

ACEPTABILIDAD DEL RIESGO: DEFINICIÓN Y TOMA DE DECISIONES MEDIANTE LÓGICA BORROSA

Mario Daniel de la Canal ¹, Lautaro Daniel Vela²

¹ Facultad de Ingeniería – UNCo – Neuquén dmdlcanal@yahoo.com.ar

² Facultad de Ingeniería – UNCo – Neuquén lautarovela99@gmail.com

RESUMEN

En el ámbito de la ingeniería, el análisis del riesgo (AR), describe la seguridad y buen funcionamiento de los productos, permitiendo simultáneamente la toma de decisiones para mantener el riesgo en valores aceptables. No todas las incertidumbres involucradas en el AR pueden ser tratadas de manera adecuada con la teoría de probabilidades. Lógicas multivalentes, tales como la borrosa LB, pueden representar y agregar a los algoritmos incertidumbres no aleatorias, llamadas epistémicas.

Utilizando LB es posible representar y operar con conceptos vagos o imprecisos, característicos del factor humano (FH) inmerso en un contexto social, económico, financiero, político, cultural, ...etc. Las modelizaciones que surgen de la aplicación de LB abordan con mayor amplitud la complejidad que maneja la ingeniería. Las gradualidades incorporadas al análisis mejoran la comprensión del riesgo y brindan eficacia al proceso de toma de decisiones.

En la actualidad el uso de inteligencia artificial con base en este tipo de lógicas alternativas permite tomar decisiones en situaciones de incertidumbre, combinando toda la información disponible y ajustando el modelo formal a la realidad. Finalmente el uso de LB en AR en ingeniería conduce a concepciones integrales y direcciona con eficacia el proceso de toma de decisiones.

Se propone un enfoque holístico utilizando LB en el AR centrado en una gestión dinámica y continua del FH, lo que conducirá a la aceptabilidad del riesgo. Este tratamiento alternativo, a los enfoques tradicionales, proporciona información valiosa para el proceso de toma de decisiones.

Palabras Claves: Riesgo; Aceptabilidad; Lógica Borrosa; Toma de decisiones

1. INTRODUCCIÓN

El concepto de riesgo es una consecuencia natural de las incertidumbres y hace referencia al futuro, a la ocurrencia incierta de eventos desfavorables y sus consecuencias.

El análisis de riesgo AR, involucra información objetiva de considerable rigurosidad y precisión junto al llamado factor humano, de calificación lingüística con alta subjetividad. La ingeniería es una actividad técnica, enmarcada en organizaciones muy dependientes del contexto cultural, sociopolítico y económico financiero. Las incertidumbres asociadas a cada una de las distintas variables que definen el buen funcionamiento de sus productos no son en su mayoría aleatorias.

Por otro lado, se concibe al riesgo como la resultante de la convolución de la probabilidad de falla frente a escenarios adversos y las consecuencias que provocarían estos. Es una operación matemática que transforma dos funciones: fallas y consecuencias, en una tercera función que en cierto sentido representa la magnitud en la que se superponen las fallas y una versión trasladada e invertida de las consecuencias. Si bien la Teoría de Probabilidades es una herramienta útil para cuantificar este algoritmo, los valores de estas funciones son muy difícil de estimar y agregar.

Los factores técnicos son analizados en la práctica tradicional a través de árboles de eventos o fallas utilizando planteos probabilísticos. Los factores no técnicos por sus inherentes características requieren herramientas alternativas, tales como las lógicas multivalentes. Las incertidumbres presentes en el AR, tienen distinta naturaleza: aleatoria o epistémica.

Si bien los procesos de automatización están entre nosotros y se avizora su avance en el mundo de la ingeniería, es importante tener presente que es inevitable la presencia activa del factor humano, ya sea controlando, colaborando, accionando,....etc.

El AR es un proceso que puede conectarse con la toma de decisiones, permitiendo establecer planes de trabajo y/o actividades para mantener o mejorar los valores obtenidos, según sea el caso. Se mide con la intención de cuantificar o calificar el valor de una variable, pero también se busca información para saber dónde, cómo y con qué frecuencia accionar.

