



**UNIVERSIDAD
DE GRANADA**

Programa de Doctorado en Tecnologías
de la Información y la Comunicación



Tesis Doctoral

Modelo de toma de decisiones lingüística a
gran escala aplicado en la valoración de
eventos de divulgación de ciencia
ciudadana

Jeronimo Duran Curiel

DIRECTORES
Francisco Herrera Triguero
Rosana Montes Soldado

TESIS DOCTORAL



UNIVERSIDAD
DE GRANADA

Programa de Doctorado en Tecnologías de la Información y la
Comunicación

Modelo de toma de decisiones lingüística a gran escala aplicado en la valoración de eventos de divulgación de ciencia ciudadana

Large-scale linguistic decision-making model applied to the evaluation of citizen science
divulcation events

Directores:

Dr. Francisco Herrera Triguero

Dra. Rosana Montes soldado

Autor:

Jeronimo Durán Curiel

20 de abril de 2024

Editor: Universidad de Granada. Tesis Doctorales
Autor: Jerónimo Duran Curiel
ISBN: 978-84-1195-441-9
URI: <https://hdl.handle.net/10481/94973>

AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de esta tesis ha sido un trabajo muy arduo en donde no solo yo he sido el único involucrado. No puedo decir que tuve muchas personas tras de mí, si no a un lado, hombro ha hombro con quienes rectificaba el camino en esos momentos sinuosos. Es difícil el expresar palabras de agradecimiento, ya que en ocasiones el texto queda corto comparado con el sentimiento que emana desde mi interior, pero al no expresarlas, no les estaría dando el valor que se merecen. Quisiera comenzar con el Doctor Paco y la Doctora Rosana, a quienes les agradezco que hayan aceptado el acompañarme durante el transcurso de esta investigación, al Doctor Antonio con su invaluable aportación. Nunca imaginé el trabajar con maravillosas personas, que sin sus contribuciones y apoyo no se hubiera logrado este trabajo. Les agradezco mucho el esfuerzo, tiempo y dedicación que me ofrecieron durante todo este tiempo. Para mí es un honor mencionar al Mtro. Gerardo, que junto con la Mtra. María Elena, han sido una pieza fundamental en mi formación académica, y por brindarme su apoyo, consejos y aliento durante este y otros procesos de formación profesional y personal. Para mí, el estar acompañado por personas maravillosas es invaluable, por ello debo mencionar a Noe, Karla, Jeovani con quienes inicié este programa de doctorado y con los cuales tuvimos un aprendizaje colaborativo en muchos aspectos; Luis Ángel, Servando y Andrea, gracias a sus aportaciones que le dieron sentido a algunas cosas dentro de este trabajo; A mi madre Piedad, mis hermanos Oved y Gerardo, mi tía Francis, por ese soporte que me brindaron en tiempos de incertidumbre. También debo mencionar a todas aquellas personas que de una u otra forma aportaron su granito de arena en este proceso. Quiero agradecer a Sergio, Cristina, Ricardo, Miguel, Carlos y Vero, Karo, Ramon, todos mis amigos y amigas de CUNorte en especial a los que integran CTA, a mis amigos de la Vocacional que de varias formas estuvieron ahí presentes. Para finalizar quisiera agradecer a todos aquellos compañeros investigadores de DaSCI con quienes compartí muchas experiencias y aprendizajes durante mi estancia en España.

A todos ustedes, gracias de corazón.

Índice general

1	Introducción	1
1.1	Contexto	1
1.2	Justificación	2
1.3	Objetivos Generales y Específicos	4
1.4	Estructura de la memoria	5
2	Preliminares	7
2.1	Componentes de la Ciencia Ciudadana	8
2.1.1	Definición de Ciencia Ciudadana	8
2.1.2	Participantes en Ciencia Ciudadana y sus principales roles	9
2.2	Modelo para desarrollar un proyecto de Ciencia Ciudadana	10
2.2.1	Tipos de proyectos en CC y sus fases	12
2.3	Proyectos de ley para Ciencia Ciudadana	14
2.3.1	Libro Verde	15
2.3.2	Libro Blanco	16
2.4	Proyectos de investigación científica y su evaluación	17
2.4.1	Métodos de evaluación de proyectos de investigación	18
2.4.2	Horizonte 2020 y su proceso de evaluación	21
2.5	Evaluación en Proyectos de Ciencia Ciudadana	24
2.5.1	Tipos de evaluaciones	25
2.5.2	Dimensiones y Criterios de evaluación	26
2.5.3	Herramientas de evaluación de proyectos	28
2.6	Evaluación de eventos de difusión	29
2.6.1	Evaluación de conferencias con enfoque no académico	30
2.6.2	Actividades de Divulgación en Ciencia Ciudadana	31
2.6.3	Evaluación de actividades de Divulgación en Ciencia Ciudadana	33
2.7	Herramientas tecnológicas aplicadas en conferencias	35
2.8	Conclusiones	37
3	Análisis de la Literatura en el uso de la Toma de Decisiones	39

3.1	El paradigma de la toma de decisión	40
3.1.1	Toma de decisiones a gran escala	42
3.2	Modelos computacionales lingüísticos	45
3.2.1	El concepto de variable lingüística	45
3.2.2	Modelo lingüístico computacional 2-Tuplas	46
	Comparación de información 2-tuplas	47
3.2.3	Operadores de agregación	48
3.3	Multigranularidad lingüística	49
3.4	Modelos lingüísticos con incertidumbre	52
3.4.1	Modelo de representación de hesitantes lingüísticos	52
3.4.2	Operadores de agregación para entornos <i>Hesitant</i>	54
3.4.3	Valor del intervalo de la variable lingüística 2-tuplas	55
3.5	Modelo MULTIMOORA en la Toma de Decisiones	56
3.5.1	Método MOORA	56
3.5.2	Método MULTIMOORA	58
	Ratio system	59
	Reference Point Approach	60
	Full Multiplicative Form	60
3.6	MULTIMOORA aplicado a entornos de incertidumbre	60
3.6.1	Método Interval 2-tuple linguistic MULTIMOORA	61
	The Ratio system	63
	The reference point approach	63
	The full multiplicative form	63
3.6.2	Métodos para generar el ranking de opciones	64
	Theory of Dominance	64
	Rank Position Method	65
	Improved Borda Rule	65
3.7	Conclusiones	65
4	Un modelo para Toma de Decisiones Ciudadana en eventos de divulgación	67
4.1	Modelo CCDM	68
4.1.1	Descripción del problema	68
4.2	Recolección de datos	71
4.2.1	Descripción y uso de los niveles de importancia	73
4.2.2	Descripción y uso del sentimiento en las opiniones	77
4.2.3	Descripción y uso de hesitants linguisticos	79
4.3	Generación de ranking con MULTIMOORA CCDM	81
4.3.1	Índice $p = 1$: Ratio System (RS)	81
4.3.2	Índice $p = 2$: Reference Point Approach (RPA)	82

4.3.3	Índice $p = 3$: Full Multiplicative Form (FMF)	82
4.3.4	Índice de ordenamiento $p = 4$: Improved Borda Rule (IMB)	83
4.4	Agregación colectiva y cálculo de valoraciones lingüísticas	84
4.4.1	Cálculo de los valoraciones por dimensiones	87
4.4.2	Cálculo de las valoraciones por alternativas	87
4.4.3	Ranking de alternativas	88
4.4.4	Combinación de escenarios optimistas y pesimistas	88
4.5	Conclusiones	90
5	Caso de uso: DaSCI en la noche europea de los investigadores 2023	91
5.1	Descripción del caso de uso	91
5.1.1	Definición de criterios de evaluación	92
5.1.2	Definición del evento y sus actividades	94
5.2	Ranking y opinión colectiva del evento	97
5.3	Conclusiones	102
6	DIME+, un software para la Toma de decisiones ciudadana en grupo	103
6.1	Modelado de DIME+	103
6.2	Tecnologías y metodologías empleadas	106
6.3	Interfaz web de DIME+	108
6.4	Interfaz de la app DIME+	114
6.5	Distribución	117
6.5.1	Repositorio	118
6.5.2	Presencia en tiendas virtuales de aplicaciones	121
6.6	Conclusiones	123
7	Conclusiones y trabajos futuros	125
7.1	Conclusiones	125
7.2	Trabajos futuros	127
A	Anexos	129
A.1	Ciencia Ciudadana	129
A.2	Evaluación	146
A.3	Software	156
	Bibliografía	160

Índice de figuras

1.1	Elementos principales que componen la tesis doctoral.	3
2.1	Modelo para desarrollar un proyecto de CC.	13
2.2	Dimensiones la comprensión pública de la ciencia	13
2.3	Métodos de evaluación de proyectos I+D	19
2.4	Temáticas del programa Horizonte 2020	21
2.5	Niveles de impacto de las Ferias de la Ciencia	33
2.6	Evaluación de las ferias por enfoque Cualitativo y Cuantitativo	34
3.1	Proceso base para la resolución de problemas de Toma de Decisión	40
3.2	Solución de problemas lingüísticos	42
3.3	Clasificación de DM	44
3.4	Esquema de un entorno dinámico	44
3.5	Representación gráfica de la variable lingüística cantidad.	45
3.6	Modelo lingüístico de representación 2-tuplas	46
3.7	Esquema jerárquica de los valores lingüísticos. Fuente: [54]	50
3.8	Transición entre niveles dentro de las jerarquías lingüísticas	52
3.9	Proceso del modelo MULTIMOORA para evaluar alternativas	58
4.1	Esquema general del modelo CCDM.	69
4.2	Componentes de la opinión de los expertos ciudadanos.	72
4.3	Pesos obtenidos a partir del nivel de importancia	74
4.4	Procesamiento del sentimiento en las valoraciones	78
5.1	Clasificación de los eventos y actividades	93
6.1	Arquitectura de la herramienta DIME+	106
6.2	Diseño de interfaz de usuario en el sitio dimemas-ugr.es	108
6.3	Vista de las páginas inicio, evento y actividad de DIME+	109
6.4	Distribución de menús y contenido en el sitio dimemas-ugr.es	110
6.5	Diseño de interfaz de usuario en aplicaciones móviles	110

6.6	Presentación de los pasos a seguir para generar un informe	111
6.7	Proceso de petición del informe de CCDM	113
6.8	Interfaz de usuario de la APP DIME+	115
6.9	Código QR generado por el servidor para evaluar la actividad	115
6.10	Secuencia del proceso de evaluación en aplicaciones móviles	116
6.11	Página de principal de DIME+ en GitHub	119
6.12	Carpeta con prototipos de la codificación del modelo	119
6.13	Página que contiene el código Python que ejecuta el modelo	120
6.14	Página que contiene los elementos del caso de estudio	120
6.15	Página que contiene los elementos del caso de estudio	121
6.16	Vista de DIME+ en Google Store	121
6.17	Vista de DIME+ en Apple Store	122
6.18	Vista de enlaces a las tiendas desde la web DIME+	122
A.1	Diagrama ER DIME+	159

Índice de tablas

2.1	Dimensiones y criterios en la evaluación de proyectos de CC	27
2.2	Aplicaciones y servicios web aplicado a conferencias	35
4.1	Grado de importancia de cuatro criterio evaluados por cuatro ciudadanos	75
4.2	Asignación de peso subjetivo	76
4.3	Asignación de sentimiento a cada criterio evaluado	79
5.1	Clasificación de eventos de divulgación y sus dimensiones evaluables	93
5.2	Clasificación de las Dimensiones y sus criterios	94
5.3	Opiniones de los ciudadanos sobre la escala seleccionada.	98
5.4	Valoraciones expresadas en la notación interna de DIME+.	99
5.5	Evaluaciones convertidas al dominio unificado en S^{13}	99
5.6	Ponderaciones de criterios y su categorización binaria.	100
5.7	Datos lingüísticos tras la etapa de agregación	100
5.8	Valores colectivos normalizados	100
5.9	Índice, clasificación de posiciones y valoración lingüística	101
5.10	clasificación final y combinación de escenarios optimistas y pesimistas	101
5.11	Comparativa evaluación lingüística y ranking de las alternativas	101
A.1	Descripción de los científicos en CC	129
A.2	Términos de los Ciudadanos en CC	131
A.3	Representantes en CC	134
A.4	Actores de la sociedad en CC	135
A.5	Actores desde la ciencia en CC	137
A.6	Actores Ciencia-Política-Sociedad, redes y organizaciones en CC	138
A.7	Clasificación de proyectos en CC	139
A.8	Estrategia general de evaluación	143
A.9	Preguntas guía para los criterios de evaluación en en CC	146
A.10	Características de herramientas de evaluación	150
A.11	Cuestionarios prediseñados de evaluación	152
A.12	Requerimientos Funcionales y No Funcionales de DIME+	156

RESUMEN

Durante mucho tiempo las investigaciones científicas estaban albergadas tras los muros de instituciones educativas y privadas, donde los científicos trabajaban para crear conocimiento. Escritos y notas con descripciones detalladas de descubrimientos científicos eran solo accesibles para personas pertenecientes al ámbito la academia. En la actualidad se esta dando un nuevo paradigma, donde los proyectos de investigación y la información generada por estos se está volviendo de fácil acceso para quien desee consultarla. Junto ha este movimiento de acceso libre, se esta creando conciencia entre las personas ajenas al ámbito científico, los ciudadanos. La Ciencia Ciudadana es una nueva forma de hacer ciencia, donde los ciudadanos participan de forma activa con sus propios recursos materiales e intelectuales.

Dado que la Ciencia Ciudadana esta hecha por y para los ciudadanos, debe tener mecanismos de medición para conocer el impacto en la comunidad. Uno de los aspectos que se pueden medir es el grado de satisfacción que tienen los ciudadanos sobre los proyectos de Ciencia Ciudadana. El acercamiento de los ciudadanos con los proyectos de investigación se da con eventos y actividades de difusión como La Noche Europea de los Investigadores, lugar en el que se exponen proyectos y sus resultados o propuestas nuevas donde se invita a los asistentes a participar.

La medición de la satisfacción se puede lograr con modelos de toma de decisiones, con los cuales se puede obtener un valor que represente la percepción colectiva. Estos modelos son mas eficientes en su implementación cuando procesan valoraciones emitidas en lenguaje natural y con incertidumbre, ya que de forma innata los seres humanos expresan sus pensamientos de ese modo.

