

# ***El Análisis de Riesgo Cuantitativo como una Poderosa Herramienta para la Planificación Estratégica de Procesos Petroquímicos***

Cabeza, María Alejandra  
Cabrita S., Edgar N.

**Cabeza, María Alejandra**  
Ingeniero Industrial  
MSc. en Ingeniería de Producción  
Docente e Investigadora de la  
Universidad Simón Bolívar  
[mcabeza@usb.ve](mailto:mcabeza@usb.ve)

Recibido: 24-05-05  
Revisado: 16-09-05  
Aceptado: 07-12-05

**Cabrita S., Edgar N.**  
Ingeniero de Producción  
Docente e Investigador de la  
Universidad Simón Bolívar  
[edgarusb@cantv.net](mailto:edgarusb@cantv.net)

La metodología del Análisis de Riesgo Cuantitativo (ARC), tiene como objetivo específico la revisión cuantitativa de los riesgos que pueden presentarse en la industria de Procesos Petroquímicos. Por medio de una planificación estratégica, apoyada sobre la metodología ARC, siendo la misma de carácter uniforme y consistente, pueden evitarse riesgos que puedan ocasionar pequeños incidentes frecuentes de bajas consecuencias, hasta incidentes de mayores magnitudes y poco comunes. Esta metodología es relativamente nueva y ha probado ser valiosa como instrumento gerencial en la actuación de la seguridad total en el sector Industrial, específicamente las que llevan a cabo Procesos Químicos (CPI) y Petroquímicos. Dicha herramienta ayuda al ingeniero a cuantificar los distintos riesgos que pueden ocurrir en el sector petroquímico y la disminución de los mismos, siendo ésta la razón más importante para la aplicación de la metodología del Análisis de Riesgo Cuantitativo (ARC), en virtud de la seguridad industrial.

**Palabras clave:** Riesgo, gerencia, seguridad, proceso, accidentes.

**RESUMEN**

The methodology of the Quantitative Risk Analysis (ARC), has as specific objective the quantitative revision of the risks that can appear in the industry of Petrochemical Processes. By means of a strategic planning, supported on methodology ARC, being the same one of uniform and consistent character; risks can be avoided that can cause small incidents frequent of low consequences, until incidents of greater magnitudes and little common. It is methodology she is relatively new and it has proven to be valuable like management instrument in the performance of the total security in the Industrial sector, specifically those that carry out Process Chemistry (CPI) and Petrochemical, this tool, aid to the engineer to quantify the different risks that can happen in the petrochemical sector and the diminution of such; being it is the important reason but for the application of the methodology of the Quantitative Risk Analysis (ARC) in virtue of the industrial security.

**Key words:** Risk, management, security, process, accidents.

**ABSTRACT**

## 1. Introducción

En los últimos 15 años, la metodología del ARC ha evolucionado mucho desde que comenzó en la industria aeroespacial, electrónica y nuclear. Los análisis de riesgo más extensos sobre potenciales catástrofes se han realizado en la industria nuclear, donde las Evaluaciones de Riesgos Probabilísticas (Probabilistic Risk Assessment, PRAs) no son extrañas. La Guía de Procedimientos de PRA (NUREG, 1983) es el manual definitivo de las técnicas utilizadas en la industria nuclear. *La Guía de Procedimientos de Análisis de Seguridad Probabilística* (NUREG, 1985) es un documento similar, publicado mayormente para que lo usen las agencias reguladoras en el campo nuclear, y también se ha publicado una revisión del status de la PRA en la industria nuclear (Ballard, 1987).

La clave del ARC es un concepto sencillo que ofrece métodos para contestar las siguientes cuatro preguntas:

1. ¿Qué puede ir mal?
2. ¿Cuáles son las causas?
3. ¿Cuáles son las consecuencias?
4. ¿Cuál es la probabilidad de que ocurra?

Una relativa aplicación del ARC, es la comparación de las estrategias para la reducción del riesgo. Algunas organizaciones también usan el ARC en un sentido absoluto para confirmar que se han alcanzado metas referentes al riesgo: Una mayor reducción del riesgo, más allá de las metas anteriores, puede ser apropiada donde un análisis del costo-efectividad lo permita.