En este trabajo se toma como premisa de partida la complejidad de la problemática del AR, donde intervienen variedad en cantidad y calidad de información. Se presenta una definición operacional de la aceptabilidad del riesgo mediante un algoritmo borroso, cuyo resultado se conecta al proceso de toma de decisiones, buscando mantener el nivel de riesgo en valores predeterminados, calificados como aceptables.

2. SEGURIDAD → RIESGO

En el ámbito de la ingeniería, la seguridad es de vital importancia, y el AR fundamenta esta calificación. El riesgo se convierte en el antagonista de la seguridad, y su adecuada evaluación

es esencial para prevenir accidentes y asegurar la protección de las personas y los activos involucrados. La ingeniería, no solo aborda aspectos físicos del producto final, conjuntamente organiza y controla el factor humano, en el que está inmersa la construcción, mantenimiento y funcionamiento de sus productos [1].

Las incertidumbres son inherentes a cualquier proyecto y pueden surgir de diversos factores, como la falta de datos precisos, la variabilidad en los procesos o la imprevisibilidad de los eventos externos. Estas incertidumbres afectan tanto la probabilidad de ocurrencia de eventos no deseados como las consecuencias asociadas a los mismos. En este contexto, para garantizar la seguridad surge la necesidad de incorporar en los algoritmos todas las incertidumbres utilizando herramientas formales adecuadas, Figura 1.

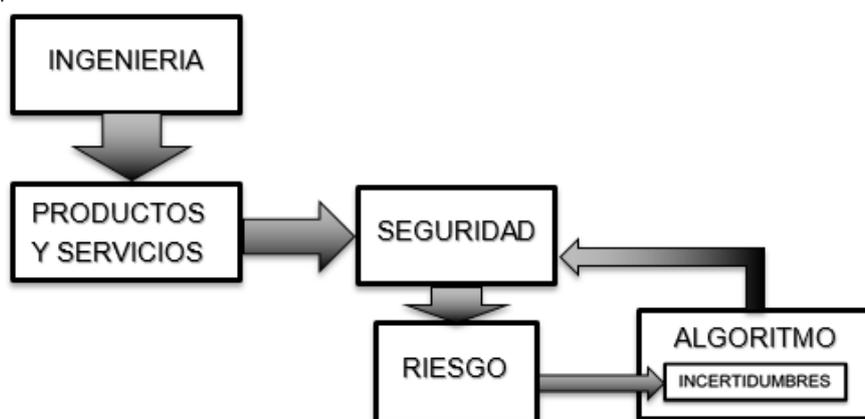


Figura 1: Seguridad y Riesgo en Ingeniería: Incertidumbres

3. RIESGO → INCERTIDUMBRES

3.1 tipos de incertidumbres

El riesgo está directamente vinculado a las incertidumbres, en ingeniería se clasifican en dos categorías básicas: aleatorias y epistémicas.

Las aleatorias, se refieren a las fluctuaciones impredecibles y naturales de los eventos. Si bien no hay certeza absoluta de los valores específicos de un evento aleatorio, con datos estadísticos se puede representar su probabilidad de ocurrencia.

Las incertidumbres epistémicas se refieren a la falta de conocimiento o información incompleta que afecta nuestra comprensión y capacidad para predecir eventos o fenómenos. Esta incertidumbre no es de naturaleza aleatoria, está asociada al grado de intensidad con el cual el evento se materializará. En otras palabras, existe una combinación de aleatoriedad y ambigüedad en la ocurrencia futura de un evento. La incertidumbre del modelo es epistémica,

estas concepciones pueden aproximarse en gran medida a la realidad pero nunca pueden capturar toda su complejidad. La representación de este tipo de incertidumbres mediante la teoría de probabilidades resulta forzado y no se ajusta a la realidad, aquí es necesario recurrir a planteos alternativos, lógicas más blandas que permitan no solo representar estas incertidumbres sino que agregarlas a los algoritmos de cálculo junto a las aleatorias.