Esta tesis tiene como hipótesis que se puede obtener información útil a partir de valoraciones expresadas en lenguaje natural, incertidumbre y sentimiento. Esta información puede ser utilizada en un modelo de evaluación que pueda ser aplicado en proyectos de investigación, enfocados principalmente en los de ciencia ciudadana, durante su difusión o en cualquier otro proceso.

El objetivo principal de este trabajo es diseñar un modelo de evaluación robusto que pueda ser una valiosa herramienta de apoyo para los directores de proyectos de Ciencia Ciudadana. Como objetivos secundarios se tiene la recolección de opiniones que incorpore elementos como un nivel de importancia y el sentimiento que acompaña esa valoración, junto con un grado de incertidumbre; Generar una base de datos de valoraciones lingüísticas de libre acceso, para que los ciudadanos puedan consultarla y utilizarlas en sus propias propuestas; Poner a la disposición de los ciudadanos investigadores una herramienta tecnológica que implementa el modelo y que sea utilizado para recolectar la percepción colectiva en la difusión de sus proyectos.

El propósito de esta tesis es recopilar valoraciones dadas por los ciudadanos y extraer la información descrita antes, con el fin de que al aplicar la propuesta en eventos de divulgación se obtenga dos tipos de datos: Uno cuantitativo (ranking de alternativas) y otro cualitativo (valoración colectiva expresada en lenguaje natural).

En el desarrollo de esta tesis podrá encontrar el fundamento teórico del modelo propuesto y el proceso que se siguió para poder crear una herramienta con la cual se implemento el modelo en un entorno real. Los datos obtenidos del caso de uso (La Noche Europea de los Investigadores 2023), se encuentran en una página web y en un repositorio, que puede ser consultada de forma abierta.

ABSTRACT

For a long time, scientific research was housed behind the walls of educational and private institutions, where scientists worked to create knowledge. Writings and notes with detailed descriptions of scientific discoveries were only accessible to people in academia. Currently, a new paradigm is taking place, where research projects and the information generated by them are becoming easily accessible to anyone who wishes to consult it. Along with this free access movement, awareness is being created among people outside the scientific field, citizens. Citizen Science is a new way of doing science, where citizens actively participate with their own material and intellectual resources.

Since Citizen Science is done by and for citizens, it must have measurement mechanisms to know the impact on the community. One of the aspects that can be measured is the degree of satisfaction that citizens have about Citizen Science projects. The approach of citizens to research projects occurs with events and dissemination activities such as the European Researchers' Night, a place where projects and their results or new proposals are presented where attendees are invited to participate.

The measurement of satisfaction can be achieved with decision-making models, with which a value that represents the collective perception can be obtained. These models are more efficient in their implementation when they process assessments issued in natural language and with uncertainty, since human beings innately express their thoughts in that way.

This thesis hypothesizes that useful information can be obtained from evaluations expressed in natural language, uncertainty and sentiment. This information can be used in an evaluation model that can be applied in research projects, mainly focused on citizen science, during their dissemination or in any other process.

The main objective of this work is to design a robust evaluation model that can be a valuable support tool for Citizen Science project directors. Secondary objectives include the collection of opinions that incorporate elements such as a level of importance and the feeling that accompanies that assessment, along with a degree of uncertainty; Generate a freely accessible database of linguistic assessments, so that citizens can consult it and use them in their own proposals; Make available to citizen researchers a technological tool that implements the model and that is used to collect collective perception in the dissemination of their projects.

The purpose of this thesis is to collect evaluations given by citizens and extract the information

described above, so that when applying the proposal in dissemination events, two types of data are obtained: One quantitative (ranking of alternatives) and another qualitative (collective assessment expressed in natural language).

In the development of this thesis you will be able to find the theoretical foundation of the proposed model and the process that was followed to create a tool with which the model was implemented in a real environment. The data obtained from the use case (The European Researchers' Night 2023) is found on a website and in a repository, which can be openly consulted.

Capítulo 1

Introducción

1.1 Contexto

En la actualidad, el concepto de *Ciencia ciudadana* (CC), o conocida por su término en inglés *Citizen Science*, se encuentra presente en diversos proyectos de investigación. En la CC la participación activa de la sociedad se observa en la aportación de conocimiento, herramientas y recursos en actividades de investigación científica. Los ciudadanos están involucrados en la mayoría de los procesos, entre estos se encuentra el de evaluación. La evaluación de un proyecto permite identificar el avance que tiene, los recursos disponibles o si se cumplirán con las metas y objetivos establecidos. Como decía el físico y matemático británico Lord Kelvin:

‘Lo que no se define no se puede medir. Lo que no se mide, no se puede mejorar. Lo que no se mejora se degrada siempre.’

Los procedimientos que se siguen empleando para evaluar proyectos se basan en su costo-beneficio y métodos de ponderación y clasificación. Éstos métodos existentes son utilizados para comparar alternativas con base a resultados. Dentro del contexto de CS, existe muy poca literatura con modelos de evaluación que den a conocer cual es el nivel satisfacción de la ciudadanía, con respecto a su participación y conocimiento del desarrollo del proyecto. Uno de los componentes de CS que tiene una gran importancia son las actividades de divulgación, ya que estos son los medios que acercan la CS con la comunidad.

Para conocer el impacto que tienen las actividades de divulgación científica en los asistentes, estas deben ser evaluadas. Uno de los desafíos presentes en eventos de divulgación es el proceso de evaluación. Entre mayor es el número de asistentes, más complejo se vuelve el aplicar herramientas de evaluación y recolectar los datos generados. Herramientas estandarizadas como los cuestionarios cerrados, pueden no ser los más idóneos para conocer el nivel de satisfacción de los participantes.

Los modelos de toma de decisiones grupales (*Group Decision Making*, GDM) son utilizados

para conocer valoraciones colectivas. En este contexto se establecen las alternativas que deberán ser evaluadas bajo ciertos criterios y por múltiples personas (a veces expertos en el problema planteado, a veces no). Los modelos de toma de decisiones multicriterio multiexperto son los idóneos para implementarse en un proceso de evaluación con un gran número de expertos, en este caso ciudadanos.

Dentro del proceso de toma de decisiones existen modelos computacionales que permiten operar con lenguaje natural, es decir, se utilizan palabras u oraciones en lugar de números al momento de evaluar un criterio. El uso de lenguaje natural en un proceso de evaluación permite un grado de aceptación mas alto entre un grupo de expertos heterogéneo, como lo son asistentes a eventos y actividades de divulgación. El proceso de toma de decisión servirá para resolver cuál es la alternativa mejor valorada de acuerdo a los factores que se consideran en su evaluación, o criterios de evaluación (ya que suelen ser múltiples criterios, en ocasiones relacionados entre sí, o con diferente importancia relativa).

1.2 Justificación

En la actualidad no se tiene un modelo de evaluación que tenga como objetivo recopilar la opinión de los asistentes a eventos de divulgación de CC. Algunas herramientas disponibles solo abarcan aspectos sencillos sobre las valoraciones hacia eventos, teniendo como foco principal elementos de *marketing* que son de utilidad para eventos no académicos.

La divulgación de un proyecto cobra una gran importancia, porque dependiendo de la difusión que se le de, es el alcance que puede tener dentro de una comunidad. Cuando una persona asiste a un evento, de divulgación o no, es importante escuchar su opinión ya que proporciona información valiosa para los organizadores. Las opiniones expresadas en lenguaje natural es lo mas apropiado para cuantificar un grado de satisfacción, este tipo de valoración no es soportada en la actualidad por herramientas de evaluación comerciales comunes, que solo utilizan escalas numéricas como respuestas. Las herramientas que incorporen como datos de entrada valoraciones en lenguaje natural, pueden sobresalir de entre las soluciones comerciales disponibles para evaluar eventos.

Para eventos de divulgación de CC con un número considerado de asistentes, la presente tesis doctoral propone un modelo de toma de decisiones grupal, donde se evalúan actividades de divulgación de CC con múltiples criterios y varios expertos, ciudadanos, quienes valoran de manera distinta cada criterio. Para que las valoraciones expresadas por los ciudadanos sean lo mas acertadas posibles, se incorporan escalas de representación lingüística, siendo las mas idóneas para expresar valoraciones cercanas al lenguaje natural.

Como se puede observar la Figura 1.1 los elementos principales que componen esta tesis doctoral para valorar actividades son:

1. **Ciencia Ciudadana:** La CC es un tema actual donde se involucra la sociedad en el proceso

de investigación formal. Al estar presentes en todos los procesos, es importante conocer el grado de satisfacción tanto individual como grupal. El foco debe estar de forma primordial en los ciudadanos, por lo que es de suma importancia recopilar toda la información posible proporcionada por ellos.

2. **Opinión Colectiva:** La opinión individual es muy importante, pero la opinión proporcionada por una comunidad cobra enorme relevancia al tratarse de proyectos de CC. El alcance que tienen los proyectos de CC va mas allá del impacto personal, repercute en una comunidad completa cuya población puede estar conformada por un gran número de individuos.
3. **Sentimiento:** En la vida cotidiana, al tratar de valorar algo de nuestro entorno, no solo pensamos en lo bueno, si no también en lo malo. Las opiniones que podemos tener sobre la apreciación hacia algo puede tener dos matices, que deben tomarse en cuenta. En un escenario donde se trabaja con opiniones colectivas, el sentimiento de esas opiniones juega un rol importante, ya que puede representar un grado de aceptación o rechazo por parte de la comunidad.
4. **Incertidumbre:** Tratándose de la opinión de expertos ciudadanos sobre un aspecto relacionado con CC, en nuestro caso eventos y actividades, se debe contemplar la incertidumbre. Una opinión siempre viene acompañada de la incertidumbre desde que se empieza a analizar de forma profunda, aunque al final se tenga una valoración con certeza.



Figura 1.1: Elementos principales que componen la tesis doctoral.

Estos cuatro puntos son áreas de oportunidad para valorar eventos y actividades de CC, que se identificaron a partir del análisis de la literatura especializada en este tema y las herramientas tecnológicas actuales disponibles para este fin.

1.3 Objetivos Generales y Específicos

La presente tesis doctoral propugna el concepto que las opiniones colectivas ofrecen una gran cantidad de información, no solo una valoración lingüística, si no otros datos implícitos como el orden en que se eligen los criterios (incluso el número de asistentes que emitieron su valoración sobre una actividad). El uso de modelos de toma de decisiones lingüísticos, que permiten captar información expresada en lenguaje natural, y técnicas de generación de rankings como *MULTIMOORA* permiten la creación modelos de valoración que tienen como salida un resultado cuantitativo y otro cualitativo.

Es importante señalar que el modelo presentado en esta tesis ha sido implementado en un entorno real, captando datos de asistentes a eventos de divulgación científica. Esta información permitió generar una base de datos la cual tiene la característica de ser de acceso abierto, dando pie a que pueda ser utilizada por otros investigadores con diferentes propuestas. Otro de los puntos a destacar es que junto con el modelo matemático, esta tesis viene acompañada de una herramienta que puede ser utilizada de forma libre, y los datos en bruto que se generen con ella están disponibles al igual que la base de datos antes mencionada.

El objetivo principal de esta tesis doctoral es:

Crear un modelo de toma de decisiones que recopile las opiniones de ciudadanos expertos con la finalidad de que se aplique en la difusión de proyectos de Ciencia Ciudadana como herramienta de apoyo.

Para poder alcanzar el objetivo principal se desarrollan los siguientes objetivos secundarios:

1. Recopilar información de las valoraciones colectivas expresadas en lenguaje natural y con su matiz de sentimiento. Como suele suceder en el mundo real, todas las opiniones son expresadas en lenguaje natural, y siempre tendrá implícito un grado de vacilación y una orientación hacia lo positivo y negativo (sentimiento) e incluso un grado de importancia o relevancia. Toda esta información es de gran utilidad para un modelo de toma de decisiones con el que se busca expresar la opinión colectiva de la forma mas acertada posible.
2. Generar una base de conocimientos de libre acceso para que sea utilizado en diversos proyectos de Ciencia Ciudadana. Trabajar con información generada por una multitud nos lleva a obtener una gran base de datos con información diversa. Estos datos pueden ser el punto de partida para otros temas de investigación con un gran impacto en la sociedad.

Dado que la información es dada por ciudadanos, ésta debe ser inherente al acceso libre para su uso.

3. Proporcionar una herramienta de software libre que pueda ser utilizado por los investigadores ciudadanos en sus proyectos. El modelo propuesto en esta tesis esta complementado con una herramienta de software, la cual puede ser usada libremente y con la que pueden acceder a datos procesados por el modelo de forma abierta para su posterior análisis individual. Al tener como foco los proyectos de ciencia ciudadana, esta herramienta libre debe ser un apoyo para los científicos ciudadanos en sus proyectos.

A continuación, se describe la estructura que compone la presente tesis doctoral, donde se explican los conceptos utilizados para poder alcanzar el objetivo principal. Dentro del desarrollo de cada una de las secciones, se muestra el fundamento teórico que sustenta cada uno de los objetivos antes mencionados.

1.4 Estructura de la memoria

La presente memoria se compone de siete capítulos principales, los cuales a su vez se dividen en diferentes secciones que albergan el contenido teórico de cada tema. A continuación se describe de forma breve cada una de ellas como preámbulo al contenido que se presenta mas adelante.

- El Capítulo 1 esta destinado para definir el contexto, la justificación y los objetivos del tema de investigación.
- En el Capítulo 2 se exponen la definición de Ciencia Ciudadana, sus componentes y actores principales. Dentro de este mismo capítulo se muestra un modelo general para desarrollar proyectos de Ciencia Ciudadana y las políticas públicas que sirven como facilitadores. Se explican los métodos de evaluación de los proyectos y eventos de divulgación de Ciencia Ciudadana además de las herramientas utilizadas para este fin.
- En el Capítulo 3 se presenta el marco teórico matemático que sustenta esta tesis, partiendo de la definición de un modelo de toma de decisiones, los modelos computacionales lingüísticos y la definición de variable lingüística. Complementado lo anterior se definen los modelos con incertidumbre y multigranularidad lingüística, el método MULTIMOORA y los métodos para generar rankigs a partir de índices.
- En el Capítulo 4 se explica a detalle cada uno de los pasos que componen el modelo matemático que respalda esta tesis doctoral. Partiendo de los componentes esenciales como los datos de entrada hasta el último proceso cuya salida son dos tipos de datos, uno cuantitativo y otro cualitativo.