La aplicación de todo el conjunto de técnicas del ARC comprende una revisión cuantitativa de los riesgos que pueden hallarse en una instalación, que van desde incidentes frecuentes de bajas consecuencias hasta incidentes grandes y poco comunes, utilizando una metodología uniforme y consistente. Una vez identificados los

procesos del riesgo, las técnicas del ARC pueden ayudar a centrar/enfocar los estudios de control de riesgo. Los mayores contribuyentes del riesgo pueden ser identificados, y pueden hacerse recomendaciones y tomarse decisiones, en cuanto a medidas correctivas, sobre bases objetivas y consistentes.

El ARC es una tecnología naciente dentro del CPI y hay variaciones de la terminología en la literatura publicada, lo que puede llevar a confusión. Por ejemplo, mientras el "riesgo" viene definido como: "una medida de pérdida económica o humanas en términos de posibilidad del incidente y de magnitud de la pérdida", los lectores deben estar conscientes de que también se utilizan otras definiciones. Por ejemplo, Kaplan y Garrick (1981) han discutido una infinidad de posibles definiciones de "riesgo". Así, se dice que:

- Riesgo es una combinación de incertidumbre y daño.
- Riesgo es una relación de peligros y medidas de seguridad.
- Riesgo es una triple combinación de evento, probabilidad y consecuencia.

Ninguna organización o sociedad tiene los medios para llevar a cabo el ARC (a cualquier profundidad) sobre todos los riesgos imaginables. A fin de decidir dónde y cómo usar los medios disponibles, es necesario seleccionar los puntos específicos para el estudio y optimizar la profundidad del estudio para cada punto seleccionado.

## 2. Desarrollo

### 2.1. Procedimiento Completo del ARC

Toda la lógica del ARC comprende los siguientes componentes técnicos:

1. Definición del ARC

2. Descripción del sistema
3. Identificación del riesgo
4. Enumeración de los incidentes
5. Selección
6. Construcción de un modelo de ARC
7. Estimación de las consecuencias
8. Estimación de la posibilidad
9. Estimación del riesgo
10. Utilización de los estimados del riesgo

Más adelante se da un resumen de cada una de estas técnicas y en las secciones indicadas pueden encontrarse más detalles sobre las mismas.

- **Definición del ARC:** este convierte las necesidades del usuario en metas de estudio y en objetivos. Las medidas del riesgo y los formatos de presentación del riesgo se escogen al terminar un objetivo de trabajo para el ARC. Luego se selecciona la profundidad del estudio, basándose en los objetivos específicos definidos y en los recursos disponibles. La necesidad de estudios especiales (por ejemplo, la evaluación del efecto dominó, fallas en el sistema de computación, o indisponibilidad de un sistema de protección) también es tomada en cuenta. La definición del ARC concluye con la definición del estudio de los requisitos específicos de la información, los cuales serán satisfechos por medio de la construcción de la base de datos para el análisis.
- **Descripción del sistema:** es la compilación de la información del proceso/la planta que se necesita para el análisis del riesgo; por ejemplo, ubicación del lugar, alrededores, datos del clima, diagramas de flujo del proceso (PFDs), diagramas de las tuberías y de los equipos (PAIDs), dibujos de los tendidos de tuberías, procedimientos de mantenimiento y de operación, documentación sobre la tecnología utilizada, química del proceso,

datos sobre las propiedades termodinámicas, entre otros. Esta información se introduce en la base de datos para el análisis, para utilizarla durante el ARC.