3.2 Incertidumbres en la definición de la aceptabilidad del riesgo

En el proceso de definición y evaluación de la aceptabilidad del riesgo, se pueden reconocer tres niveles de incertidumbres, Figura 2:

- I. **Definición de la aceptabilidad**: se expresa mediante el lenguaje coloquial, lo que se entiende por aceptación del riesgo: que variables y/o parámetros intervienen en esta aceptación y como interaccionan entre sí. Se pone en evidencia la lógica que los explica y vincula. Se busca una definición operacional de la característica. En este caso se eligieron un grupo de índices que participan de un algoritmo borroso. La elección de estos índices, depende del producto o servicio y del contexto en estudio. Aquí aparece el primer nivel de incertidumbre: elegir un modelo matemático que represente y se ajuste a la definición de un aspecto de una realidad.
- II. **Evaluación de la aceptabilidad**: selección de una estructura jerárquica que describa (explique) cada uno de los índices elegidos para definir a la aceptabilidad. Se evalúan las estructuras jerárquicas utilizando evidencias disponibles o de fácil determinación. En esta etapa, el poder de expresión gana a la precisión de la información. Toda información disponible puede y debe ser incorporada racionalmente en este proceso. En esta etapa coexisten incertidumbres aleatorias y epistémicas. La lógica borrosa permite mezclar estos dos tipos de valores. En este nivel las incertidumbres son propias del valor de cada variable.
- III. **Conexión del valor de la aceptabilidad con la toma de decisiones**: una vez determinado el valor de la aceptabilidad comienza un proceso de acciones que buscan mejorar aspectos mensurados del proceso. Es una etapa tendiente a calibrar, ajustar, acomodar parámetros para evaluar la capacidad de reacción del algoritmo elegido en la medición de la aceptabilidad. Esta incertidumbre hace referencia al grado de representación del algoritmo diseñado a la realidad en estudio: llamada incertidumbre del modelo.

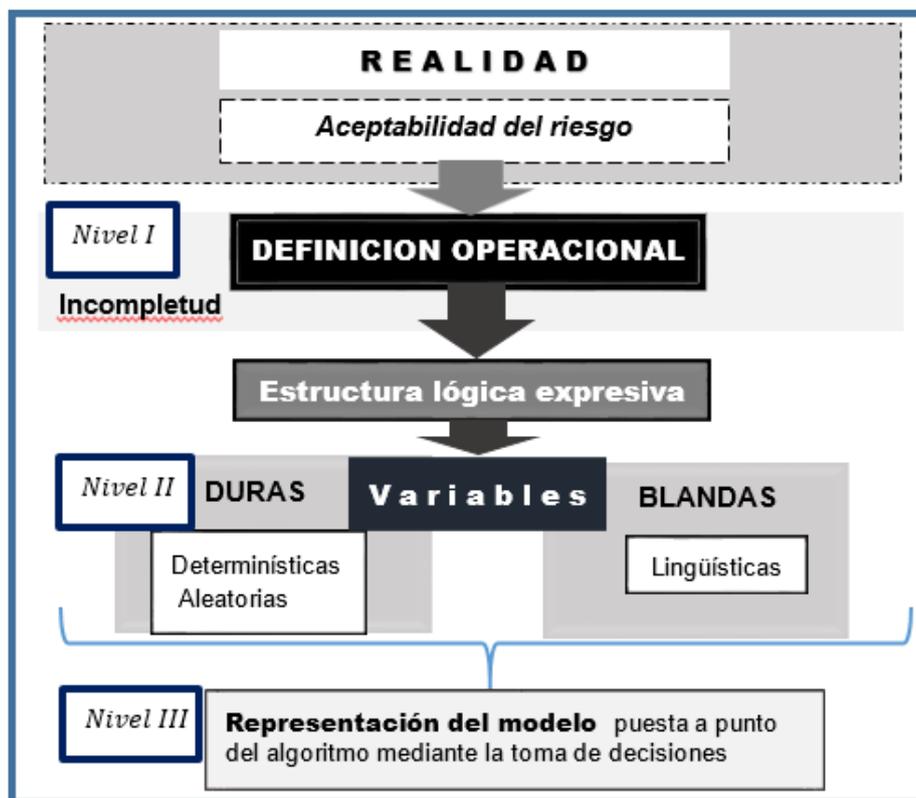


Figura 2: Niveles de Incertidumbres

4. EVALUACION DEL RIESGO → ACEPTABILIDAD

En la evaluación del riesgo, se descarta el valor nulo, luego hay que minimizarlo mediante un enfoque equilibrado considerando beneficios y consecuencias adversas, definiendo así un rango "aceptable" del mismo.