- En el Capítulo 5 se exponen los resultados de la implementación del modelo en un entorno real, mostrando los resultados obtenidos en cada uno de los procesos hasta llegar al resultado final.
- En el Capítulo 6 se describe cómo se originó la herramienta que complementa el tema de investigación desarrollado en esta tesis doctoral, iniciando desde el modelado a partir de requisitos, hasta las interfaces que interactúan con los usuarios finales.
- Finalmente en el Capítulo 7 se expresa los comentarios y conclusiones finales que se obtuvieron a partir del desarrollo en todas sus fases del modelo de esta tesis doctoral. Sumado a lo anterior, se mencionan cuales son los trabajos a futuro relacionados con el modelo propuesto y los datos obtenidos en el caso de uso.

Capítulo 2

Preliminares

La investigación científica en la actualidad no se está concentrando en instituciones o centros especializados en donde grupos de expertos y científicos formulan hipótesis, realizan experimentos y recaban información en un ambiente controlado para después evaluar los resultados obtenidos y publicarlos en revistas científicas o exponerlos en congresos relacionados con temas afines. La mayor parte de los trabajos científicos solo son accesibles mediante bases de datos especializadas en donde únicamente la comunidad científica y educativa superior tienen acceso.

La tendencia actual es que la sociedad participe de manera activa en el proceso de investigación realizando aportes en varias etapas y que complementen a los proyectos de investigación. El acceso abierto a material de investigación científica, como revistas científicas y académicas¹², permite que la sociedad en general pueda informarse de los avances científicos actuales, y generar interés por participar en algún proyecto de investigación, además, de incrementar la posibilidad de que los autores puedan ser citados en nuevas publicaciones alrededor del mundo, y que se creen redes de colaboración, cuya información generada también pueda ser de libre acceso.

A continuación se describe la estructura de este capítulo, en la Sección 2.1 se muestra un poco los antecedentes de Ciencia Ciudadana (CC), definición formal y sus principales participantes. En la Sección 2.2 se describen los pasos a seguir para crear un proyecto de CC, y su clasificación. En la Sección 2.3 se mencionan los proyectos de ley que involucran a proyectos de CC, estas iniciativas sirven para definir el alcance de los proyectos, los objetivos y desafíos en un contexto social. En la Sección 2.4 se describe la metodología para evaluar proyectos de investigación de forma general tomando como referencia el programa *Horizonte 2020* de la Unión Europea (UE). La Sección 2.5 describe el proceso de evaluación, las herramientas más empleadas y los criterios utilizados en proyectos de CC. En la Sección 2.6 se describe la clasificación de eventos de difusión de la ciencia, y la evaluación de conferencias con énfase académico y no académico. En la Sección 2.7 se muestra un breve análisis de las herramientas tecnológicas disponibles para

¹www.doaj.org

²www.elsevier.com/open-access

evaluar conferencias. Y por último en Sección 2.8 se desarrollan las conclusiones del capítulo.

2.1 Componentes de la Ciencia Ciudadana

En [5], se mencionan los antecedentes históricos sobre la participación ciudadana en la ciencia, resaltando tres formas en las que el público comenzó a hacerse presente en la ciencia, las cuales son:

- *Popularización*: A partir del siglo XVI comenzaron a crearse espacios en donde se exponían una gran diversidad de elementos de la naturaleza, que en esa época causaba gran admiración, así fue como surgieron los primeros museos, planetarios y zoológicos. En un principio, el acceso a éstos espacios solo era para un selecto grupo de personas, pero con el transcurso del tiempo comenzó a ser más accesible al público en general.
- *Socialización*: Ante la profesionalización de la ciencia y un aumento en el interés de la sociedad en la ciencia, a finales del siglo XVIII han sido creadas organizaciones y asociaciones con fines científicos, las cuales promueven que la ciencia se accesible para el público en general.
- *Libre acceso*: El *Open Access* es uno de éstos movimientos que promueven el acceso generalizado a la ciencia. Uno de los aspectos que se pueden considerar importantes es la *Liberación* del conocimiento, que a partir de mediados del siglo XX, se comenzó con el libre acceso a la información y datos generados por la ciencia, permitiendo que la población interesada en la ciencia pudiera consultar datos y participar de alguna forma en proyectos de investigación científica.

En [30] se mencionan las contribuciones y beneficios que se obtienen de hacer accesible la ciencia y el conocimiento, como lo es el ahorrar en recursos necesarios para los proyectos de investigación, infraestructura compartida y la transferencia de conocimiento entre los expertos y la sociedad. Para que exista un crecimiento sostenido del movimiento de la ciencia abierta y ciencia ciudadana se deben atender los siguientes desafíos: apertura de los datos, inclusión y empoderamiento de los involucrados, educación y formación, infraestructura y sistemas de incentivos, investigación y debates críticos. La ciencia abierta y la ciencia ciudadana tienen una relación muy estrecha, y juntas pueden lograr cambios en los paradigmas actuales de la innovación y la investigación científica.

2.1.1 Definición de Ciencia Ciudadana

Al tener a la sociedad inmersa en la ciencia, con el acceso a textos científicos, muchos de ellos comienzan a tener inquietudes y a informarse sobre el proceso que conlleva un proyecto de

investigación científica y de cómo puede el participar en dichos proyectos. El término **CC** es cada vez mas utilizado entre la comunidad científica, y su definición esta dada en diferentes contextos. Diccionarios como el *Oxford English Dictionary* y *Cambridge Dictionary*, definen la expresión en lengua inglesa; en la Real Academia Española, aún no se incorpora el término en su base de datos. En [5] se refiere como a la participación del público con recursos propios, en actividades de investigación científica, Goodchild [44] menciona que describe a las comunidades de ciudadanos quienes solo son observadores con ciertas habilidades y conocimientos especializados, son aquellos que recolectan datos y comparten resultados. Bonney et al. [16] emplean el término para referirse a los proyectos de investigación científica en donde se involucran en varias etapas a la población general. El concepto CC se ha hecho presente en muchos proyectos y artículos científicos en los últimos años [29], [60], [97], y es el reflejo de la participación de la ciudadanía en la generación de conocimiento.

2.1.2 Participantes en Ciencia Ciudadana y sus principales roles

Eitzel et al. [37] realizaron un estudio sobre la terminología relacionada con **CC**, sus contextos geopolíticos y su evolución. La **CC** en el contexto geopolítico en Europa se ve reflejada en todas las actividades de la *Asociación Europea de Ciencia Ciudadana* (ECSA)³ que está formada por una red de ciudadanos y organizaciones en 28 países de la unión europea. En la tabla A.1 del anexo se definen los términos de los expertos, por englobar en un término, que se relacionan con actividades de **CC**. Como se observa, de la misma forma, en la tabla A.1 se exponen los términos asociados con los ciudadanos que participan en **CS**. En la guía [84], se incluye un glosario de términos en alemán y su traducción o equivalencia en inglés, que se relacionan con **CC**; no están clasificados como en el documento de [37], pero nos muestra que algunas definiciones no están estandarizadas, y muchas tienen su significado de acuerdo al país o el contexto donde es utilizado, como por ejemplo: "*Fachgesellschaften (Independent or volunteer groups scientific): Fachgesellschaften is a difficult term to translate outside of the German context, but means roughly independent volunteer scientific groups. These groups are generally organised within scientific disciplines; their members may be professional scientists or experienced amateurs often with decades of accumulated knowledge and expertise, who earn their living in other ways*". [84] En [5] se mencionan diversos perfiles de las personas que están involucradas en **CC**, en éste informe se destacan tres grupos objetivo, en los que agruparon los perfiles y fueron la base para un estudio documentado en éste documento. Los grupos son:

- **Investigadores:** Son los que pueden aprovechar la participación de los ciudadanos en los proyectos de investigación
- **Ciudadanos:** Son aquellas personas interesadas en la ciencia a quienes se les fomenta su participación en proyectos de investigación.

³<https://ecsa.citizen-science.net>

- **Responsables políticos:** Son aquellas personas que pueden ser los facilitadores a nivel nacional, local o comunitario de apoyos para proyectos de ciencia ciudadana.

Para definir cada uno de éstos roles hicieron la revisión de 43 documentos de política internacional, los cuales pasaron por una serie de criterios para su selección. Los grupos antes mencionados agrupan diferentes perfiles, pero no se describen cada uno a detalle. Sin embargo en [51], se describen de forma detallada los roles de los ciudadanos, científicos y los representantes políticos en la CC.

La Tabla A.3 del anexo nos muestran los roles y las actividades que tienen las figuras políticas que se relacionan de alguna forma con CC, y de la importancia que éstos pueden tener en el desarrollo de CC, ya que proporcionan el apoyo que los proyectos necesitan para su implementación y la generación de documentos y políticas que respalden y muestren las contribuciones de los proyectos de CC. La Tabla A.1 del anexo contiene a los actores por parte de la sociedad, quienes tienen diferentes roles, los cuales reflejan una participación activa en las diversas etapas de un proyecto de investigación científica, que puede ser desde observadores y generadores de datos, hasta líderes de proyectos, su compromiso o el tipo de recursos que destinan a la investigación, dan lugar a que se de una clasificación en los proyectos de CC, los cuales abordaremos más adelante. Los científicos pueden ser la fuente de inspiración y motivación para los ciudadanos, por lo cual son ellos los que pueden o deben dirigir las actividades y proyectos, pues ellos son quienes, con su preparación y especialización, pueden gestionar de manera eficiente los recursos. Sus actividades y roles se muestran en la Tabla A.5 del anexo. La asociación entre los ciudadanos, los políticos y los científicos también juegan un papel muy importante en CC, porque pueden aportar conocimiento, herramientas y documentación que puede servir como una base para estandarizar algunos procesos o generar políticas que sean replicables, y que puede ser de ayuda para la obtención de recursos económicos y se desarrollen nuevos proyectos.

2.2 Modelo para desarrollar un proyecto de Ciencia Ciudadana

La *Asociación Europea de Ciencia Ciudadana* (ECSA)⁴ propone 10 principios de la CC. Entre esos principios se menciona que los ciudadanos deben involucrarse de forma activa, los científicos y los ciudadanos deben beneficiarse de la participación de alguna forma, los ciudadanos pueden participar en diversas etapas del proyecto, se debe dar una retroalimentación del proyecto a los ciudadanos en todo momento y los datos deben ser públicos y en un formato de acceso abierto, por mencionar algunos. Esos principios se deben de tomar en cuenta al momento de planear un proyecto de ciencia ciudadana. En el caso de que científicos y ciudadanos quieran empezar un proyecto de CC por primera vez, en [39] se tienen herramientas para planificarlo y resume el

⁴Documento en línea: ecsa.citizen-science.net/sites/default/files/ecsa_ten_principles_of_cs_spanish_0.pdf. Consultado: 26/07/2020

proceso en cinco pasos:

1. Alcance del problema: Definir a detalle el problema a resolver, su alcance, quienes serán los interesados y participantes del proyecto.
2. Diseño del proyecto: Identificar los objetivos, identificar los recursos disponibles para el proyecto, planificar la gestión del proyecto, determinar el proceso de participación de los participantes.
3. Construir una comunidad: Identificar a los miembros de la comunidad que participarán, tomando en cuenta su diversidad cultural, nivel de conocimiento y experiencia, los recursos que puede poner a disposición del proyecto y la forma de mantenerlos incentivados y reconocer sus esfuerzos.
4. Administrar los datos: Generar un plan para gestionar los datos, en donde se considere la generación, captura, procesamiento, análisis y distribución de la información.
5. Mantener y mejorar el proyecto: Planificar las actividades de mejora continua del proyecto, así como la conservación de los datos generados.

Cada uno de los apartados se explica de forma sencilla, sin conceptos muy técnicos, y se proporcionan casos de estudio y consejos que se pueden considerar en cada etapa. Si comparamos el modelado de un proyecto científico "normal", con uno de ciencia ciudadana, veremos que no difieren mucho. El trabajo de Bonney et al. [17] propone un modelo para desarrollar un proyecto de ciencia ciudadana, el cual consta de nueve etapas. Del Rio [31] presenta las etapas que tiene un proyecto de investigación científica, al comparar ambas estructuras, existen muy pocas diferencias uno del otro, pues al final, ambas son investigaciones con fines científicos. El único elemento que no es considerado en el modelo de investigación tradicional es el incorporar recurso humano por volumen, que puede ser a gran escala, ya que en una investigación científica, son grupos reducidos de expertos los que intervienen en una investigación, mientras que en CC, puede ser un gran número de personas las que pueden participar. Otro de los elementos en los que si difiere la investigación tradicional con la de CC, es la difusión de los resultados. Del Rio [31] hace mención que los informes privados, artículos científicos o libros, por mencionar algunos, son los medios en que los resultados son publicados, ya se mencionó anteriormente que las base de datos que permiten el acceso a esta información es limitada, en CC una de sus principales características es que los datos generados deben ser de acceso abierto, y disponible para toda la sociedad [?].

Cada vez es mayor el número de personas y científicos que quieren emprender un proyecto de CC, se han elaborado guías que permiten desarrollar un proyecto paso a paso. Dentro del contexto de de CC en Reino Unido se generó una guía [99] para desarrollar e implementar proyectos , éste documento esta dividido en cinco secciones, cada una de ellas es una etapa del proyecto de CC, contiene ejemplos, elementos clave, tips y un listado con recursos que pueden servir de apoyo. La

guía [84] desarrollada dentro del contexto de CS en Alemania esta dividida en dos partes, la primera define cada una de las fases de los proyectos de CC; y la segunda parte muestra el panorama de CC en diferentes disciplinas como la educación, las ciencias sociales, y la conservación del medio ambiente, entre otros. Esta guía también incluye ligas a recursos que pueden ser de apoyo y un glosario de términos utilizados. Cada una de estas guías fueron desarrolladas teniendo en cuenta una región o país en particular, son una buena base para comenzar, pero aún pueden tener mejoras con el paso del tiempo y la recolección de nuevas experiencias de proyectos recientes.

2.2.1 Tipos de proyectos en CC y sus fases

A partir del grado o nivel de participación del público han surgido clasificaciones de proyectos con diferentes puntos de vista, algunos incluyen el tamaño de la población que está involucrada en el proyecto. En la Tabla A.1 del anexo se muestran las diversas clasificaciones que se han encontrado en la literatura de CC. La clasificación propuesta por Bonney et al. [16] se basa en el grado de participación del público en las actividades de investigación, siendo los proyectos colaborativos donde menos participación se tiene, pues solo es la recolección de datos donde más involucrado están; y los proyectos co-creados en donde el público participa en todas las actividades.