- **Identificación del riesgo:** es un paso crítico en el ARC. Un riesgo omitido es un riesgo no analizado. Para este paso se dispone de muchos instrumentos, incluyendo experiencia, códigos de ingeniería, listas de verificación, conocimiento detallado del proceso, experiencia en la falla del equipo, técnicas de índice de riesgos (Dow, Mond). Análisis ¿qué ocurre si...?, estudios de riesgo operabilidad (HAZOP), modos de fallas y análisis del efecto (FMBA), análisis preliminar del riesgo (PHA). Estos instrumentos se analizan extensamente en la Guía HEP (AIChE/CCPS, 1985). Luego Lees (1985), Mashall (1981) y Bretherick (1983) dan información adicional en riesgos químicos comunes.
- **Enumeración de los incidentes:** es la identificación y tabulación de todos los incidentes sin tomar en cuenta la importancia o el motivo del mismo. Este también es un paso crítico, ya que un incidente omitido es un incidente no analizado.
- **Selección:** es el proceso por medio del cual se eligen uno o más incidentes significativos para representar todos los incidentes identificados, para identificar las manifestaciones de los incidentes y para desarrollar los incidentes en sí.
- **Construcción del modelo para el ARC:** este paso cubre la selección de los modelos de consecuencia apropiados, métodos de estimación de la posibilidad y su integración a un algoritmo total para producir y presentar los estimados del riesgo para el sistema en estudio. Mientras que varios algoritmos pueden sintetizarse, una forma básica y/o prioritaria puede construirse para crear oportunidades que reduzcan el tiempo y el esfuerzo requerido por procedimientos menos estructurados.

- Estimación de las consecuencias: es la metodología utilizada para determinar el daño potencial de incidentes específicos. Un sólo incidente (por ejemplo, la ruptura de un tanque presurizado de líquido inflamable) puede tener muchas manifestaciones diferentes (por ejemplo, Explosión No Confinada de una nube de vapor (UVCE), Explosión del vapor en Expansión de un líquido hirviendo (BLEVE), un fogonazo. Estas manifestaciones se analizan usando modelos de fuente y dispersión de modelos de incendio y explosión. Los modelos de efecto se usan para determinar las consecuencias en las personas o estructuras. Acciones evasivas como refugios o evacuación pueden reducir la magnitud de las consecuencias y pueden incluirse en el análisis.
- Estimación de la probabilidad: se utiliza para estimar la frecuencia o probabilidad de la ocurrencia de un incidente. Los estimados pueden obtenerse de datos históricos sobre la frecuencia de los fallos, o de los modelos de secuencia de fallos, tales como árboles de fallos y árboles de eventos
- Estimación del riesgo: combina las consecuencias y la probabilidad de todos los incidentes seleccionados para suministrar una medida del riesgo. Los riesgos de todos los incidentes seleccionados se estiman individualmente y se suman, para así obtener una medida total del riesgo. En esta parte se discuten la sensibilidad e incertidumbre de los estimados del riesgo, y la importancia de los diferentes incidentes que contribuyen con estos estimados.
- Utilización de los estimados del riesgo: por medio del cual los resultados de un análisis de riesgo se usan para tomar decisiones, bien sea por medio de los rangos relativos de las estrategias de reducción del riesgo, o por medio de la comparación con objetivos (blancos) específicos de riesgo.

El último paso del ARC (utilización de los estimados del riesgo) es el paso clave en una evaluación del riesgo. Este paso requiere de que el usuario compare el estimado del riesgo del ARC con los objetivos (blancos) de riesgo suministrados y decida si se necesitan más medidas de reducción del riesgo. Este paso ha sido incluido como un componente de las técnicas del ARC para enfatizar su influencia en el diseño del algoritmo de ARC.

La estimación del riesgo da una visión más aguda del posible grado de reducción del riesgo y de las áreas donde la reducción del riesgo puede ser más efectiva. Las estrategias propuestas para la reducción del riesgo pueden incorporar cambios tanto al diseño como a la operación del sistema a fin de eliminar o reducir las consecuencias o frecuencias de los incidentes; tales proposiciones necesitan mostrarse para poder cubrir todas las necesidades de la empresa (por ejemplo, calidad, capacidad, legalidad y costo) antes de que sean revisadas por las técnicas del ARC.

Las otras necesidades del usuario se explican por sí mismas y se tratan con más detalle en la discusión del proceso de evaluación del riesgo y en el programa relacionado con la gerencia del riesgo.