En la ingeniería tradicional, se aborda el concepto de aceptabilidad del riesgo desde una perspectiva de balance económico. Esto implica determinar si los costos de implementar medidas de mitigación superan los beneficios esperados, o si los costos de posibles daños y pérdidas superan los beneficios económicos. Sin embargo, la aceptabilidad del riesgo no se basa únicamente en consideraciones técnicas y científicas, sino que también se ve influenciada por factores sociales, culturales y económicos.

Otro aspecto a considerar es la percepción del riesgo, que puede variar significativamente entre diferentes culturas y sociedades. Los valores, creencias y experiencias individuales y colectivas desempeñan un papel crucial en la evaluación y tolerancia del riesgo. Por ejemplo, una sociedad que valora la preservación del medio ambiente puede establecer criterios más

estrictos para la aceptabilidad del riesgo ambiental, mientras que una sociedad más enfocada en el desarrollo económico podría tener una mayor tolerancia al riesgo en determinadas áreas.

Es importante destacar que la aceptabilidad del riesgo no es un concepto estático, evoluciona en el tiempo a medida que la sociedad cambia, se adquiere nueva información científica y se desarrollan nuevas tecnologías. Los avances en la comprensión de los riesgos y en la capacidad de gestionarlos también pueden influir en los criterios de aceptabilidad del riesgo.

Esto desemboca en la necesidad de definir de manera cuantitativa la aceptabilidad del riesgo. En esta evaluación participan expertos y las partes interesadas.

4.1 Modelos de aceptabilidad

Dependiendo del ámbito, existen distintos modelos para evaluar y definir la aceptabilidad del riesgo. Dos de estos modelos ampliamente reconocidos y utilizados son el modelo de Tolerancia al Riesgo ToR, [2] y el modelo del Semáforo. Estos modelos son utilizados por distintos organismos [3] y se pudo observar uno de ellos durante la reciente emergencia sanitaria, covid-19:

Ambos modelos establecen criterios y proporcionan herramientas para determinar si el nivel de riesgo en una situación específica es considerado aceptable o no. Sin embargo, estos modelos reconocen que la evaluación de riesgos no es un proceso binario. Más bien, permiten evaluar y comunicar la posición relativa del riesgo dentro de un rango de tolerancia, presentando la información de manera accesible, de modo que los usuarios puedan comprender rápidamente el nivel de riesgo para luego tomar medidas de mitigación y gestión según corresponda, Figura 3.

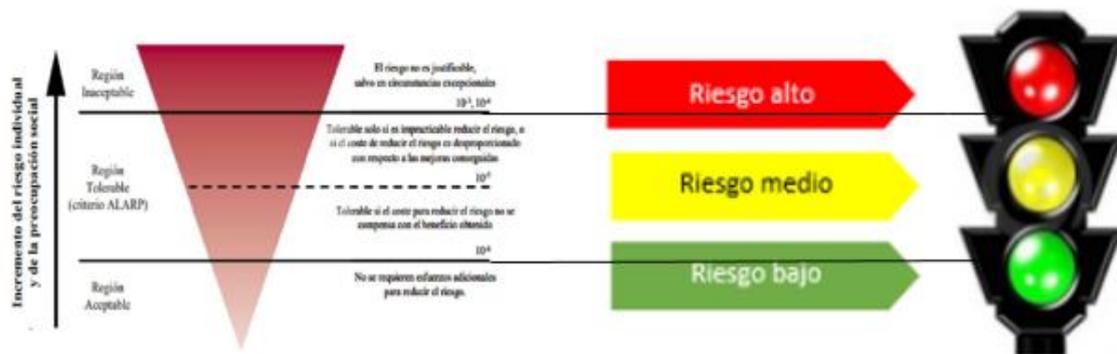


Figura 3: Modelos de Evaluación de Riesgo: Tolerancia al Riesgo (ToR) y Semáforo

La zona intermedia en estos modelos representa la tolerancia al riesgo, situación esta que las sociedades están dispuestas a transitar, a fin de asegurar beneficios, confiando en que:

- la naturaleza y el nivel del riesgo se evalúen convenientemente y los resultados se utilicen para dictar medidas de control;
- los riesgos residuales no sean excesivamente altos y se mantengan tan bajos como sea razonablemente posible
- los riesgos se revisen periódicamente para garantizar que siguen cumpliendo los criterios.