El trabajo de Shirk et al. [95] añade dos tipos de proyectos a la propuesta anterior, los contractuales, que son aquellas investigaciones solicitadas por la sociedad y las contribuciones colegiadas, que son investigaciones independientes realizadas por ciudadanos. La clasificación que nos muestra Wiggins y Crowston [101] es el producto de la clasificación de proyectos de CC, tomando en cuenta criterios como datos demográficos, afiliaciones a instituciones, diseño del proyecto entre otros.

Uno de los puntos importantes que se mencionan en las guías o herramientas para desarrollar un proyecto de CC, es definir el enfoque o tipo de proyecto. Los proyectos de CC están compuestos por siete fases que contienen diferentes procesos cada una, estos procesos pueden ser secuenciales o concurrentes. La Figura. 2.1 muestra un modelo general basado en las propuestas de las guías de CC en Reino Unido y Alemania.

Analizando los atributos de diferentes proyectos de CC .Roy et al. [90] generó dos dimensiones principales. La primera dimensión está relacionada con el grado de participación que puede ser en el ámbito local con un reducido grupo de participantes o en masa, o a gran escala. La segunda dimensión toma en cuenta la inversión de recursos en el proyecto, que puede ser tiempo, materiales de apoyo, por mencionar algunos, mostrando que algunos proyectos pueden ser simples y otros exhaustivos.

Clark e Illman [28] proponen una serie de dimensiones para la comprensión pública de la ciencia. Las dimensiones están distribuidas de tal forma que se diferencian aquellas que son pasivas de las activas, como se observa en la Figura. 2.2. Las dimensiones surgieron a partir de una comparativa

entre modelos de ciencia cívica y poder diferenciar sus enfoques, las autoras mencionan que la comunicación científica es un proceso interactivo y multidimensional.

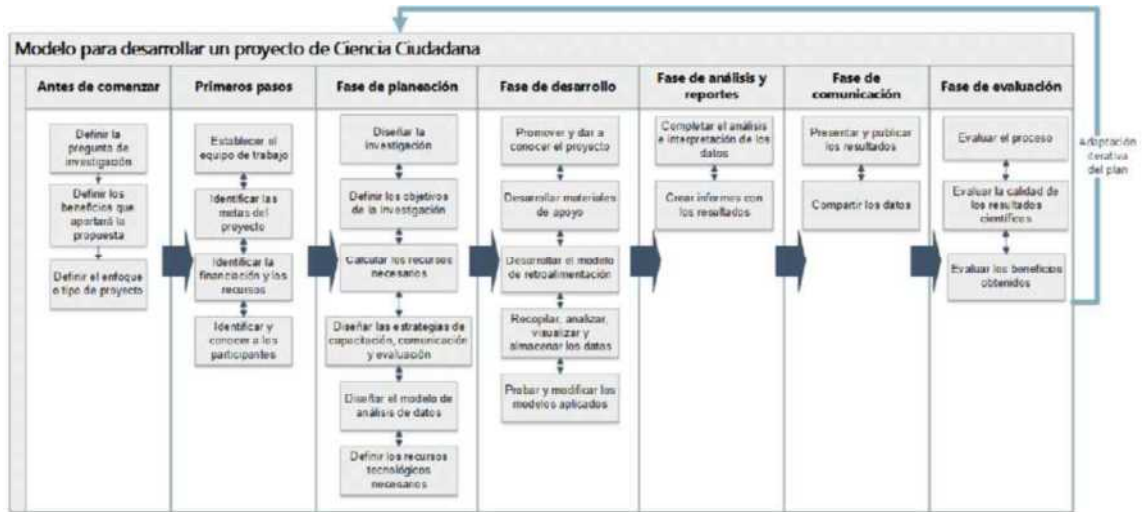


Figura 2.1: Modelo para desarrollar un proyecto de CC.

Haklay [49] propone una participación por niveles, en donde cada nivel representa el grado de compromiso y participación del público, menciona que hay voluntarios pasivos que solo quieren pertenecer a un proyecto de investigación buscar entender el proceso de la investigación científica. En el segundo nivel, los participantes tienen una capacitación previa y se les proporciona una formación. En el tercer nivel los participantes se ven involucrados en el diseño de métodos de recolección de datos junto con los científicos, y ayudan al análisis e interpretación de la información. Los participantes en el cuarto nivel deciden el nivel de compromiso y su participación, que puede ser durante todo el proceso; los científicos en éste nivel son facilitadores y en éste nivel pueden encontrarse proyectos diseñados por los participantes sin la intervención de los expertos y científicos.

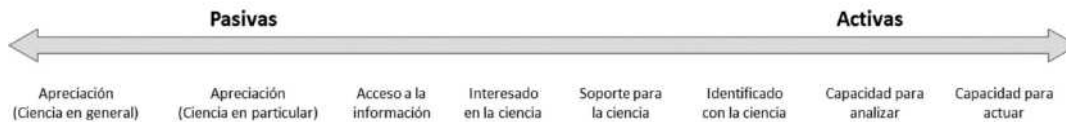


Figura 2.2: Dimensiones de la comprensión pública de la ciencia. Traducido y adaptado de [28]

Bonney et al. [16] proponen una clasificación de los proyectos basada en la participación pública en el proceso de investigación. Menciona que el público debe estar involucrado en todas las actividades, las cuales son:

1. Elección o definición de las preguntas de estudio.

2. Recopilar información y recursos.
3. Desarrollar la hipótesis sobre las posibles respuestas a las preguntas.
4. Desarrollar la hipótesis sobre las posibles respuestas a las preguntas.
5. Diseñar metodologías de recolección de datos (tanto experimentales como de observación).
6. Recolectar los datos.
7. Analizar los datos.
8. Interpretar los datos y sacar conclusiones.
9. Divulgar las conclusiones.
10. Discutir los resultados y formular nuevas preguntas.

2.3 Proyectos de ley para Ciencia Ciudadana

Las actividades de investigación que involucran a la ciudadanía, deben estar respaldadas por las entidades de gobierno, ya que son sus representantes. Como se mencionó antes, los responsables políticos deben ser facilitadores y el apoyo de éstos proyectos. Los organismos o representantes de CC en la Union Europea, han presentado propuestas para proyectos de ley, que incentiven y beneficien a los proyectos de CC. Estas propuestas se encuentran en dos documentos llamados Libro Verde (*Green paper*) y Libro Blanco (*White paper*), El sitio EUR-Lex⁵ que es un portal oficial de acceso a documentos jurídicos de la Unión Europea, define los dos términos anteriores de la siguiente forma:

Los Libros Verdes son documentos publicados por la Comisión Europea cuyo objetivo es estimular una reflexión a nivel europeo sobre un tema concreto. Los Libros Verdes invitan a las partes interesadas (organismos y particulares) a participar en un proceso de consulta y debate sobre las propuestas que presentan, y pueden dar origen a desarrollos legislativos que se reflejan en Libros Blancos⁶.

Los Libros Blancos de la Comisión Europea son documentos que contienen propuestas de acciones de la Unión Europea (UE) en un campo específico. A veces constituyen una continuación de los Libros Verdes publicados, cuyo objetivo es iniciar un proceso de consultas a escala de la UE.

⁵Sitio web: eur-lex.europa.eu/homepage.html. Consultado: 01/08/2020

⁶Definición en sitio web: eur-lex.europa.eu/summary/glossary/green_paper.html. Consultado: 01/08/2020

El propósito de los Libros Blancos es iniciar un debate con el público, las partes interesadas, el Parlamento Europeo y el Consejo con el fin de alcanzar un consenso político⁷.

2.3.1 Libro Verde

Serrano [92] presenta la investigación con participación de los ciudadanos dentro del contexto de la Unión Europea, su alineación con la estrategia de Europa 2020, un listado con programas de financiación europea. Expone una serie de fases que se siguen en el grupo SOCIENTIZE⁸ y que sirven para determinar las afiliaciones y problemas existentes, las fases son:

- Explotación, observación y análisis.
- Mapeo y establecimiento de prioridades.
- Recomendaciones del política
- Consulta, retroalimentación, revisión y aprobación.
- Publicación del libro verde.
- Próximos pasos.

En el documento, se define CS y sus aspectos transversales, modelos de implementación, facilitación y sostenibilidad, sus impulsores y barreras, una serie de acciones propuestas y recomendaciones en políticas.

En [15] se exponen los objetivos, desafíos y recomendaciones de la CS en Alemania y además definen a CC dentro de un contexto local. Propone una estructura de participación de los ciudadanos y proporciona recomendaciones de acciones para CC. Menciona una serie de principios guía para CC en Alemania, los cuales son:

- Creación de redes e intercambio de información entre la ciencia y la sociedad.
- Establecimiento de diferentes modelos de financiación para actividades y proyectos de CC.
- La formación y educación continua de los investigadores y voluntarios.
- Difusión y publicidad de los proyectos de CC en medios de comunicación.
- Darle la importancia a la CC en la sociedad, ciencia y política.
- El acceso público a los resultados y los datos, una vez validados y procesados con estándares de manejo de datos.

⁷Definición en sitio web: eur-lex.europa.eu/summary/glossary/white_paper.html. Consultado: 01/08/2020

⁸www.socientize.eu

- Dar soporte jurídico y ético a CC para el manejo, evaluación, almacenamiento y accesibilidad de los datos.
- Desarrollar conocimiento metodológico y métodos participativos para el compromiso social.
- Promocionar y apoyar actividades de CS en instituciones educativas.
- Reconocer las contribuciones de CC a nivel local y regional.

Dentro de su contenido, también se encuentran recomendaciones para fortalecer estructuras ya existentes, administración de voluntarios y la integración de CC en la educación, entre otras mas.

2.3.2 Libro Blanco

Detrás de la publicación de un documento como un libro blanco, hay una serie de procesos previos que se siguen, y están vinculados con las conclusiones publicadas en el libro verde. Estos procesos son: la difusión, el debate, el refinamiento, la aprobación y finalmente la publicación. En [94] se muestran los desafíos de la CC en el ámbito de la sociedad civil, los investigadores, la industria y los responsables políticos, y propone soluciones en tres niveles, los cuales son:

- Nivel Macro: Marco de políticas.
 - Acción 1: Programación específica. Diseñar modelos de financiación enfocados a programas de Ciencia Ciudadana.
 - Acción 2: Incorporación de la Ciencia Ciudadana. Integración de la Ciencia Ciudadana a los esquemas de financiación existentes.
- Nivel Meso: Marco comunitario, mediadores de Ciencia Ciudadana.
 - Acción 1: Identificación, coordinación y apoyo de las iniciativas en curso. Se debe dar asistencia personalizada acorde a las características y voluntarios involucrados de proyecto de Ciencia Ciudadana.
 - Acción 2: Creación de comunidades dinámicas e inclusivas mediante la definición de nuevos canales de interacción entre los responsables políticos, los científicos y la sociedad. Se debe incluir a los ciudadanos en la toma de decisiones y en iniciativas de Ciencia Ciudadana.
 - Acción 3: Integración de la investigación iniciada y dirigido directamente por el público. Fomentar espacios para motivar la investigación dirigida por los ciudadanos, con sus propios términos y recursos.
- Nivel Micro: Ciencia Ciudadana práctica, hacer que las cosas sucedan.

- Los ciudadanos interesados en la ciencia necesitan de diversos apoyos para seguir motivados e involucrados, y sean la inspiración para que otros ciudadanos quieran integrarse.

En el sitio web de la *Asociación Europea de Ciencia Ciudadana*⁹, cuenta con una sección donde se puede acceder a documentos como informes y políticas. Dentro de esa sección podemos consultar tres documentos, el primero de ellos respalda el libro verde de la Ciencia Ciudadana en Alemania, el segundo es la aprobación del libro blanco sobre la ciencia ciudadana en Europa y el tercero es sobre la ejecución de políticas y directivas en la Unión Europea relacionadas con la Ciencia Ciudadana.

Existe una gran variedad de tipos de proyectos de investigación científica, pero nuestro enfoque de investigación estará en aquellos que son catalogados como proyectos de CC, los cuales podemos consultar en portales como EU-Citizen.Science¹⁰ y Fundación Ibercivis¹¹. Los proyectos de CC tienen un enfoque de beneficio social y al igual que los proyectos científicos deben ser gestionados. Para que un proyecto tenga un correcto desarrollo, es necesario contar con una muy buena estructura organizacional, pues se deben administrar de manera correcta los recursos asignados a dicho proyecto. El saber la dirección que lleva un proyecto, es decir, si los procesos y tareas se están realizando como se planeó, y si se alcanzarán los resultados esperados, es de suma importancia. Dentro de cada proceso se debe considerar una actividad que sirva como punto de control, en donde se muestre el avance que tiene hasta ese momento el proyecto. La evaluación dentro de un proyecto permite hacer un seguimiento que muestra el estatus de un proceso o conjunto de tareas, y determinar si en alguna de las fases que lo componen necesita de modificaciones en las actividades o asignación de mas o diferentes recursos. Administrar un proyecto de forma correcta, es una tarea muy completa, que requiere de una muy buena organización y comunicación entre los involucrados.

2.4 Proyectos de investigación científica y su evaluación

Para evaluar proyectos de investigación científica, desde los años 70's, se utilizan indicadores cuantitativos basados en las publicaciones científicas generadas y su número de citas, y ha tomado mucha importancia desde que se creo el *Science Citation Index (SCI)*, como lo menciona Frame [40]. Frame señala otros tipos de indicadores cuantitativos que complementan al número de artículos y sus citas, como son: el recurso económico utilizado, el número de investigadores involucrados, sus logros académicos y sus rasgos demográficos. El índice de citación ha cambiado desde su creación en 1955. Garfield [42] menciona que el SCI sirve como motor de búsqueda e instrumento para poder cuantificar la investigación científica. El propósito principal del SCI es

⁹<https://ecsa.citizen-science.net/documents>

¹⁰<https://eu-citizen.science/>

¹¹<https://ibercivis.es/>

identificar el volumen de publicaciones de los científicos y el número de citas que tiene cada uno de sus trabajos.

