisis y prevención de accidentes, no es lo suficientemente eficiente en la protección de personas, entorno y medio ambiente, cuando se encuentran expuestos a riesgos altamente críticos asociados a actividades de trabajo específicas. Es decir, la estadística en esta área sólo puede estudiar el comportamiento de un riesgo determinado una vez que éste se ha manifestado al espacio físico como accidente, y naturalmente no podemos esperar a que alguien ó un grupo de personas sufran gran daño o mueran, sólo para conocer las posibles causas ó la apariencia física ó gráfica de un riesgo determinado, el precio a pagar es demasiado alto.

El seguimiento de riesgos ofrece una guía numérica de predicción que tiende a una acción más efectiva que los métodos antes descritos, pues visualiza lo que antes era invisible y lo más importante radica en que ésta visualización es efectuada antes que se generen eventos dañinos (accidentes) a las personas y entorno involucrados en una actividad de trabajo arriesgado. De hecho, los métodos anteriores sólo visualizaban los efectos asociados a materializaciones de riesgos en accidentes, aspecto que no resulta útil para efectos de prevención. Luego, es necesario predecir en tiempo y espacio la manifestación de un evento para ejercer *"Control"* sobre él.

El *"Seguimiento de Riesgos"* ha sido aplicado a actividades de trabajo concretas en *Planta de Concentrado de Cobre* de la *División Chuquicamata de Codelco Chile*, obteniéndose para éstas actividades índices de frecuencia (IF) iguales a cero desde 1995, en contraste con cifras de 2.0, presentes antes de la aplicación de este modelo. Esto se traduce en una ausencia de registro en éstas actividades de materializaciones de riesgos en accidentes, lo cuál es una prueba de efectividad real y objetiva, en la protección del recurso humano, tecnológico y ecológico.

El modelo en sí para *seguimiento de riesgos* también puede ser utilizado para actividades de trabajo en el Espacio, en donde el detalle conceptual y matemático para su realización ha sido enviado al *Centro Espacial Johnson (JSC) de NASA*, para su evaluación y futura aplicación en todas las etapas involucradas en el diseño de misiones espaciales. La palabra clave en la solución del problema inicial, siempre ha sido la *PREDICCIÓN*.

Apéndice

Descripción explícita de funciones de onda riesgo, construcción de gráficos y ejemplos experimentales para actividades de trabajo reales.

1. Descripción explícita para funciones de onda riesgo.

Refiriéndonos a la función ψri (función-onda riesgo), la definimos como un objeto espectral asociado a un objeto conceptual denominado actualmente como *"riesgo operacional"*, dicha asociación es representativa de un análisis armónico preliminar (Arthur, 2000)]. Luego la función de onda riesgo como objeto espectral representativo de la mecánica cuántica, que a su vez es afectada por el *"Principio de Incertidumbre de Heisenberg"*, tiene por forma original una función definida en tiempo y espacio, como sigue, objeto espectral $\equiv$ función de onda riesgo $\equiv$ ψri (xi,ti), inicialmente podríamos trabajar con xi y ti, pero podemos prescindir de xi como coordenada espacial, debido a que esta información se encuentra implícita en los procedimientos definidos para actividades de trabajo particulares, en donde cada paso definido para la actividad es realizado por expertos con años de experiencia en la ejecución de la misma, y en donde cada paso esta asociado a un lugar espacial, el cual a su vez es equivalente a una coordenada de posición bien conocida por cada integrante del equipo de trabajo respectivo. Luego la coordenada xi implícita en los procedimientos de la actividad, se convierte en una coordenada objetiva, para todos y cada uno de los integrantes del equipo antes mencionado. Luego, de acuerdo a lo anterior, trabajamos con la función de onda riesgo definida sólo según la variable tiempo, lo que nos proporciona valiosa información sobre la evolución dinámica de dicha función, durante el desarrollo de una actividad de trabajo.