## **2.2. Procedimiento para el Orden Prioritario en el ARC.**

La mayoría de las aplicaciones de la metodología del ARC no necesitarán usar todas las técnicas introducidas en la sección anterior. Las técnicas del ARC son flexibles y pueden aplicarse selectivamente en varios órdenes. La estimación de la consecuencias puede utilizarse como un filtro para identificar riesgos de consecuencias negligentes (y por lo tanto un riesgo por negligencia)

para evitar una detallada estimación de frecuencia. Igualmente, la estimación puede identificar los riesgos de una pequeña probabilidad de ocurrencia, cuyos estimados de las consecuencias son innecesarios. Como ya se discutió, los diferentes procedimientos algorítmicos pueden construirse como un resultado. Cada procedimiento presenta un orden prioritario de los cálculos que se realizarán. Se pueden utilizar varios criterios para desarrollar el orden de precedencia. Cada orden ofrece ventajas y desventajas. No se recomienda ningún orden específico, ni ninguno es considerado óptimo.

El procedimiento fue creado para ilustrar una forma de poner en orden de prioridades el esfuerzo hecho con los cálculos. Este procedimiento fue diseñado para suministrar oportunidades que reduzcan el tiempo y el esfuerzo necesarios para alcanzar resultados aceptables. Estas oportunidades surgen naturalmente, debido al orden de los cálculos. Los criterios para establecer la prioridad de los cálculos se basan en la madurez de las técnicas y en su facilidad de uso. Las técnicas de estimación de las consecuencias más maduras son las que reciben las prioridades más altas. Estas técnicas también son las que se ejecutan con más facilidad. El grado de esfuerzo y las incertidumbres aumentan durante el procedimiento, mientras que la madurez de las técnicas disminuye.

El procedimiento para el orden prioritario en el procedimiento del ARC, incluye los siguientes pasos:

- Paso 1 - Definir ARC
- Paso 2 - Describir sistemas
- Paso 3 - Identificar riesgos
- Paso 4 - Enumerar los incidentes
- Paso 5 - Seleccionar los incidentes, las manifestaciones de los incidentes, y los casos de incidentes.

- Paso 6 - Estimar las consecuencias: si las consecuencias de un incidente son aceptables a cualquier frecuencia, el análisis del incidente es completo. Esta es una simplificación del análisis del riesgo, en el cual se asume que la probabilidad de ocurrencia del incidente, dentro del período de tiempo que nos interesa, es de 1.0 (es muy probable que ocurra el incidente). Por ejemplo, el derrame de un tanque de glicol etileno en un sistema de contención representa un riesgo mínimo, incluso si el hecho ocurriera. Si las consecuencias no son aceptables, proceda al Paso 7.

- Paso 7 - Modificar el sistema para reducir las consecuencias. Las medidas para reducir las consecuencias deben ser propuestas y evaluadas. El análisis, entonces, vuelve al Paso 2, para determinar si las modificaciones han introducido nuevos riesgos, y para reestimar las consecuencias. Si no hay modificaciones factibles técnicamente o económicamente viables, o si las modificaciones no eliminan las consecuencias inaceptables, proceda al Paso 8.

- Paso 8 - Estimar la frecuencia. Si la frecuencia de un incidente es aceptablemente baja, dadas las consecuencias estimadas, el análisis del incidente está completo. Si no, proceda al Paso 9.

- Paso 9 - Modificar el sistema para reducir las frecuencias. Este paso es muy parecido al Paso 7. Si no hay modificaciones factibles técnicamente y económicamente viables, que permitan reducir la frecuencia a un nivel aceptable, proceda al Paso 10. Si no es así, vuelva al Paso 2.

- Paso 10 - Combinar la frecuencia y las consecuencias para estimar el riesgo. Si el estimado del riesgo está al nivel o por debajo del blanco, o si la estrategia propuesta ofrece una reducción aceptable del riesgo, el ARC está terminado y el diseño está aceptado.

- Paso 11 - Modificar el sistema para reducir el



riesgo. Este paso es idéntico a los Pasos 7 y 9. Si no se encuentran modificaciones para reducir el riesgo a un nivel aceptable, entonces es necesario hacer cambios fundamentales al diseño del proceso, a las necesidades del usuario, a la selección del lugar, o a la estrategia de la empresa.