5. ACEPTABILIDAD → Variable Lingüística de Valor Borroso

El concepto de aceptabilidad del riesgo no se ajusta a una definición precisa y nítida, presenta una zona intermedia de tolerancia que separa lo que se considera aceptable (A) de su complemento, lo inaceptable (\bar{A}). Esta franja intermedia se define como lo tolerable y representa un rango donde coexisten en diferentes grados la propiedad y su complemento, Figura 4.

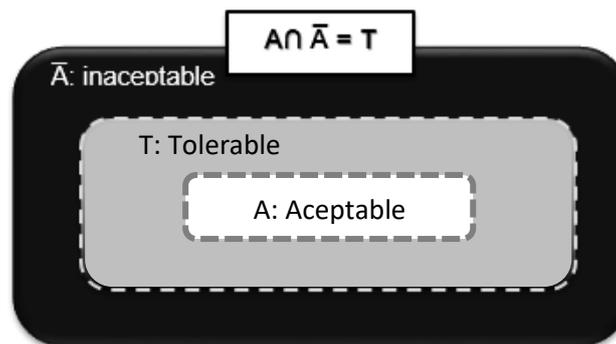


Figura 4: Aceptabilidad (A) – Tolerancia (T) - Inaceptabilidad (\bar{A})

A diferencia de la lógica clásica, donde el principio del tercero excluido es aplicable, en el contexto de la aceptabilidad del riesgo, no se puede establecer una frontera claramente definida, existe un cambio gradual que depende de una variedad de factores que deben ser evaluados y controlados de manera adecuada.

Todo esto nos lleva a concluir que la aceptabilidad del riesgo es una variable lingüística de valor borroso, donde lo aceptable, lo tolerable y lo inaceptable representan diferentes grados. Tolerar un riesgo implica mantenerlo bajo revisión y reducirlo hasta su aceptabilidad, es decir estar preparados para asumir y gestionar el riesgo como tal, a través de la voluntad, el control, los beneficios, la revisión y su reducción, Figura 5.