De esta manera definimos nuevamente nuestra función de onda como,

objeto espectral $\equiv$ función de onda riesgo $\equiv$ ψri (ti),

en este punto es importante destacar que cuando los expertos definen y registran los pasos a realizar para cada actividad de trabajo, también asocian los riesgos intrínsecos a cada paso. Luego para trabajos en sistemas cerrados, definimos nuestra función como,

$$\psi ri\,(ti) = \pm(\,k\,)^{1/2}\; e^{-(\,ti\,-\,A\,)^2/2}\quad ,\ \text{donde}$$

ψri = Función de onda riesgo discreta i-ésima, siendo i perteneciente al conjunto {1,2,...,n}, en el cual n es el número de riesgos identificados y en donde la función es de tipo Gaussiana.

k = Es una probabilidad apriori cuantificadora de grados de entropía, y que es positiva en espacios positivos. Esta probabilidad apriori es muy fácil de calcular y se define como, (1/m), siendo m el número de posibilidades o de funciones riesgo presentes en un paso determinado de la actividad considerada. Su valor numérico comprende un rango de 0 a 1, y su interpretación en porcentaje visualiza la entropía de las funciones riesgo en cada paso de la actividad de trabajo.

ti = Es el flujo de tiempo que transcurre durante la actividad de trabajo.

Este flujo en sí, corresponde a la sensación de movimiento relativo a nuestros sentidos, los cuales interpretan una sucesión de eventos en el espacio físico, como una transición desde un instante a otro, es decir, una sucesión de presentes por unidad espacial ó de volumen de entorno, que se traduce en un flujo, así opera nuestro concepto tiempo desde el punto de vista de nuestros sentidos; desde la visión físico-matemática es un vector.

A = Valor temporal en el cual el grado de manifestación de ψri es un máximo. Este valor A, corresponde a la duración total de la actividad en unidades de tiempo, es en este punto de mayor exposición en donde la campana de Gauss, muestra su mayor valor probabilístico de manifestación.

Para sistemas abiertos la función de onda es definida como,

$$½-(ti - A)^2/2\ ½-(ti - A)^2/2\psi ri(ti) = u(t)\ [\pm(k)\ e],\ ó$$

$$\psi ri(ti) = \delta(t)\ [\pm(k)e],$$

donde u(t) y δ(t), son funciones escalón e impulso respectivamente, que representan influencias de energía externas en medios abiertos, y donde ψri es una Gaussiana perturbada. Luego, para definir la densidad de probabilidad, seguimos el formalismo cuántico como sigue,

"La probabilidad de encontrar al riesgo ri descrito por la función de onda probabilística yri(ti) en el intervalo dt alrededor de t es, | yri(ti) |²dt", es decir, la probabilidad por unidad de tiempo o *densidad de probabilidad* e encontrar a ri alrededor de ti, es,

$$Pri(ti) = |\ \psi ri(ti)\ |^2,$$

luego extendiendo esto a todo el espacio, obtenemos,

$$Pri(ti) = (1/C) \int_{Ti}^{Tf} |\ \psi ri(ti)|^2\ dxdydz,$$ que es la expresión original,

Luego, haciendo dxdydz = dV, que es el diferencial de volumen de entorno de trabajo, su evolución en el tiempo nos permite definir,

$dV/dt = B(t) \Rightarrow dV = B(t)dt$, luego Pri puede ser redefinido como,

$$Pri(ti) = (1/C) \int_{Ti}^{Tf} |\, \psi ri(ti)\, |^2 \, B(t)dt, \text{ siendo,}$$

Pri(ti) = Densidad de probabilidad para un riesgo i-ésimo en un tiempo ti.

C = Factor cuantificador de grados de sujeción a estructuras, por piolas de alta resistividad durante trabajos en altura. Si no hay sujeción entonces C = 1, y Pri es un máximo. Su determinación está vinculada al número de piolas utilizadas, siendo su cálculo dado por, $C = \beta + 1$, donde β es el número de piolas, luego si β toma los valores (0,1,2,3,...), C tomará los valores (1,2,3,4,...).

Tf = Tiempo total de exposición empleado en una actividad de trabajo. Ti = (1/D), donde $D \in \{10,100,1000,...\}$, mientras mayor sea D, mayor será la exactitud de Pri.

B(t)dt = dV, es definido en coordenadas esféricas y en función de t, como,

$$dV = B(t)dt = 3\mathrm{sen}^2\phi\,\mathrm{sen}\theta\cos\phi\cos\theta \,[(e^{-1/1000t} + x - 1)^2 +$$

$$(e^{-1/1000t} + y - 1)^2 +$$

$$(e^{-1/1000t} + z - 1)^2\,]^{1/2} \; (e^{-1/1000t}/1000t^2)(3e^{-1/1000t} + x + y + z - 3)\, dt ,$$

siendo ésta una expresión explícita del diferencial de volumen de entorno en coordenadas esféricas (δ,θ,ϕ), que incluye los componentes longitud, latitud y colatitud, respectivamente; θ es también llamado ángulo polar, y ϕ es el ángulo azimutal, δ se encuentra incluido dentro la expresión anterior.