En la actualidad, existen programas de apoyo a la investigación e innovación, que permite impulsar la generación nuevas tecnologías y descubrimientos innovadores en diversas áreas de conocimiento. Muestra de esto es el programa Horizonte 2020 de la Unión Europea¹², el cual cuenta con una infraestructura respaldada por los miembros de la Unión Europea. Este programa cuenta con un fondo monetario para financiar proyectos cuya temática está relacionada con tres áreas fundamentales que son: *Ciencia excelente*, *Liderazgo industrial* y *Retos de la sociedad*. Otro ejemplo es el fondo de apoyos ofrecido por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología¹³ (CONACYT) en México, que ofrece financiación a los proyectos de investigación e innovación, cuyo objetivo es fortalecer el sector de la ciencia y tecnología. Cada programa cuenta con su propio proceso de evaluación de proyectos, que va desde la elegibilidad para ser beneficiado por la financiación del programa, hasta la gestión e impacto del proyecto.

2.4.1 Métodos de evaluación de proyectos de investigación

Durante la década de los 80, Luukkonen [71] presentaba una revisión de los métodos de evaluación en la investigación científica, en el cual se destacan los siguientes tipos:

- *Revisión por pares y sus variantes*: Esta evaluación esta dada por expertos de la comunidad científica, que evalúan la calidad de las propuestas de la investigación desde el punto de vista de "buena ciencia". Su principal uso es en la selección de artículos para revistas científicas.
- *Métodos de revista y cuestionarios*: Esta evaluación es sistemática y utiliza instrumentos estandarizados (cuestionarios) que están diseñados para generar puntuaciones.
- *Métodos cuantitativos*: Éste es un método sistemático y con medidas para la evaluación, y está basado en el análisis de costo-beneficio e indicadores bibliométricos.

Luukkonen [71] menciona que la evaluación del proceso de investigación se da en diferentes fases y estas son: *ex ante* que es la evaluación que se da antes de que comience el proceso de investigación, se puede decir que durante la generación de la idea, *en curso*, es la evaluación continua durante el periodo de vida del proceso de investigación, y *ex post* es la evaluación que se realiza una vez finalizado el proceso de investigación. También hace una clasificación de los tipos de criterios de evaluación y los divide en dos categorías:

- *Criterios internos* que son aquellos relacionados directamente con la calidad y contribución científica, un ejemplo de éstos serían los indicadores bibliométricos que son definidos por

¹²<https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/what-horizon-2020>

¹³<https://www.conacyt.gob.mx/index.php/fondos-y-apoyos>

Gómez y Bordons [43] como "Datos estadísticos deducidos de las publicaciones científicas. Su uso se apoya en el importante papel que desempeñan las publicaciones en la difusión de los nuevos conocimientos, papel asumido a todos los niveles del proceso científico. Estos indicadores son válidos en aquellos contextos en que los resultados de investigación dan lugar a publicaciones científicas". Mencionan que entre los indicadores más utilizados están el número de publicaciones realizadas, su número de citas y el factor de impacto de la revista en donde fueron publicados esos trabajos.

- *Criterios externos* dentro de esta categoría se pueden mencionar aquellos criterios que no están relacionados con la ciencia, como el fomento al crecimiento económico, el impacto ambiental o social y de competitividad. Como ejemplo se pueden considerar las evaluaciones que hay en el programa Horizonte 2020 de la Unión Europea.

Dentro de la literatura especializada, podemos encontrar diferentes artículos que mencionan la utilización de criterios relacionados directamente con la calidad y contribución científica, siendo los indicadores bibliométricos el mayor objeto de estudio entre los investigadores. Los métodos utilizados para la evaluación de proyectos de investigación, conocidos actualmente como *R&D project* (Proyectos de Investigación y Desarrollo o I+D), han ido evolucionando con el tiempo, incorporando diversos modelos matemáticos, que permiten calcular un score de diferentes formas, tomando en cuenta la gran variedad de criterios e incorporando pesos acorde al contexto de la evaluación. Poh et al. [86] presenta una comparativa entre los diferentes métodos de evaluación, cuya clasificación se muestra en la Figura.2.3.

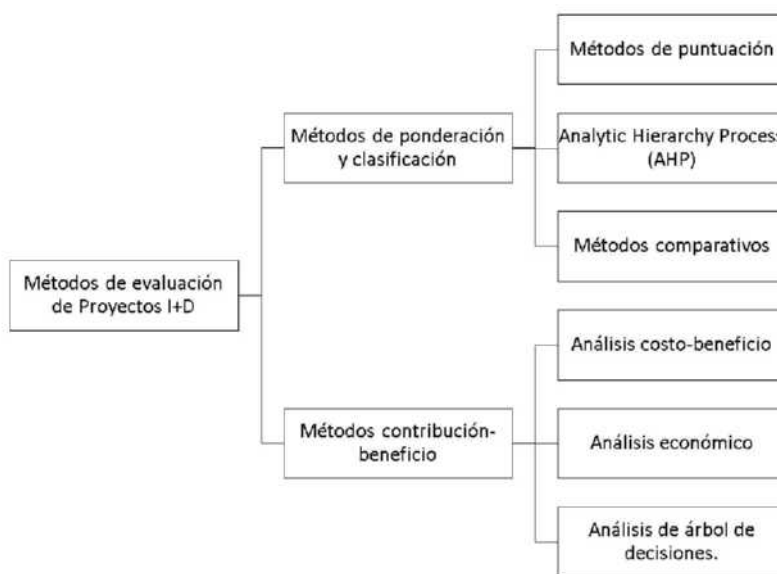


Figura 2.3: Clasificación de los métodos de evaluación de proyectos I+D. Fuente: Traducido de [86]

Los métodos de evaluación clasificados por Poh et al. [86] son:

- **Métodos de Puntuación:** Evalúan los proyectos midiendo los objetivos cumplidos mediante algunas escalas, generando una puntuación. La clasificación de los proyectos se realiza en orden descendente, siendo aquellos de mayor puntaje los mejores.
- **Analytic Hierarchy Process (AHP):** Descompone los criterios de evaluación en orden jerárquico, donde los objetivos generales y particulares tienen mayor peso, seguido de los criterios y subcriterios que contribuyen a los objetivos. La obtención del mejor proyecto puede ser por ponderaciones globales o pesos locales combinados por cada nivel jerárquico.
- **Métodos Comparativos:** Consiste en comparar un proyecto con un conjunto de proyectos alternativos, calculan el mérito global para identificar el mejor proyecto.
- **Análisis Costo-Beneficio:** Considera los costos y beneficios explícitos que puede tener el proyecto de investigación.
- **Análisis Económico:** Utiliza técnicas de presupuesto de capital. Estima beneficios financieros directos de los proyectos de investigación y desarrollo.
- **Análisis de Árbol de Decisiones:** Estructura el proyecto en resultados intermedios y finales preliminares. Analiza la toma de decisiones secuencial en una línea de tiempo, donde los tomadores de decisiones crean variables que influyen en la obtención de resultados. La mejor opción es aquella que tiene la máxima utilidad esperada en cada resultado.

Poh et al. [86] señala que los métodos de puntuación y *Analytic Hierarchy Process* (AHP) son los más utilizados en la evaluación de proyectos, por su facilidad de implementación y el manejo de datos cuantitativos y cualitativos. Conceptos como *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM, Toma de Decisiones Multi-Criterio) y *Analytic Network Process* (ANP, Proceso de Red Analítica) comienzan a ser utilizados en métodos de evaluación actuales, como el estudio propuesto por Jung y Seo [61] en donde la evaluación de proyectos es considerado como un problema de toma de decisiones multi-criterio, y proponen un modelo ANP para la evaluación de proyectos aplicable en diferentes entornos de evaluación.

Otro de los aspectos evaluables en un proyecto de esta naturaleza, es la calidad de la investigación. Martensson et al. [73] proponen un modelo de calidad en la investigación teniendo como base cuatro conceptos clave:

- **Credible:** La investigación debe ser coherente, consistente rigurosa y transparente.
- **Contribuyente:** La investigación debe ser general relevante y generalizable.
- **Comunicable:** La investigación debe ser consumible, accesible y buscable.

- Conforme: La investigación debe estar alineada a normativas, ser ética y sostenible.

El modelo propuesto por Martensson et al. [73] se compone de 32 criterios, agrupados en las categorías antes mencionadas. El modelo de evaluación se podría resumir en los siguientes cuatro procesos:

1. Seleccionar un comité de evaluación multidisciplinario.
2. El comité discutirá sobre la aplicabilidad de los cuatro conceptos clave y sus respectivos criterios.
3. Proporcionar una ponderación a los conceptos clave y sus respectivos criterios aplicables en la evaluación.
4. Operaciones con los datos de los conceptos y criterios, se recopilarán y analizarán los resultados obtenidos de la evaluación.

De acuerdo con lo anterior, los proyectos de investigación pueden ser evaluados por una gran variedad de criterios, esto permite a los programas facilitadores de recursos a proyectos de investigación, generar sus propios diseños de evaluación, adaptándolos a sus objetivos particulares y políticas internas, como es el caso del programa Horizonte 2020 de la Unión Europea y el esquema descrito en la Sección 2.5.2.

2.4.2 Horizonte 2020 y su proceso de evaluación

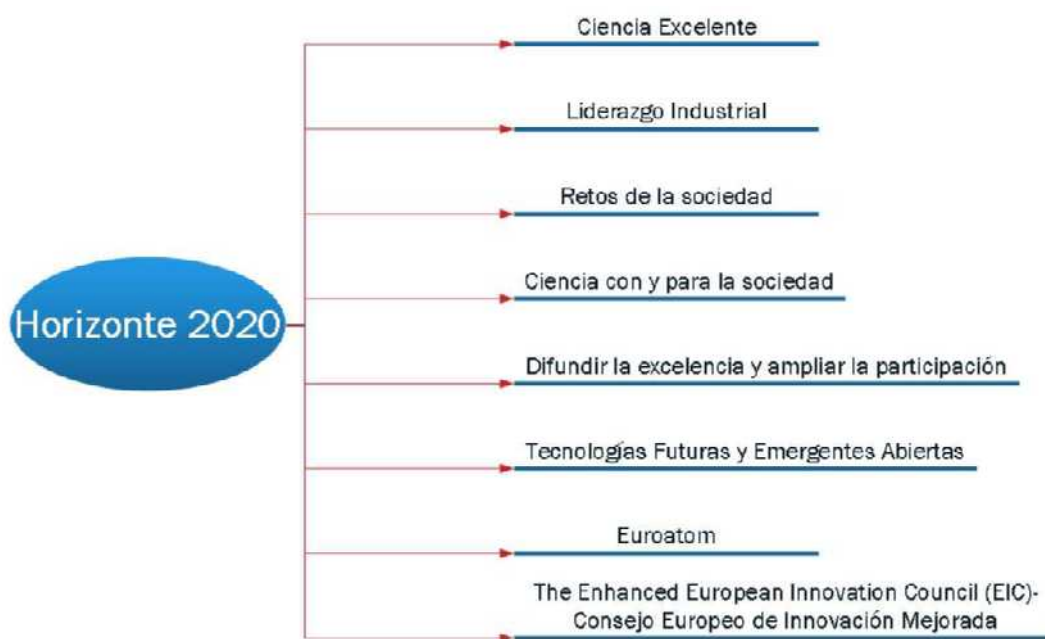


Figura 2.4: Temáticas del programa Horizonte 2020

El programa Horizonte 2020 cuenta con una serie de temáticas¹⁴, como se puede observar en la Figura.2.4, en los cuales se pueden agrupar los proyectos existentes y futuros. Estas temáticas tratan de abordar los principales retos de la unión Europea, y fomentar la sustentabilidad y prosperidad de sus miembros. El proceso que debe de seguir una propuesta para participar en el programa consta de cuatro etapas generales, como lo detalla la Guía del participante [35]. Los procesos son:

1. *Generación de la idea*: En esta etapa se debe definir si la idea es propia o externa, así como los objetivos y resultados esperados. La idea debe estar alineada con los objetivos generales que se plantean en cada convocatoria o temática del programa Horizonte 2020.
2. *Definición del proyecto y del consorcio*: El proceso consiste en identificar los posibles socios del proyecto, esta tarea se facilita al definir los roles y perfiles de los socios deseados. Después se debe consolidar el consorcio y establecer acuerdos entre los participantes.
3. *Elaboración de la propuesta y evaluación*: Se debe identificar el área y línea específica a participar dentro del programa, por que cada una cuenta con una serie de requisitos y documentación específica que se debe proporcionar por parte de los participantes. Los documentos generales que cada propuesta debe presentar son: El programa de trabajo, condiciones de la convocatoria, documentación relacionada con el tipo de acción específico y anexos. Dependiendo de la convocatoria, las propuestas cuentan con dos tipos de evaluaciones: Evaluación en una etapa, en donde se presentan todos los detalles de la propuesta, y evaluación en dos etapas, en la primera se presenta una versión resumida de la propuesta, y si son elegidos, pasa a la siguiente etapa en donde se presenta toda la propuesta a detalle.
4. *Preparación y firma del acuerdo de subvención y ejecución del proyecto*: En esta etapa se genera el documento legal que vincula a los involucrados en el proyecto con la Comisión Europea, en donde se describen los derechos y obligaciones de cada parte. Una vez que se tiene éste documento, el proyecto puede iniciar.

El proceso de evaluación a los que se someten los proyectos participantes depende del programa de trabajo y su convocatoria, pero de manera general, cada propuesta es valorada por tres expertos cuando la evaluación es en una etapa, o dos expertos cuando es en dos etapas. Sin tener en cuenta los requisitos que cada convocatoria de forma individual, el programa Horizonte 2020 cuenta con dos tipos de criterios [35]:

- *Criterios de selección*: Están conformados por dos criterios, la capacidad financiera, cuya auto evaluación se realiza con una herramienta online, y la capacidad operativa, en donde se valora si los participantes cuentan con la capacidad necesaria para llevar a cabo el proyecto.

¹⁴<https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-sections>

- *Criterios de adjudicación:* Se compone de tres criterios base:
 1. La excelencia, en donde se evalúa el concepto, la claridad y pertinencia de los objetivos y la credibilidad de enfoque propuesto.
 2. El impacto, se valora la contribución e impacto de la propuesta a nivel europeo.
 3. La claridad y eficiencia de la implementación del proyecto, en donde se toma en cuenta la efectividad y coherencia del plan de trabajo presentado, así como la gestión del proyecto.