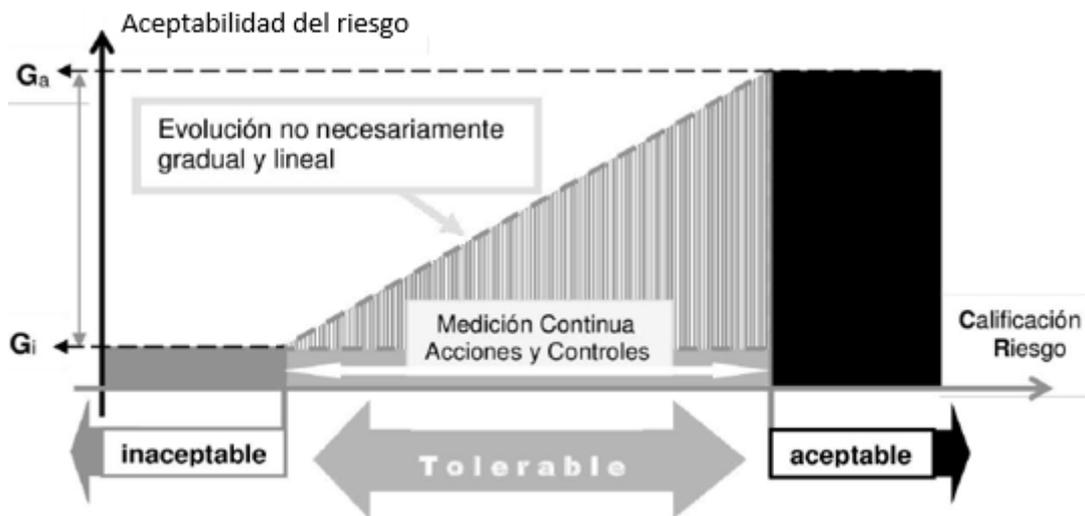


Figura 5: Aceptabilidad del Riesgo: Aceptable, Inaceptable y Tolerable

Como herramienta formal para representar la aceptabilidad del riesgo, se pueden definir indicadores que, basados en evidencias objetivas, guíen la selección del plan de acciones adecuado. Mediante un proceso dinámico de evaluación y mejora, es posible transformar la tolerancia en aceptabilidad, avanzando hacia una gestión más efectiva del riesgo.

6. DEFINICION DE LA ACEPTABILIDAD DEL RIESGO

6.1 Propuesta desde la perspectiva de la Lógica Borrosa

Teniendo en cuenta lo descrito en los anteriores párrafos, se propone una metodología para el análisis y evaluación del riesgo, la cual también permite definir su aceptabilidad. La metodología utilizada, se basa en dos principios:

- I. Se utiliza una visión integral del riesgo, teniendo en cuenta no solo los aspectos probabilísticos de costos y beneficios, sino también el contexto social, cultural, económico y financiero. Esto implica trabajar con incertidumbres tanto aleatorias como epistémicas, considerando la complejidad y diversidad de factores que intervienen en esta problemática.
- II. Se reconoce la existencia de un estadio intermedio entre la aceptabilidad y la inaceptabilidad, conocido como tolerancia. La problemática en análisis es multivalente, fundamentando esto la utilización de la lógica borrosa. La variable aceptabilidad es lingüística y de valor borroso.

6.2 Mecanismo de trabajo:

Se define la aceptabilidad mediante un algoritmo borroso, el cual no solo permite evaluar, sino que también sirve de guía para controlar las acciones y los estados.

Síntesis de los pasos para la definición de la aceptabilidad del riesgo:

1. Definición conceptual del Riesgo Aceptable: Se establece la comprensión y los criterios para determinar qué se considera un riesgo aceptable en el contexto específico. Esto se lleva a cabo mediante la definición de índices que abordan aspectos directamente vinculados o sensibles a la aceptación del riesgo.
2. Análisis de las variables que definen los índices y el algoritmo de cálculo a utilizar: Se examinan las variables relevantes que afectan el riesgo y se determina cómo se incorporarán en el cálculo.
3. Diseño y desarrollo del árbol jerárquico que permitirá definir los índices: Se crea una estructura jerárquica que desglosa las diferentes dimensiones del riesgo y establece relaciones entre ellas.
4. Cuantificación de los índices utilizando operaciones básicas de la aritmética borrosa.
5. Filtrado de los índices para calcular el grado de aceptabilidad
6. Conexión del grado de aceptabilidad con un plan de acción: Se establece una relación entre el grado de aceptabilidad y un plan de acción, que implica analizar las variables y sus valores para tomar decisiones y medidas adecuadas en relación al riesgo identificado.

A modo de ejemplo, se podría definir la aceptabilidad del riesgo utilizando tres variables básicas:

- Información Técnica disponible: IT
- Mecanismos de Comunicación: MC
- Sistemas de Control: SC

El detalle de esta metodología sigue los pasos y algoritmos presentados en [4-6] y utiliza operaciones básicas de la aritmética borrosa [7]. Son las partes involucradas, las que determinarán el contenido expresivo y la cantidad de índices a utilizar. El control de la subjetividad se realiza mediante operaciones de filtrado. Los filtros borrosos a utilizar surgen de acuerdos y consensos para calificar la información disponible. Todas estas operaciones permiten que los valores pueden variar en el tiempo ajustándose a la realidad en estudio.

El proceso de medición se repite con frecuencias que dependen de la problemática y van desde una rutina tradicional a cambios e incorporaciones en el algoritmo para su calibración.