Mayores detalles solicitarlos a: *juanechaurren@discoverymail.com*

2. Datos experimentales y fórmulas para la construcción de gráficos, según ejemplos de actividades reales.

Tomamos aquí, como ejemplo real, una actividad de trabajo realizada en *Planta de Fundición de Concentrado CT-1* (Echaurren, 1998)] , definida por, *"Calibración de pesómetro nuclear Ramsey 10-301 en correa transportadora 109-AC"*. Para esta actividad se identifican 18 riesgos latentes asociados a 5 pasos en los cuales ha sido dividida la misma. Como ejemplo tomaremos el riesgo r1 y mostraremos los cálculos obtenidos a través del modelo ya descrito. Este riesgo pertenece al paso l de la actividad y es definido como,

r1 : *Posibilidad de caídas en dirección horizontal de trayecto, durante tras lado de instrumental desde entrada principal de CT-1, hacia escaleras conducentes a consola.*

Aquí el diferencial de volumen de trabajo y entorno es definido como,

$$dV(t) = B(t)dt = 0.000299407\left[\left(e^{-1/1000t} + 7.675\right)^2 + \left(e^{-1/1000t} + 3.2\right)^2 + \left(e^{-1/1000t} + 13.53916667\right)^2 \right]^{1/2} \left(3e^{-1/1000t} + 24.41416667\right)\left(e^{-1/1000t}/t^2\right) dt \; ,$$

$$\text{Función de onda probabilística} = Pr1(t1) = (1/7)\, e^{-(t-2)^2} \qquad (1)$$

$$\text{Función de onda natural} = \psi r1(t1) = (1/7)^{1/2}\, e^{-(t-2)^2/2} \qquad (2)$$

$$\text{Densidad de probabilidad} = Pr1(t1) = (1/C)\int_{0.0001\ \text{Hrs.}}^{2\ \text{Hrs.}} |\,\psi r1(t1)|^2\, B(t)dt = 0.3584 \sim$$

35.84%,

aquí C=1, Ti=(1/10000) Hrs = 36 centésimas de segundo, corresponde al inicio de la actividad una vez legado a terreno. Tf = 2 Hrs. es el tiempo de duración de la actividad. Luego r1 es evaluado dentro de dV y dentro de las 2 Hrs. de trabajo. Los riesgos restantes son evaluados de la misma forma, considerándose los tiempos de desfase entre ellos, debido a esto los Tf también sufrirán variaciones en los cálculos de Pri. Este desfase es debido a que los riesgos están separados espacialmente por sectores según la etapa o paso de actividad a la cual pertenezcan, luego esta ubicación secuencial, impide que todos los riesgos asociados a la actividad se materializen al espacio físico simultáneamente, y por tanto lo hacen desfasados temporalmente por un valor S = (1/e), siendo e, el número de riesgos por etapa, y S dependerá de los riesgos en cada etapa. Luego matemáticamente, cada riesgo es evaluado con inclusión de sus desfaces, así los Pri calculados incluyen en sus Tf los desfaces S, mencionados, y los Tf sufrirán incrementos S, consecutivos en la actividad.

Luego lo obtenido para Pr1(t1) predice un 35.84 % de grado de manifestación para r1 dentro de dV(t) = B(t)dt (entorno).

Siguiendo, para un desnivel horizontal de trayecto vh=24.825 cm, un valor a nivel de trabajo de g=9.76226916 m/s² y una constante específica de densidad gravitatoria Dg=7.14201508 x 10^{-3} N/cm³ (para masa promedio de personal de 65 kg), obtenemos una predicción para el porcentaje de daño corporal latente dado por,

$$\%\ \text{daño corporal latente} = \int_{0\ cm}^{2.825\ cm} Pr1(t1)Dg\, dh = 0.063544507 \sim 6.36\ \%,$$

que es el daño por persona a manifestarse en caso de caídas asociadas a r1, y siendo el desnivel horizontal mencionado, una cota ó altura por sobre un nivel de referencia que es la vía de trayecto habitual, y teniendo esta cota un valor dado por vh. Además, la expresión anterior es el resultado de una expresión más completa y general, dada por:

$$\%\ \text{daño corporal latente} = (\text{sen}\ \alpha)\left(\int_{0\ cm}^{24.825\ cm} Pr1(t1)Dg\, dh \right) = 0.063544507 \sim 6.36\ \%, \quad (3)$$