La evaluación de los criterios anteriores es realizada por expertos independientes, los cuales deben formar parte de una base de datos de expertos independientes dentro de algún programa de investigación de la Unión Europea (UE). En España esta base de datos se denomina Banco de expertos colaboradores de la AEI (BECA)¹⁵. Los expertos independientes deben de cumplir con ciertos requisitos, que varían dependiendo del área de investigación científica. En términos generales para ser un experto independiente debe tener las siguientes características¹⁶:

- Lectocomprensión avanzada del idioma Inglés.
- Nivel educativo mínimo de estudios universitarios de al menos 4 años.
- Experiencia profesional en el ámbito de comisiones evaluadoras científicas.
- Producción científica activa, ya sea por autoría o contribución.

La evaluación¹⁷ comienza primero de forma individual, para después formar un grupo quienes tratarán de llegar a un consenso partiendo de las evaluaciones individuales. El proceso para obtener el consenso será definido y moderado por un representante de la comisión de evaluación. Las evaluaciones utilizan el rango de puntuación de 0 a 5 en donde los umbrales mínimos dependerán de la convocatoria o si la evaluación es en una o dos etapas. Para que la propuesta pase la evaluación debe alcanzar una puntuación mínima aceptada por criterio y una puntuación mínima global.

Una vez que los proyectos fueron seleccionados para ser beneficiados por el programa, se les da seguimiento a través informes periódicos técnicos y financieros, y los entregables derivados de cada paquete de trabajo especificado dentro del programa de trabajo del proyecto. Al finalizar el proyecto, se deberá de presentar un informe técnico final en donde se expongan los resultados obtenidos y sus medios de difusión, las conclusiones y el impacto del proyecto, y un informe financiero final en donde se especifican todo el estado contable desde el inicio hasta el final de proyecto. Además de los elementos antes mencionados, los proyectos podrán ser auditados en la parte financiera, técnica o ambas.

¹⁵<https://www.aei.gob.es/evaluacion/personas-expertas>

¹⁶De acuerdo con las publicaciones de convocatorias en el diario Oficial de la Unión Europea. <https://eur-lex.europa.eu/oj/direct-access.html>

¹⁷<https://webgate.ec.europa.eu/funding-tenders-opportunities/display/OM/Admissibility+and+eligibility+check>

2.5 Evaluación en Proyectos de Ciencia Ciudadana

Los proyectos de ciencia ciudadana, vistos sin esa denotación, son una serie de procesos y tareas encaminados hacia un fin, que debe tener resultados medibles. A diferencia de los proyectos de investigación científica normal, los proyectos de ciencia ciudadana debe contemplar otro tipo de resultados, como lo es el impacto en la sociedad y la transferencia de conocimiento. En estos proyectos la participación de los ciudadanos es activa en la mayoría de los procesos y tareas [16] incluido el de evaluación. Los administradores de proyectos junto con los ciudadanos deben de formular un plan para cuantificar los avances e identificar puntos de mejora o correcciones al detectar resultados no esperados.

Una de las particularidades de los proyectos de ciencia ciudadana es que pueden ser contribuciones colegiales [95], que son investigaciones independientes en donde no participa ningún científico, solo ciudadanos, quienes planean y desarrollan cada etapa del proyecto. Considerando éste tipo de proyectos, existen portales web que proporcionan herramientas e información de utilidad para las personas que participan por primera vez o tienen poca experiencia en proyectos científicos. Uno de ellos es *The Illinios Library*¹⁸, que tiene en acceso abierto una guía de enlaces a diversos proyectos, en donde se evalúan datos de diversas disciplinas. Otra base de datos con una gran variedad de artículos y herramientas es la biblioteca disponible en [citizenscience.gov](https://www.citizenscience.gov/toolkit/resource-library)¹⁹, que es el portal oficial de ciencia ciudadana del gobierno de los Estados Unidos de Norteamérica. El portal EU-CITIZEN.SCIENCE²⁰ tiene una biblioteca con una gran variedad de documentos relacionados con la ciencia ciudadana que se realiza en la Unión Europea, todos éstos recursos están en abierto y disponibles para que cualquier persona o personas interesadas en incorporarse o crear un proyecto, puedan encontrar guías o fuentes de referencia.

Dentro de los recursos disponibles en los diferentes portales web dedicados a la ciencia ciudadana podemos encontrar documentos como la propuesta de Phillips et al. [85] quienes proporcionan una guía de usuario para evaluar el aprendizaje de los participantes en proyectos de ciencia ciudadana. En ella se menciona una estrategia general para llevar a cabo la evaluación dentro de proyectos de ciencia ciudadana, el cual consta de tres procesos principales que son: *Planear*, *Implementar* y *Compartir*. La Tabla A.1 del anexo muestra las actividades que componen a cada proceso y las tareas a realizar.

Uno de los aspectos mas importantes que se debe tomar en cuenta y que es necesario definir lo más claro posible son los objetivos del proyecto, ya que nos proporcionan su alcance y algunos de los aspectos que nos servirán como parámetros al momento de generar la estrategia de evaluación. En la guía «*Ciencia Ciudadana para todos*» de Pettibone et al. [84] menciona que los objetivos de los participantes suelen ser diferentes a los planteados por las instituciones financiadoras, y

¹⁸<https://guides.library.illinois.edu/citizen-science/evaluation>

¹⁹<https://www.citizenscience.gov/toolkit/resource-library>

²⁰<https://eu-citizen.science/resources>

algunos de los objetivos propuestos mas recurrentes por los organizadores de proyectos de ciencia ciudadana son:

- La producción científica del proyecto.
- Cómo se involucran los ciudadanos en el proceso de investigación.
- Resultados educativos.
- Mayor conciencia de las cuestiones de interés social.

Además, menciona que los proyectos de ciencia ciudadana deben considerar algunos requisitos como lo son:

- Transparencia del proyecto, se debe poder consultar todo lo relacionado con el proyecto, tareas, roles, los resultados obtenidos y su uso.
- Medidas de calidad, seguridad y privacidad de los datos que se manejan en el proyecto.
- Gestión de la información, perspectiva y sostenibilidad de los resultados a largo plazo.

2.5.1 Tipos de evaluaciones

Uno de los documentos publicado en [citizenscience.gov](https://www.citizen science.gov)²¹ como guía de evaluación es la propuesta de Drew et al.[36] que es un manual con programas y métricas de evaluación, en el que se describen cuatro tipos de evaluaciones desde un panorama general, y está contextualizado para programas en *The Partnerships for Environmental Public Health* (PEPH, Asociación para la Salud Pública Ambiental):

- *Evaluación del proceso*: Se evalúan que las actividades se estén cumpliendo en tiempo y forma, además del cumplimiento estándares y requisitos legales aplicables al proyecto.
- *Evaluación de resultados*: Se evalúa la eficacia del proyecto, y si los resultados obtenidos son los esperados o no.
- *Evaluación de impacto*: Se evalúan los resultados y contribución final, haciendo una comparativa entre dos escenarios, uno con aplicación del proyecto y otro sin él.
- *Análisis de costo-beneficio y costo-efectividad*: Se evalúan la efectividad del proyecto en cuanto a la administración de los recursos monetarios, para que se pueda replicar en otros proyectos, o analizarlo e identificar puntos de mejora y reducir costos.

²¹<https://www.citizen science.gov>

Desde el contexto de las lecciones aprendidas por parte de los participantes en proyectos de ciencia ciudadana, en las guías desarrolladas por Tweddle et al. [99] y Phillips et al. [85], mencionan tres tipos de evaluaciones:

- *Evaluación base o inicial*: Esta evaluación se realiza antes de que comience el proyecto, y sirve para determinar el estado actual de la actitud y comprensión de los participantes, también puede servir para determinar viabilidad del proyecto. El resultado obtenido servirá como base para cuantificar los cambios futuros y determinar metas y objetivos.
- *Evaluación formativa*: Esta evaluación se realiza durante el desarrollo del proyecto, la cual puede ser continua en alguna tarea del proyecto que lo requiera o al finalizar cada proceso, y sirve para conocer los puntos de mejora y la efectividad de los procesos.
- *Evaluación sumativa*: Esta evaluación se realiza al finalizar el proyecto y sirve para saber si se cumplieron con los objetivos establecidos o el efecto e impacto que se tuvo en los participantes. También proporciona información para identificar los aspectos mas destacados del proyecto y poderlos aplicar en proyectos futuros.

También Phillip et al. mencionan las fortalezas y debilidades al diseñar evaluaciones cuantitativas y cualitativas. Las evaluaciones cuantitativas son generalizables y sus resultados pueden ser representados por gráficos, los cuales son mas fácil de interpretar. Las evaluaciones cualitativas son aquellas que utilizan datos interpretativos y que dependen de la perspectiva de quien los analiza.

El tipo de evaluación que se ajuste a cada proyecto en particular, dependerán de los objetivos que se quieren alcanzar o de las métricas solicitadas por la figura benefactora, si es que el proyecto está financiado por alguna organización. Aunque, dada la naturaleza de los proyectos de ciencia ciudadana, la evaluación debe estar pensada en los beneficios a los ciudadanos y sus comunidades, es por eso que uno de los procesos que toma una gran importancia son los criterios y dimensiones que integrarán dicha evaluación, ya que éstos dos factores son los que mostrarán el impacto que el proyecto tiene a lo largo de su periodo de vida.

2.5.2 Dimensiones y Criterios de evaluación

Se mencionaron diferentes tipos de evaluaciones, e independientemente de cual se elija para aplicar en el proyecto, se deben de definir correctamente cuáles serán las dimensiones y criterios que conforman dicha evaluación, ya que serán éstos elementos cuyos datos generados nos proporcionarán los indicadores que necesitamos para saber si hay consenso en cada uno de los aspectos que lo componen (evaluación *ex-ante*), cómo se está comportando el proyecto cuando está en marcha, y los resultados que tuvo una vez finalizado (evaluación *ex-post*). El portal *–ciencia-ciudadana.es–* cuenta con un repositorio con varios contenidos de divulgación

Tabla 2.1: Dimensiones y criterios en la evaluación de proyectos de ciencia ciudadana. Fuente: [93]

DIMENSIONES	CRITERIOS DE PROCESO Y VIABILIDAD	CRITERIOS DE RESULTADOS E IMPACTOS
DIMENSIÓN CIENTÍFICA	- Objetivos científicos - Datos y sistemas - Evaluación y adaptación - Cooperación y sinergias	- Publicaciones y conocimiento científico - Nuevos campos y estructuras de investigación - Nuevas fuentes de conocimiento
DIMENSIÓN DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LOS CIUDADANOS	- Adecuación al grupo objetivo - Grado de implicación - Facilitación y comunicación - Colaboración y sinergia	- Conocimiento y actitudes - Comportamiento y propiedad - Motivación y compromiso
DIMENSIÓN SOCIAL-AMBIENTAL-ECONÓMICA	- Adecuación al grupo objetivo - Implicación activa - Colaboración y sinergias	- Impacto social - Impacto ambiental - Mayor potencial de innovación

y educación científica, uno de esos recursos son los informes del observatorio de la ciencia ciudadana²², estos documentos contienen información referente a la ciencia ciudadana que se realiza en España, guías, catálogos de proyectos y herramientas de interés. En el informe del año 2017 [93] se pone a disposición de los encargados de proyectos de ciencia ciudadana una serie de dimensiones y criterios, que puede servir como herramienta para evaluar un proyecto de ciencia ciudadana.

Esta herramienta presenta tres dimensiones principales, como se observa en la tabla 2.1 que son la parte científica del proyecto, en donde se toma en cuenta los indicadores de calidad en la investigación, así como los bibliométricos. En la parte que involucra a los ciudadanos, se toma en cuenta aspectos individuales como la implicación y la comunicación, así como los nuevos conocimientos adquiridos y su grado de inmersión en la investigación científica. La dimensión social-ambiental y económica está centrada en los beneficios que otorga el proyecto a la comunidad, su entorno y sus integrantes.

Cada uno de los criterios dispone de una serie de preguntas guía que sirven a los creadores de proyectos de ciencia ciudadana para poder elaborar sus propios instrumentos de evaluación,

²²<https://ciencia-ciudadana.es/category/informes/>

y que se adapten a su proyecto y sus indicadores de progreso e impacto. Estas preguntas se pueden observar en la tabla A.2, las cuales son una referencia para los evaluadores; cada pregunta debe de ser analizada por los encargados, para adecuarla a sus proyectos. La herramienta de evaluación antes mencionada esta basado en el trabajo presentado por Kieslinger et al. [64] quienes presentan el proceso que se realizó para generar éste banco de preguntas base, obtenidas a partir de entrevistas y talleres con expertos y personas involucradas en proyectos de ciencia ciudadana, y revisión de literatura relacionada.

Para implementar la herramienta con sus dimensiones y criterios, se debe de analizar el tipo de dato que los encargados de proyectos desean recolectar, las cuantitativas y cualitativas, y dependiendo del diseño son las herramientas que se utilizarán para la recolección de datos.

2.5.3 Herramientas de evaluación de proyectos

El diseño de la evaluación que se aplicará en el proyecto de ciencia ciudadana es de suma importancia, ya que permite la obtención de datos que nos servirán para determinar si el proyecto está teniendo el impacto y resultados esperados en los participantes, la comunidad y sus integrantes. Existen algunas herramientas que se pueden utilizar durante el proceso de evaluación, las más comunes se describen en la Tabla. A.2. Phillips et al. [85] y la guía proporcionada por Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT) [41] mencionan que se debe elegir la herramienta de evaluación que mejor se ajuste al proyecto, tomando en cuenta las ventajas y desventajas que cada una presenta al momento de la implementación.

Tanto científicos como ciudadanos deben analizar profundamente las herramientas de evaluación para elegir aquella que se adecue al proyecto, ya que los datos que se pueden obtener de cada una son diferentes. En éste análisis se debe contemplar los recursos que se tiene destinados para dicha evaluación, pues una decisión no acertada puede generar una asignación mayor de los recursos del proyecto, que puede repercutir en otros procesos del mismo, o no mostrar realmente si el proyecto está teniendo el impacto deseado. Otro de los factores determinantes es que los expertos evaluadores pueden ser en su mayoría ciudadanos con poca o nula experiencia. Este factor incorpora un proceso de enseñanza-aprendizaje, y la duración de éste proceso dependerá de que tan compleja sea la herramienta de evaluación.