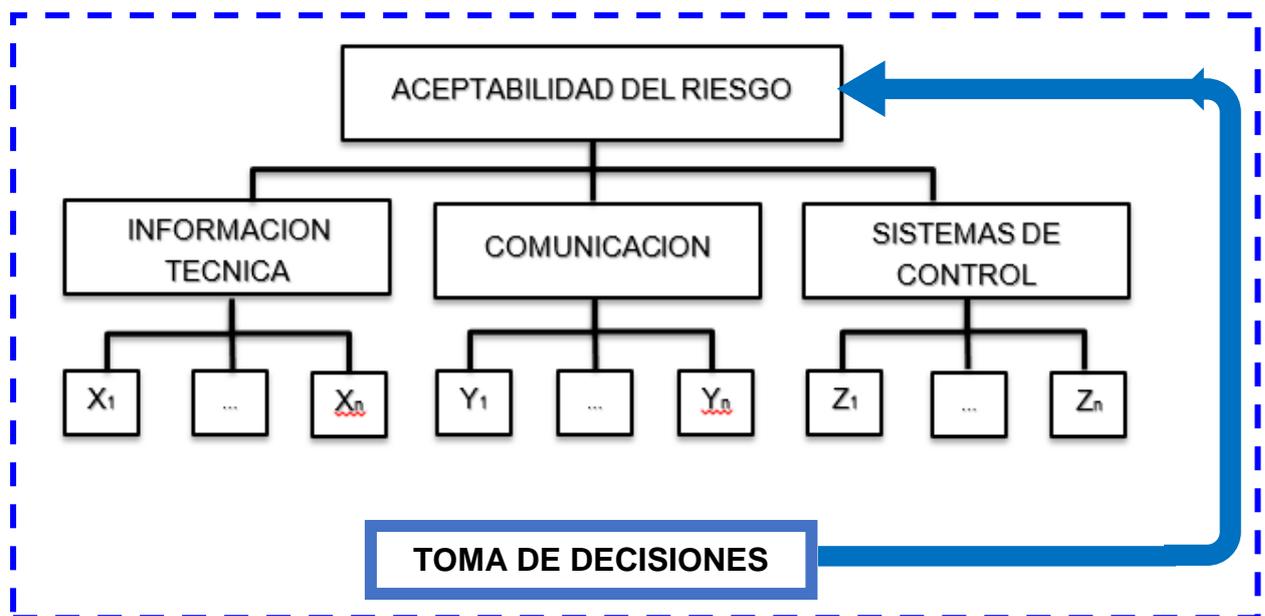


Figura 5: Aceptabilidad del Riesgo: definición dinámica e interactiva.

La metodología presentada pone en evidencia, muestra la lógica y los parámetros elegidos para la definición de la **ACR**. Además, no solo define la aceptabilidad, sino que también muestra como modificarla ya que está conectada a un proceso de toma de decisiones y también es una herramienta para guiar el debate de representantes y expertos involucrados en la definición. Se pueden agregar o quitar índices, se pueden modificar también las estructuras que definen el valor de los índices y también se pueden mejorar las metodologías de recolección de evidencias para valorar estos índices.

7. APORTES DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Uno de los beneficios clave de la inteligencia artificial (i.a.) es su capacidad para procesar grandes cantidades de datos de manera rápida y automatizada. En el contexto planteado en este trabajo, ajustar el modelo a la realidad implicaría incluir más variables, desglosar en mayor cantidad el árbol jerárquico y por consiguiente una mayor cantidad de información disponible para evaluar. El aprendizaje automático de las i.a. para analizar una amplia variedad de fuentes de datos, incluidos informes técnicos, estudios de casos, datos históricos, información meteorológica, entre otros, sumado a la capacidad de monitorear continuamente datos en tiempo real, como sensores y dispositivos conectados, podría permitir un análisis más preciso y exhaustivo del algoritmo presentado [8].

Otra cualidad de las i.a. es que mediante el uso de modelos y algoritmos de aprendizaje automático, es posible realizar simulaciones avanzadas que permitan evaluar el impacto de diferentes variables y tomar decisiones informadas [9]. Por ejemplo, se pueden simular condiciones climáticas extremas, fallos en sistemas o posibles escenarios de accidentes para evaluar cómo afectarían a la seguridad y la aceptabilidad del riesgo. Esto puede ayudar a identificar medidas de mitigación efectivas y optimizar los recursos disponibles.