siendo α, el ángulo formado por el vector fuerza gravitatoria (desde el desnivel horizontal) y el nivel de referencia de trayecto habitual. En este caso α = 90°, y sen 90° = 1, por tanto el valor de % daño corporal latente aquí calculado es un máximo, y cuantifica una caída desde un desnivel horizontal hacia nuestro nivel de referencia. Cuando el trayecto se efectúa sobre superficies inclinadas, α corresponde al ángulo entre la inclinación y nuestro nivel de referencia (horizontal). Cuando $\alpha = 0°$, entonces nos encontramos caminando sobre nuestro nivel de referencia, y el % de daño en este caso es un mínimo, de esta manera la función para el % de daño corporal latente queda definida como:

$$\text{\% daño corporal latente} \equiv (\text{sen}\ \alpha) \int_{0\ cm}^{vh\ (cm)} Pr1(t1)\ Dg\ dh \quad , \ \forall\ \alpha \in\ ]\ 0°,90°] \wedge$$

$vh > 0$,

$$\text{\% daño corporal latente} \equiv Pr1(t1)\ Dg,\ \forall\ \alpha = 0° \wedge vh = 0\ cm\ .$$

Las integrales son calculadas a través de una calculadora Hewlett Packard 48 GX con 128 K en memoria RAM, la cual realiza gráficas tridimensionales. Posteriormente los resultados son expresados en porcentaje.

Para la determinación de la constante específica de densidad gravitatoria Dg, se efectúa un cuociente entre la función Fuerza Gravitatoria de Newton, y el volumen corporal de una persona en cm^3. Éste último se obtiene a través de construcción geométrica de un prisma recto, que simula el volumen corporal; para tal construcción se utilizan altura(H), talla de calzado(γ) y ancho de base(η). Luego, suponiendo que, $H = 173$ cm, $\gamma = 26$ cm, $\eta = 21$ cm, $m = 85$ kg, y $g = 9.76226916\ m/s^2$, tenemos:

$$\begin{aligned} Dg &= F(m,g) / H\gamma\eta = mg / H\gamma\eta \\ &= 829.793\ N / 94458\ cm^3 = 8.78478 \times 10^{-3}\ N / cm^3\ , \end{aligned}$$

conservando los valores para α, vh, Pr1(t1), y aplicando la ecuación (3), obtenemos que el % de daño corporal latente = 0.0781606 ~ 7.82 %, que en este caso a aumentado, debido al cambio de 65 kg a 85 kg, y como puede apreciarse este es un resultado muy interesante, pues refleja la importancia de nuestra masa en los % de daño corporal latentes, el cambio de 6.36 % a un 7.82 %, arroja un aumento del 1.46 %, es decir, hablamos de un 0.073 % de daño por kilo de aumento en nuestra masa. Ahora, este resultado es exclusivo del riesgo definido (r1), y cambiará para los riesgos asociados restantes.

Para obtener el gráfico de la función de onda riesgo r1, basta con graficar la función Gaussiana $\psi r1(t1)$ antes descrita más arriba. Lo mismo se hace para obtener los gráficos de los riesgos restantes, la superposición de todos genera la gráfica para la actividad total, ya antes mencionada. Para graficar y observar el amortiguamiento natural antes mencionado, basta con graficar los datos experimentales-predictivos para las densidades de probabilidad calculadas y para los % de daño corporal latentes asociados a la actividad como sigue, para las densidades de probabilidad en %,

Paso l.	Paso ll.	Paso lll.	Paso lV.	Paso V.
Pr1=35.84%	Pr8=0.9875%	Pr10=0.7133%	Pr11=0.4631%	Pr12=0.06224%
Pr2=20.20%	Pr9=0.6261%			Pr13=0.05941%
Pr3=11.05%				Pr14=0.05642%
Pr4=5.907%				Pr15=0.05365%
Pr5=3.133%				Pr16=0.05108%
Pr6=1.688%				Pr17=0.04870%
Pr7=0.9568%				Pr18=0.04648%

podemos observar el amortiguamiento natural en la disminución de los valores. El gráfico de todos los Pri en % con respecto a los desfaces temporales entre ellos, permite construir una función distribución de Poisson, la cual es una función estadística real. La diferencia radica en que para el caso de Poisson, debemos esperar a que se manifiesten en accidentes, y en nuestro caso el modelo matemático se adelanta a través de predicciones lo cual se constituye en nuestra total *VENTAJA*. Para el caso de los % de daño corporal latente obtenemos,