En todo proyecto o actividad se debe aplicar una evaluación a procesos, que den como resultado indicadores. Estos indicadores mostrarán si se esta cumpliendo con los objetivos definidos para ese proyecto. Dentro de los eventos de divulgación científica existen indicadores que permiten clasificarlos en diferentes niveles de calidad. No todos los eventos deben evaluarse con indicadores académicos solamente, existen otros tipos de indicadores que miden el aprovechamiento y aprendizaje. Estos indicadores son de mucha utilidad para eventos de difusión relacionados con proyectos de ciencia ciudadana.

2.6 Evaluación de eventos de difusión

Las conferencias han sido los medios de difusión donde se dan a conocer ciencia y tecnología emergente o avances en las ya existentes. Las temáticas que se presentan están dirigidas, en su mayoría, a un público con preparación académica y/o experiencia en el área. Dentro de la literatura podemos encontrar algunas clasificaciones de las conferencias como la propuesta de Neves et al. [80]:

- Académicas: Son aquellas donde exponen formalmente temas de investigación, su temática es especializada y esta dirigida a la comunidad científica y académica afín al tema.
- Políticas: Son aquellas donde la temática se centra en un foro de discusión entre funcionarios públicos quienes exponen temas relacionados con la política e informes de resultados de gestión.
- De negocios: en estas, también se exponen temas de investigación pero dentro del marco del sector privado, también se abordan problemáticas y temas muy particulares dentro del ámbito empresarial.

La clasificación esta dada por el tipo de contenido y el público objetivo al que esta dirigida la conferencia. Otro tipo de clasificación es por categorías de acuerdo a la calidad de las conferencias. Las métricas de evaluación del nivel de calidad de las conferencias o congresos son [75]:

- Citas Bibliográficas: Esta métrica tiene como base las citas bibliográficas que obtuvieron las conferencias, agregando el prestigio de las revistas donde se publicaron los artículos y el factor de impacto.
- Tasa de presentación y aceptación de trabajos: El nivel de calidad esta dado por una relación inversamente proporcional entre el número de artículos recibidos y los aceptados. Una conferencia o congreso con un mayor número de artículos recibidos y de los cuales el número de aceptados es reducido, por lo general se etiqueta como de alta calidad.
- Permanencia a través del tiempo: La tradición de una conferencia o congreso esta dado la antigüedad que tiene realizándose. A mayor antigüedad, mas alto es el grado de calidad. Este indicador puede llegar a ser poco fiable, se puede tener una conferencia de reciente creación con una calidad equiparable a una con varias ediciones pasadas.
- Características del comité del programa: La calidad de una conferencia puede relacionarse con el prestigio de los miembros del comité.

Estas métricas descritas aplican solo a eventos no académicos, en la Sección 2.6.3 se describen aquellas que aplican para eventos de CC. La métrica que mas se usa como referente para la

evaluación de conferencias es el índice de citas [68][77][96], donde valores altos de impacto determinan la excelencia de una conferencia. Otros estudios como el presentado por Zhuang et al. [109] proponen como segundo factor de importancia el comité del programa, cuyos criterios a evaluar son el número de miembros en el comité, el número de publicaciones y coautorías, la cercanía y reconocimiento con la comunidad científica.

2.6.1 Evaluación de conferencias con enfoque no académico

Las conferencias que no son exclusivamente académicas, deben considerar otro tipo de indicadores que sirvan para evaluarlas. Neves et al. [80] a partir de un análisis presenta teorías y modelos utilizados en la evaluación de conferencias con enfoque distinto al académico, los cuales son:

- Teorías: El apartado teórico en su mayoría es usado para validar indicadores dentro de los marcos de evaluación, los cuales se destacan:
 - *New Learning*: Esta herramienta está enfocada en determinar la adquisición de conocimientos donde los asistentes a las conferencias acumulan nuevos aprendizajes sobre un tema científico y generan una reflexión personal al respecto.
 - *Theory of Planned Behaviour/Theory of Reasoned Action*: Esta herramienta utiliza teorías conductuales. Permite percibir las intenciones de los asistentes de las conferencias en participar en futuras ediciones de las conferencias, ya sea de la misma temática o afín.
 - *Social Cognitive Theory*: Propone una evaluación del aprendizaje basado en los procesos cognitivos, normas de comportamiento y percepción del entorno de los asistentes a las conferencias.
 - *Social Capital Theory*: Esta teoría aún no está bien definida, pero consiste en una evaluación basada en experiencias y relaciones sociales con beneficios personales y grupales.
 - *Constructivism*: Esta teoría se basa en medir el conocimiento adquirido con base a experiencias pasadas y nuevos aprendizajes.
- Modelos: Permiten recopilar información sobre el aprendizaje grupal a partir de sus interacciones.
 - *Communities of Practice*: La base del modelo es el aprendizaje colectivo cuyos miembros comparten afinidad sobre un tema o actividad y el grado de aprendizaje depende de la interacción entre ellos.
 - *NGO (non-governmental organizations) Engagement Models*: Está conformado por dos modelos que describen las interacciones en la organización de conferencias donde intervienen el gobierno y las organizaciones civiles.

Los conceptos anteriores permiten generar una gama totalmente diferente de indicadores o criterios de evaluación, que pueden aplicarse a las conferencias o congresos con otro tipo de enfoque, diferente o complementario al académico. Andersen et al. [10] propone un modelo de evaluación de conferencias centrada en los siguientes puntos:

- Relevancia: Busca saber que tan relevante para el asistente es el tema presentado en la conferencia.
- Satisfacción: Mide el grado de satisfacción general que tuvo el asistente a la conferencia.
- Aprendizaje: Mide el nivel de aprendizaje que obtuvo el asistente a los talleres impartidos en las conferencias.
- Transferencia: Mide la percepción del asistente sobre que tanto llegó a utilizar lo aprendido en las conferencias.

De acuerdo con el trabajo de Neves et al. [80] una de las herramientas utilizadas con mayor frecuencia en la evaluación de conferencias fueron las entrevistas y los cuestionarios. El fin principal era recibir retroalimentación por parte de los asistentes para identificar puntos de mejora. Una de las observaciones de Neves et al. fue que entre más detallada era la pregunta en los formularios, menor tasa de respuesta tenía por parte de los encuestados. La recolección de datos en las evaluaciones no siempre es inmediato, algunas veces se hace después de que se finalizaron las conferencias. Andersen et al. [10] mencionan que al implementar un modelo de evaluación de forma no inmediata, las valoraciones de los encuestados pueden cambiar, provocando un sesgo en los datos finales.

Existen eventos científicos públicos a gran escala, denominados festivales científicos (*Science Festival*) cuyo alcance no se limita a una comunidad o región, si no a una red de ellas. Estos eventos están diseñados para tener el máximo alcance posible, y cuyas temáticas pueden ser tan variadas como el tamaño del evento. En este tipo de eventos las propuestas de Andersen et al. y Neves et al. pueden aplicarse de mejor manera en un modelo de evaluación que aquellas cuyos criterios principales son el número de citas y el prestigio de los organizadores.

2.6.2 Actividades de Divulgación en Ciencia Ciudadana

Los festivales científicos, o ferias de la ciencia, son actividades que han cobrado mucha importancia en la actualidad ya que involucran directamente al público con la investigación científica. Una definición de Feria de la ciencia a grandes rasgos, de acuerdo al «Libro Verde Ferias de la Ciencia» [33], es el espacio donde existe un intercambio de conocimiento entre la ciudadanía e investigadores, se exponen trabajos académicos y proyectos de investigación cuyos participantes pueden ser estudiantes y docentes de diferentes niveles educativos, integrantes de una asociación civil, o científicos de un centro de investigación.

De acuerdo con Bultitude et al. [26] un *Festival Científico* cuenta con las siguientes características:

- La temática está centrada en la ciencia, tecnología y sus ramificaciones.
- El alcance está orientado al público en general.
- La duración del evento tiene un límite y se repite generalmente con una frecuencia de uno o dos años.
- Las temáticas de los eventos tienen elementos relacionados entre sí.

Jensen y Buckley [59] mencionan las actividades que suelen presentarse en las ferias científicas las cuales están organizadas para promover el pensamiento científico, el acercamiento entre el público y los investigadores, y la participación activa del público en debates con investigadores. Las actividades más recurrentes son:

- Presentaciones al aire libre y quioscos científicos.
- Conferencias científicas.
- Espacios abiertos de debate y diálogo.
- Exposiciones y actividades organizadas por algún museo local.
- Talleres y laboratorios.
- Demostraciones y espectáculos científicos.
- Actividades escolares al aire libre.

En el «*Libro Verde Ferias de la Ciencia*» se establecen los objetivos primarios que se deben contemplar cuando se organiza una feria, los cuales son:

- Aumentar el número de vocaciones científicas entre el alumnado.
- Generar talento.
- Despertar el gusto por el conocimiento científico.
- Incrementar la cultura científica de la ciudadanía.
- Fomentar la Investigación y la Innovación Responsable.
- Generar conocimiento.
- Involucrar a los agentes del sistema nacional de investigación.
- Dar a conocer y acercar la ciencia, la tecnología y la innovación.
- Ampliar los horizontes educativos.

- Ofrecer una plataforma de exposición.
- Fortalecer las relaciones entre ciencia y tecnología.
- Estimular el aspecto lúdico de la ciencia.

El «*Libro Verde Ferias de la Ciencia*» proporciona una guía base de que y cómo evaluar las ferias de la ciencia. De acuerdo a este documento es de gran importancia definir de manera clara los objetivos que tiene el evento, ya que de ello depende el tipo de evaluación que se va aplicar. De forma muy general, se tienen cuatro niveles de impacto como se observa en la Figura. 2.5. Los niveles de mayor peso es el de reacción y conciencia, conocimiento y aprendizaje, ya que son aquellos que reflejan el beneficio directo en la ciudadanía.

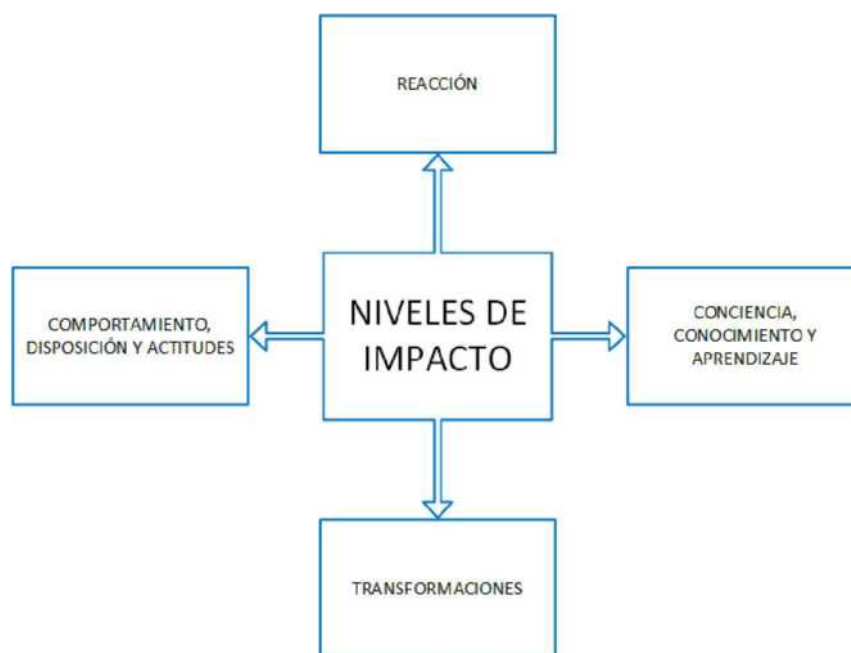


Figura 2.5: Niveles de impacto de las Ferias de la Ciencia. Fuente: [33]

2.6.3 Evaluación de actividades de Divulgación en Ciencia Ciudadana

También el libro verde proporciona una guía de evaluación que pueden seguir los organizadores de ferias de la ciencia. Se tienen dos enfoques, uno cuantitativo y otro cualitativo. Con el enfoque cuantitativo, se mide que tan visible es el evento en la comunidad o mas allá, si la difusión del mismo fue la adecuada y si el volumen de asistentes fue el esperado. El enfoque cualitativo permiten recolectar datos como el nivel de satisfacción, expectativas y aprendizaje. En la Figura. 2.6, se observan elementos evaluables sugeridos para ambos enfoques.

En el documento se observa que, como ya se había mencionado en el capítulo I, la herramienta más recurrente en el proceso de evaluación es el cuestionario, seguido de las entrevistas. Dentro

de la literatura podemos encontrar casos documentados sobre evaluaciones hechas a ferias de la ciencia donde se muestra el tipo de evaluación aplicado y sus resultados. Documentos como los informes de la Noche Europea de los Investigadores e Investigadoras Andalucía 2017 [1] y Madrid 2019 [69] nos muestran la metodología aplicada para evaluar éstos eventos. Estas metodologías son muy similares a las sugerencias presentadas en el libro verde Ferias de la Ciencia. Existen otros documentos que además de recopilar datos de evaluaciones recientes, registran experiencias obtenidas de diferentes eventos a través de un periodo de tiempo. Un ejemplo es el análisis realizado por Mazzitelli et al.[76]. Este análisis abarca diferentes eventos y actividades de la Noche Europea de los Investigadores desde 2006 hasta el 2017. En este artículo se observa un crecimiento en el nivel de importancia que tienen herramientas tecnológicas como los sitios web y las redes sociales.