Es importante destacar que si bien la inteligencia artificial puede facilitar y agilizar el proceso de evaluación y simulación de riesgos, no reemplaza el papel del analista de riesgo. La experiencia y el conocimiento humano siguen siendo fundamentales para interpretar los resultados, tomar decisiones estratégicas y garantizar que se consideren todos los aspectos relevantes. La inteligencia artificial se presenta como una herramienta complementaria que amplía las capacidades del analista, permitiéndole tener una visión más completa, dinámica y detallada de los riesgos y su aceptabilidad.

8. CONCLUSIONES

El AR es una herramienta de amplia utilización en la ingeniería. Los planteos tradicionales tienen bases probabilísticas o semi-probabilísticas. Sin embargo no todas las incertidumbres de los eventos que se analizan son aleatorias, las variables referidas al factor humano son epistémicas. También en muchas situaciones no existe suficiente y adecuada información estadística para representar las variables aleatorias. En la práctica el AR es una combinación de rigor científico y juicio subjetivo, un enfoque formal y consistente para evaluar probabilidades de un evento no deseado y sus consecuencias.

Las lógicas multivalentes, tal es caso de la lógica borrosa, tienen mayor poder expresivo y permiten agregar (mezclar) variables aleatorias, determinísticas y borrosas. El contexto socio cultural en el que están sumidos los productos o procesos de la ingeniería influyen significativamente en la percepción del riesgo y condicionan su aceptabilidad. Una definición completa e integral de la aceptabilidad tiene que ser interdisciplinar e incorporar toda la información disponible incluyendo sus incertidumbres asociadas. Herramientas formales blandas pueden representar y operar con este tipo de valores previo a la toma de decisiones.

La aceptabilidad de un riesgo no se define en la mayoría de las situaciones como un concepto nítido, se reconoce la existencia de una frontera intermedia llamada tolerancia. Es en esta zona donde la ingeniería puede trabajar para acercarse a la aceptabilidad. En este trabajo presentamos a la aceptabilidad del riesgo como una variable lingüística de valor borroso.

A modo de ejemplo, se proponen tres índices para describir la aceptabilidad del riesgo. Se presentan pasos generales para controlar sus valores representativos utilizando aritmética

borrosa en un esquema jerárquico. El resultado es un mapa que permite intervenir en las diferentes partes, si es necesario, para mejorar cuestiones organizativas o individuales.

9. REFERENCIAS

- [1] Douglas Mary, "La aceptabilidad del riesgo según las ciencias sociales", Paidós Studio, Barcelona, 1996.
- [2] HSE, ALARP. <http://www.hse.gov.uk/risk/theory/alarp.htm>, 2013.
- [3] Bulletin 130, Risk Assessment in Dam Safety Management, - ICOLD, 2005.
- [4] de la Canal, Ferraris, Labriola y Bertani, "Bajo del Gualicho, Argentina: Evaluación de la Aceptabilidad del Proyecto". 1er Congreso Latinoamericano de Ingeniería. Entre Ríos, Argentina, septiembre, 2017.
- [5] de la Canal, Ferraris, "Evaluación y control del factor Humano en Sistemas Tecnológicos Frente a escenarios de Riesgo". SIGEF 2005, Argentina, 2006.
- [6] Ferraris, de la Canal, "Risk Analysis in Engineering Facilities – A Holistic Approach", 1st International Symposium on Uncertainty Quantification and Stochastic Modelling, Brazil, 2012
- [7] Ross, T., Fuzzy logic with engineering applications. (2da. Ed.). New Jersey: John Wiley & Sons Ltd, 2004.
- [8] Afzal, F. & Yunfei, S., "A review of AI-based risk assessment methods for complexity-risk interdependencies." Journal of Construction Management and Economics, School of Management and Economics, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, China, 2019.
- [9] Schwarz, J., Sandoval-Wong, J.A., & Sánchez, P.M., "Implementation of AI in risk management for construction projects." Construction Management Journal, Universität der Bundeswehr München, Germany and California Department of Transportation, San Diego, USA, 2019.