### 2.3. El Cubo de Estudio

Es una buena práctica profesional prestar mucha atención al objetivo del ARC, a fin de satisfacer supuestos prácticos y cronogramas de trabajo. No es extraño que la carga “explote”, si el objetivo no se especifica detalladamente antes de comenzar el trabajo, y si el ARC no se sigue cuidadosamente durante la ejecución del proyecto. Esta sección introduce el concepto del cubo para relacionar el objetivo, la carga de trabajo y las metas, y posteriormente dar las metas típicas

para varios objetivos del ARC (ver figura 1).

Los ARC varían desde estudios simples y “en bosquejo” hasta análisis detallados del riesgo, que estudian un gran número de incidentes, utilizando modelos de frecuencias y consecuencia altamente sofisticados. Entre estos extremos, existe un grupo de ARC que no tiene límites estrictamente definidos o categorías establecidas. Para entender mejor cómo varía el objetivo para los ARC, resulta muy útil la utilización de la Figura del Cubo (ver figura 1), donde los ejes representan los tres factores principales que definen el objetivo del ARC: técnica de la estimación del riesgo, complejidad del análisis, y número de incidentes seleccionados para el estudio. Este arreglo también nos permite considerar “planos” a través del cubo, en los cuales el valor de uno de los factores se mantiene constante.

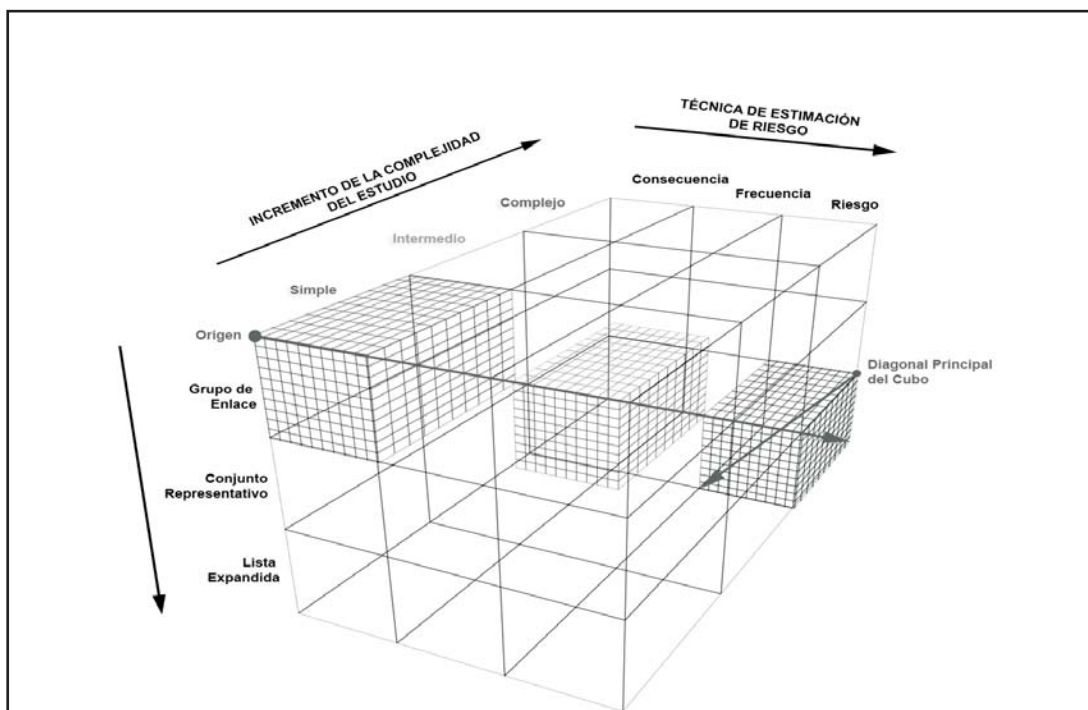


Figura 1. El Cubo de Estudio. Fuente: Elaboración propia.

Para este punto, cada eje del cubo de estudio ha sido dividido arbitrariamente en tres niveles de complejidad. Esto da como resultado un total de 27 categorías de ARC, dependiendo de qué combinaciones de complejidad de tratamiento se seleccionan para los tres factores. Cada célula del cubo representa una caracterización. Sin embargo, algunas células representan combinaciones de características que es más probable que resulten más útiles en el curso de un proyecto o en el análisis de una instalación existente.