Paso l.	Paso ll.	Paso lll.	Paso lV.	Paso V.
r1=6.36 %	r8=0.29%	r10=0.21%	r11=0.14%	r12=0.013%
r2=33.18 %	r9=2.10%			r13=0.020%
r3=11.10 %				r14=0.520%
r4=54.8 %				r15=0.130%
r5=20.07 %				r16=0.050%
r6=0.62 %				r17=0.080%
r7= 0.20 %				r18=0.008%

a través de estos datos en función de los desfaces temporales, podemos graficar transitorios de daño (mayor daño) desde r1 a r5, y el amortiguamiento natural (menor daño) desde r6 a r18. Luego vemos que el punto de mayor daño corporal se manifiestaría dentro del 22.222 % de desarrollo de la actividad, y comenzaría su amortiguamiento ó disminución a partir del 33.33 % de la misma. Ahora, para ésta actividad en particular el punto de corte entre transitorios de daño y amortiguamiento natural, esta representado por r6. Una generalización estricta sobre este punto de corte no es adecuada, pues todas las actividades de trabajo son distintas, aún repitiéndolas, las condiciones de terreno son siempre aleatorias y las magnitudes de influencia sobre nuestros sentidos, riesgos y entorno son múltiples. Es por ello, que cada actividad debe ser analizada de manera independiente para asegurar la mayor objetividad de los resultados en la prevención de accidentes. Sólo podemos inducir a partir de este modelo, que un punto de corte se caracteriza por valores porcentuales de daño corporal de la forma, $\kappa \times 10^{-a}$, donde κ es un número real perteneciente al intervalo [0,10 [, y "a" pertenece al conjunto (1,2,3,...). Luego, tomando a r18 como un riesgo presente en el final de la actividad (100% de la actividad), el punto de mayor % de daño, r4, representa el 22.222 % de ésta, es decir, 4(100)/18; y el comienzo de amortiguamiento r6 es el 33.333 %, es decir, 6(100)/18; y como el % daño para r6=0.62 %= 6.2×10^{-1} %, entonces es un punto de corte, pues cumple con la condición antes definida.

Mayores datos solicitarlos en: *juanechaurren@discoverymail.com*

Referencias

Yndurain, F. "*Mecánica Cuántica*". Madrid, Alianza Editorial,S.A., pp. 23-36, 1988.

Echaurren, J. "*Planteamiento de un modelo matemático en términos de funciones de onda Gaussianas para la descripción y control analítico- probabilístico de riesgos mediante el empleo de densidades de probabilidad cuánticas*". Subgerencia de Ingeniería y Mantención. Codelco Chile-División Chuquicamata, 1995.

Echaurren, J. "*Identificación-determinación-cuantificación exacta de da ño corporal por caídas y diseño de señalización gráfica-visual interactiva y preventiva por modelamiento matemático, con código de colores, en correa transportadora 109-AC de Planta Fundición de Concentrado CT-1*". Subgerencia de Ingeniería y Mantención. Codelco Chile-División Chuquicamata, 1998.

Echaurren, J. "*Mapeo de riesgos por modelamiento matemático en formalismo cuántico aplicado a un esquema de caso con definición : Montaje Filtro Retención Partículas PTE*". Subgerencia de Ingeniería y Mantención. Codelco Chile-División Chuquicamata, 2000.

James Arthur. "*Harmonic analysis and group representations*". Notices of The American Mathematical Society,Vol. 47, No. 1,pp.26-34, January 2000.

Juan Carlos Echaurren: Estudia Instrumentación y Automatización en la Facultad Tecnológica de la Universidad de Santiago de Chile. Realiza estudios en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. Ingresa a Codelco Chile, División Chuquicamata, al Departamento de Automatización y Electrónica, específicamente a las áreas de análisis, electromedicina y pesaje dinámico. Ha realizado investigación en modelamiento matemático y cosmología cuántica, presentando y publicando trabajos en los Congresos de Matemática Capricor-nio COMCA desde 1997. Ha sido miembro de numerosas sociedades científicas americanas y recientemente invitado al American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA). En 1997 es premiado por la División Chuquicamata de Codelco Chile por aportes innovadores en el análisis y prevención de accidentes. Recientemente ha presentado proyecto de aplicación en seguridad espacial al Centro Espacial Johnson (JSC) de NASA. Su biografía ha sido publicada en ediciones del Who's Who, y recientemente en *"2000 Outstanding Intellectuals of the 20th Century*