#### 2.4. Técnica de Estimación del Riesgo.

Cada uno de los componentes de este eje corresponde a un punto de salida del estudio en la Figura 2. La complejidad y nivel de esfuerzo necesarios, aumenta junto con el eje (desde la consecuencia, pasando por la frecuencia, hasta llegar a la estimación del riesgo), pero no necesariamente en forma lineal. Por ejemplo, el esfuerzo y los recursos requeridos pueden aumentar factorialmente si se necesita la estimación total del riesgo.

	PEQUEÑO	MEDIANO	GRANDE
ELEMENTAL	SIMPLE	SIMPLE/ INTERMEDIO	INTERMEDIO
AVANZADO	SIMPLE/ INTERMEDIO	INTERMEDIO	INTERMEDIO/ COMPLEJO
SOFISTICADO	INTERMEDIO	INTERMEDIO/ COMPLEJO	COMPLEJO

**Figura 2.** Complejidad de los valores del eje para el Cubo de Estudio. Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, la representación de la

estimación por consecuencia frecuencia y riesgo, es un indicativo del nivel de madurez de estas técnicas. La cuantificación de las consecuencias de un incidente que implique la pérdida de fluido, ha sido estudiada intensamente.

Cuando no se dispone de datos históricos, los métodos del análisis del árbol de fallos (AAF) y del análisis del árbol de eventos (AAE) son los utilizados. Estos métodos dependen mucho del juicio y experiencia del analista y no son tan utilizados en el CPI como los modelos de consecuencia. Finalmente, la estimación del riesgo, por medio de la generación de curvas de riesgo social o de contornos de riesgo individual, es una metodología relativamente nueva. Aún queda mucho por aprender acerca de cómo producir un estimado de riesgo verdaderamente representativo con un mínimo de incertidumbre y predisposición.

#### 2.5. Planos a través del Cubo de Estudio.

El Cubo de Estudio suministrará el marco conceptual para discutir los factores que influyen en la profundidad del ARC. Este es dividido, arbitrariamente, en 27 celdas (o casillas), cada una definida por tres factores, y para cada factor o eje del cubo, se suministran las escalas cualitativas.

Además de considerar celdas (o casillas) en el cubo de estudio, es conveniente referirse a los planos a través del cubo, especialmente a través del eje de la técnica de estimación del riesgo. Existe un plano separado para la estimación de las consecuencias, de la frecuencia y del riesgo. La técnica de estimación del riesgo se fija en cualquier parte dentro de uno de estos planos. En relación a los estudios del plano de consecuencias, hay nueve (9) combinaciones de la complejidad del estudio y número de los incidentes seleccionados. El uso del concepto del plano cuando se describe el ARC es para reforzar

la idea de que existen varios grados de libertad cuando se define el objetivo de un estudio de ARC, y, sólo para citar la técnica de estimación del riesgo, no es suficiente para utilizarse cuando se discuten niveles específicos de ARC.

## 2.6. Metas típicas de los ARC

En las metas típicas del ARC se destacan determinados grupos de incidentes. Lo ideal sería incluirlos a todos en cada análisis, pero los requerimientos de tiempo y dinero requieren optimizar los procesos observados, a fin de poder alcanzar las metas deseadas.

Las metas apropiadas para un proyecto capital de ARC siempre van a restringidas por la información disponible. Sin embargo, para una planta ya construida y en operación, se dispondrá de suficiente información para satisfacer cualquiera de ellas. La cantidad y calidad de la información disponible para un ARC depende de la etapa en que estaba el proceso para cuando se realizó el estudio. Por ello se debe realizar una profundización específica de éste, sólo si la información disponible sobre el proceso iguala o excede la información requerida. Cada uno de los 27 pasos (profundizaciones) del estudio que muestra el cubo de estudio, tiene requerimientos específicos de información. La información requerida para un ARC es una función, no sólo de la posición de la correspondiente celda (o casilla) en el cubo de estudio seleccionado (profundización del estudio), sino también de objetivos de estudio específico. En general, las necesidades de la información aumentan a medida que:

- El número de incidentes crece para un proceso.
- Se incrementa la complejidad del estudio (número de casas y complejidad de los modelos).

- La técnica de estimación progresa desde los cálculos de la estimación de las consecuencias hasta los de la estimación del riesgo, pasando por los cálculos de estimación de la frecuencia.

Conceptualmente, los requerimientos de la información aumentan al moverse desde el origen a todo lo largo de la diagonal principal del cubo de estudio. Por ello, los objetivos específicos se desarrollan desde las metas del ARC, por medio de la gerencia de proyectos. Estos objetivos pueden añadir requisitos de información (a veces únicos) a aquellos establecidos por la posición en el cubo.

A fin de discutir puntos importantes de la especificación de estudio, es conveniente limitar la atención a tres de las 27 celdas (o casillas) del cubo. Estas tres celdas (o casillas) son un ARC Simple/Consecuencia, un ARC Intermedio/Frecuencia, un ARC Complejo/Riesgo. Ellas ocupan la diagonal principal del cubo, tal y como se ve en la Figura 2. Las celdas (o casillas) están definidas en términos de una resolución del ARC Creciente. La elección de estas celdas (o casillas) no implica que representen los tipos más comunes de estudios de riesgo. Sólo se presentan para explicar los parámetros generales de esta forma de presentación de la profundización del estudio del ARC.

## 3. Conclusiones

El análisis cuantitativo del riesgo, permite acotar los distintos riesgos que pueden ocurrir en el sector industrial; ya los riesgos mayores pueden identificarse a partir de un estudio del inventario. Cuando se trate de riesgos tóxicos, se pueden utilizar modelos simples de dispersión, asumiendo el peor incidente creíble o el peor incidente posible, y las peores condiciones climáticas.



Donde los riesgos son incendios o explosiones, pueden hacerse estudios de consecuencias simples. Las zonas de efecto estimadas, pueden delinarse en el mapa para determinar potenciales puntos vulnerables (población expuesta al riesgo), riesgo financiero (interrupción del trabajo, etc.); para fines de clasificación, los estimados de la población local pueden ser suficientes. Naturalmente, cuando se encuentran puntos vulnerables significativos, estudios más detallados pueden ser necesarios.

### Referencias bibliográficas

---

- AICHF/CCPS (1985), **Guidelines for Hazard Evaluation Procedures**. Center for Chemical Process Safety, American Institute of Chemical Engineers, New York (ISBN 0416943347-6).
- Ballard, G.M. (1987). "Reliability Analysis - Present Capability and Future Developments." **SRS Quarterly Digest**, System Reliability Service, UK Atomic Energy Authority, Warrington, England, pp. 3-11, October.
- Bretherick, L (1983). **Handbook of Reactive Chemical Hazards**, 2nd edition. London: Butterworths (ISBN 0-408-70927-8).
- Dow (1987). **Fire and Explosion Index - Hazard Classification Guide**, 6th edition. CEP Technical Manual, American Institute of Chemical Engineers, New York.
- Freeman, RA (1983) "Problems with Risk Analysis in the Chemical Industry" **Plant/Operations Progress** 2(3), 185-90.
- Helmert, E. N. and L C. Schaller (1982) "Calculated Process Risk and Hazards Management" **AICHE Meeting**, Orlando, FL. Feb. 20-Mar 3. American Institute of Chemical Engineers, New York.
- Joschek, KT. (1983). "Risk Assessment in the Chemical Industry". **Plant/Operations Progress** 2(1, January), 1-5.
- Kaplan, S. and B. J. Garrick (1981). "On the Quantitative Definition of Risk". **Risk Analysis** 1(1), 11-27.
- Lees, F.P. (1985). **Loss Prevention in the Process Industries**, 2 volumes. Butterworths, London and Boston (ISBN 0-0408-10604-2).
- Marshall, V.C. (1987). **Major Chemical Hazard**. Halsted Press, Division of John Wiley & Sons, Inc. New York (ISBN 0-470-20813-9).
- NUREG (1985). **Probabilistic Safety Analysis Procedures Guide**, NUREG/CR-2815, Nuclear Regulatory Commission, Washington D.C August 1985 (available from NTIS).