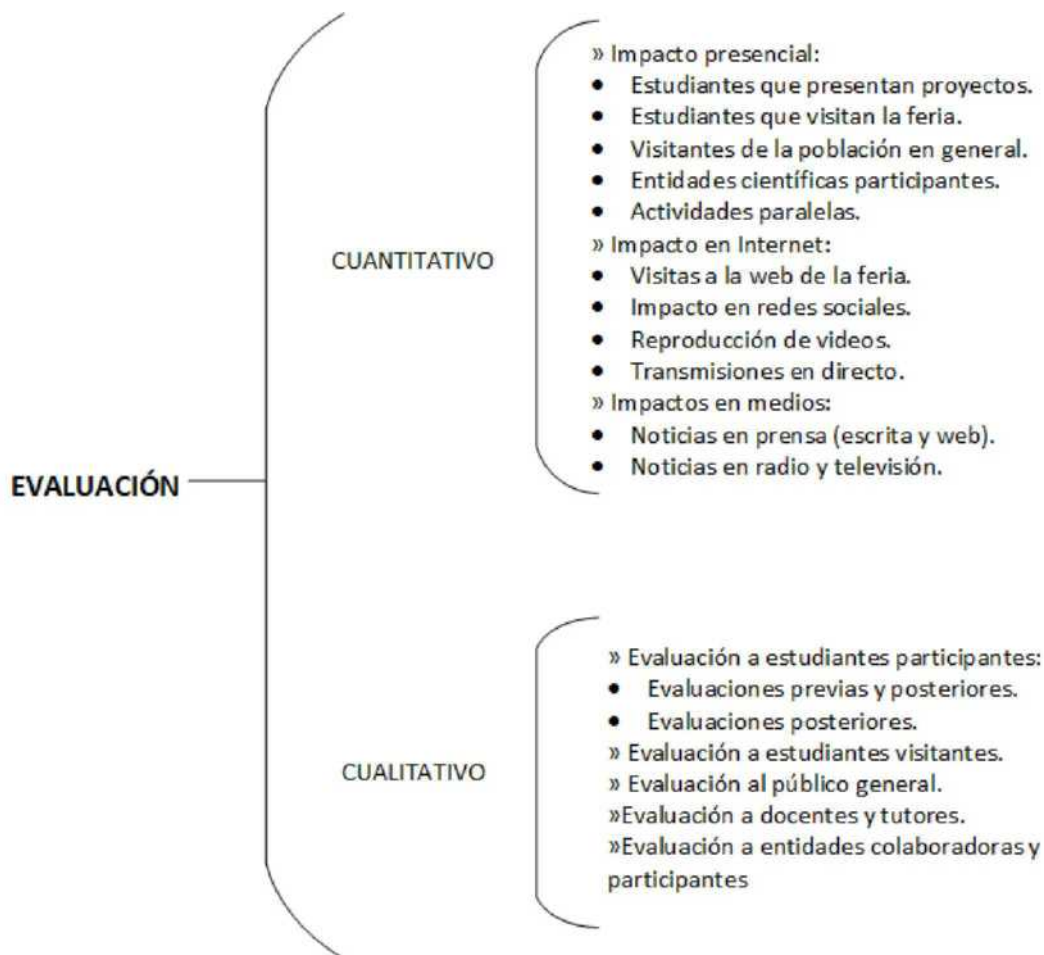


Figura 2.6: Evaluación de las ferias por enfoque Cualitativo y Cuantitativo. Fuente: [33]

El aplicar una herramienta de evaluación a eventos de divulgación se vuelve complicado por medios impresos, porque el número de asistentes puede llegar a sobrepasar el recurso humano

destinado para esa labor. Ante tal reto se tienen disponibles opciones tecnológicas, que pueden tener un alcance mucho mayor con menor esfuerzo y recursos. Las opciones son tan diversas como la oferta y demanda que se puede observar al realizar una búsqueda en Internet.

2.7 Herramientas tecnológicas aplicadas en conferencias

En Internet se pueden encontrar un gran número de servicios con los que se pueden administrar eventos, todos cuentan con un módulo dedicado a la evaluación o aplicación de encuestas. En su mayoría, el apartado para la evaluación de un evento está formado por formularios, algunos de ellos tienen la posibilidad de ser personalizados y otros se crean a partir de plantillas. La Tabla 2.7 describe solo algunas de esas opciones que están disponibles en Internet. Algunas de estos servicios ofrecen herramientas gratuitas, pero son limitadas en cuanto a personalización o elementos funcionales, en la gran mayoría se ofrecen las soluciones completas con costo por suscripción o pago único.

Tabla 2.2: Aplicaciones y servicios web aplicados a conferencias. Elaboración propia

Herramienta	Características	Costos
wooclap™	Es un servicio que integra un conjunto de herramientas para eventos presenciales y en línea. Uno de los servicios que presta es la creación y aplicación de cuestionarios. Las preguntas pueden personalizarse o se puede aplicar plantillas y las respuestas pueden ser de opción única, múltiple o escalar <i>Likert</i> .	Cuenta con una versión gratuita, pero está limitada a un máximo de participantes y solo puede aplicar dos preguntas. Otras funciones tienen un costo.
VoxVote™	Es un servicio orientado principalmente a la aplicación de cuestionarios. Permite el diseño personalizado de encuestas y votaciones, además cuenta con plantillas predefinidas. El servicio es multiplataforma y tiene la opción de generar informes a partir de los datos recolectados. Permite un promedio ponderado a partir de los votos de los participantes.	La versión gratuita solo permite evaluar cinco eventos y realizar diez preguntas. El número de respuestas es ilimitado y los resultados de las evaluaciones son públicas. Otras funciones entran en planes de pago.

(Viene de la página anterior)

guidebook™	El servicio permite la comunicación entre los asistentes y presentadores del evento. Funciona como centro de notificaciones para mostrar actualizaciones y banners publicitarios. Permite aplicar encuestas a los asistentes, las encuestas puede crearse a partir de plantillas. Se pueden personalizar las apps y el panel de administración del evento	No tiene versión gratuita, el costo es simbólico para el servicio básico
Whova™	El servicio permite realizar encuestas sobre los eventos en tiempo real. Las encuestas pueden hacerse a partir de plantillas, la personalización de los cuestionarios es reducido. Recopila datos a través de redes sociales. Genera informes detallados sobre la organización del evento	Tiene una versión de prueba limitada.

(Fin de la tabla)

Al revisar los servicios web que ofrecen soluciones para evaluar eventos, se observa que incorporan plantillas prediseñadas para medir la satisfacción de los asistentes y la calidad del evento, estas encuestas son muy generalizadas. El contenido de las plantillas son muy similares entre si. Las plantillas de encuestas que se pueden encontrar en un servicio web se observan en la Tabla. A.2.

Las respuestas para los cuestionarios prediseñados no varían mucho, generalmente se utilizan los mismos valores y la única variantes es la presentación. En los cuestionarios de la Tabla. A.2 se observa que la mayoría de las respuestas están representadas con una escala Likert , donde el valor están en orden de menor a mayor nivel. Según Allen y Seaman [8], la elección del número de niveles esta relacionado con el tipo de respuesta esperado. Si se requiere forzar la elección a uno de los extremos los niveles deben ser número par en el caso contrario los niveles deben ser número impares, agregando en la parte central un nivel que represente neutralidad.

2.8 Conclusiones

La CC promueve la participación de los ciudadanos en la generación de conocimiento, aportando formas diferentes de abordar la ciencia, desde una perspectiva diferente a las personas con formación científica. Aún falta mucho para unificar conceptos y procesos de la ciencia ciudadana, ya que aún depende el contexto, e incluso la ubicación geográfica, para definir ciertos aspectos en la CC. Existen muchas herramientas que ayudan a las ciudadanos y científicos a emprender un proyecto en conjunto que ayude a una comunidad o el impacto del mismo sea a gran escala. Es de gran importancia que los gobiernos de diferentes países impulsen los proyectos en donde los miembros de sus comunidades generen ciencia, y que aporten las herramientas necesarias para los proyectos nuevos y los ya existentes. Es necesario empezar a establecer algunos estándares que permitan facilitar la colaboración internacional y que los proyectos puedan estar compuestos por colaboradores de diferentes regiones, y que no haya problemas de compatibilidad o integración. El proceso de evaluación es una actividad muy importante, pues es el referente que muestra cómo se está comportando en proyecto en cada una de sus etapas. La evaluación de un proyecto genera información que puede utilizarse como evidencia de los resultados que se van obteniendo. Al ser los proyectos de ciencia ciudadana orquestados por personas con poca experiencia en investigación o gestión de proyectos poner en acceso abierto herramientas de evaluación disponibles en sitios web son de gran ayuda. A pesar de que no existe un estándar o un método unificado en los procesos y ejecución de proyectos de CC, si hay una gran variedad de documentación de proyectos que pueden ser similares, proporcionando marcos referencia. Al encontrarnos con una enorme variedad de proyectos con diversas características y objetivos, es complicado el generar un estándar, pero es posible generar propuestas como la de Kieslinger et al. [64] que pueda ser adaptable y cuyo uso se pueda generalizar. Al ser los ciudadanos participantes activos en la evaluación la herramienta que utilicen para realizar ese proceso, debe ser fácil de usar y adaptar, y que su reutilización genere un banco de experiencias para todos aquellos que recién se incorporan en proyectos de Ciencia Ciudadana.

Los festivales científicos proporcionan un espacio idóneo para divulgar proyectos de ciencia ciudadana. Aquellas personas que dirigen proyectos de ciencia ciudadana deben implementar modelos de evaluación donde se consideren las experiencias obtenidas de otros. Se tiene el conocimiento de los pros y contras que tienen cada una de las herramientas (como se mencionó anteriormente), por lo que se debe optar por modelos y/o herramientas no convencionales para obtener datos un poco más fiables. Existen modelos de toma de decisiones difusos que operan con lenguaje natural e incertidumbre, estos modelos pueden ser una opción viable para modelar herramientas de evaluación. Estos modelos basados en computación con palabras y lógica difusa han sido probados con éxito en entornos donde existe un gran número de participantes, por lo que pueden aplicarse en la evaluación de eventos a gran escala.

Capítulo 3

Análisis de la Literatura en el uso de la Toma de Decisiones

Para seleccionar la mejor opción de entre un conjunto de alternativas se debe realizar un proceso de consenso. Este tipo de actividad se realiza con un número de expertos o evaluadores que emitan su opinión al respecto. El número de evaluadores debe ser acorde al problema de toma de decisiones, por que no es lo mismo evaluar un candidato para una puesto laboral, que un proyecto comunitario donde se tienen muchas variables con diferentes niveles de importancia. La toma de decisiones grupales y a gran escala, contemplan una gran diversidad de evaluadores o expertos, los cuales pueden estar o no familiarizados con un proceso de toma de decisiones. Dado los niveles de complejidad que puede tener un proceso de toma de decisiones, resulta muy factible utilizar modelos que incluyan variables lingüísticas que permiten valorar con lenguaje natural. Las escalas con términos lingüísticos pueden utilizarse con diversos niveles de detalle, y estos niveles estarán definidos de acuerdo con el tipo de evaluadores que participarán. El modelo *Extended Linguistic Hierarchies* permite utilizar diferentes niveles en un solo proceso de evaluación o toma de decisiones, unificando los datos de entrada para poder procesarlos y teniendo una salida igual a los datos de entrada. Modelos como *Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets* y 2-tuplas permiten trabajar con incertidumbre y duda sin que esto conlleve una pérdida de información al momento de realizar cálculos.

La estructura de este capítulo es la siguiente. En la Sección 3.1 se abordan los diferentes conceptos relacionados con la toma de decisiones, las tareas que lo componen y su clasificación de acuerdo al número de expertos. Sección 3.2 se explica el concepto de variable lingüística, el modelo computacional 2-tuplas y los operadores de agregación de valores lingüísticos. La Sección 3.3 contiene la definición de granularidad y su aplicación para representar información vaga. En la Sección 3.4 se explican los modelos lingüísticos con incertidumbre, sus operadores de agregación y su representación como intervalo 2-tuplas. La Sección 3.5 describe el modelo MULTIMOORA que a partir de índices con valores adimensionales se genera un ranking de alternativas. La

Sección 3.6 muestra una adaptación del modelo MULTIMOORA para ser implementado con valores con incertidumbre, se mencionan los métodos más utilizados para ordenar los índices del mejor al peor valorado, y finalmente en la Sección 3.7 se redactan las conclusiones del capítulo, resaltando varios puntos importantes, los cuales fueron considerados para ser parte del modelo propuesto en este trabajo de tesis.

3.1 El paradigma de la toma de decisión

Una característica que se puede observar en un consenso entre expertos es que *a priori* analizan las alternativas utilizando el lenguaje natural, antes que cualquier escala definida como *Likert* [58]. La computación con palabras [4] es una metodología que permite trabajar con información imprecisa derivada de proposiciones expresadas en lenguaje natural. Como se puede observar en la Figura 3.1, el proceso básico de un problema de toma de decisiones consta de dos fases [89]: la fase de agregación donde se procesan las evaluaciones individuales para obtener un valor colectivo para cada alternativa y la fase de explotación contiene el proceso para seleccionar la mejor opción del conjunto de alternativas.



Figura 3.1: Proceso base para la resolución de problemas de Toma de Decisión

Al incorporar el lenguaje natural en el proceso de toma de decisiones, cambia el proceso anterior, como se muestra en la Figura 3.2. Para resolver un problema de Toma de Decisiones con enfoque Lingüístico se utiliza el esquema propuesto por Herrera y Herrera-Viedma [52], el cual consiste en la realización de las siguientes tareas para la elección de la mejor alternativa:

1. Definición del problema de toma de decisiones: En este paso se define el grupo de expertos que participarán en el proceso de toma de decisiones. Los expertos pueden ser homogéneos en experiencia y conocimiento del área, o completamente heterogéneos quienes proporcionarán su percepción u opinión sobre las alternativas. Dentro de esta misma fase se especifican las dimensiones y criterios que se utilizarán para valorar las alternativas,

además se determina si todo el conjunto de criterios tendrá el mismo nivel de importancia o se decidirá el nivel de relevancia de cada uno.

2. Elección de los términos lingüísticos: En esta fase, se definirán los conjuntos de etiquetas lingüísticas (se detalla en la Sección 3.2.1) que utilizarán los expertos para emitir sus valoraciones. Estas escalas estarán determinadas de acuerdo a las características de los expertos. Los términos lingüísticos tendrán un orden y estarán distribuidos simétricamente, o no, entre el intervalo $[0, 1]$.
3. Recolección de las preferencias individuales: En esta fase se realiza la recolección de las preferencias individuales expresadas con términos lingüísticos de los expertos con respecto a cada una de las alternativas. Ésta información será procesada para obtener el conjunto solución de las alternativas.
4. Elección del operador de Agregación: En esta fase se define el operador de agregación, el cual será elegido de acuerdo al enfoque con el cual se realizarán los cálculos. Se tienen dos enfoques [74], el enfoque de aproximación donde se utilizan las funciones de membresía asociados con los términos lingüísticos, o el enfoque simbólico en el cual se realizan los cálculos directamente con los términos lingüísticos. Los operadores de agregación aplicados en enfoques simbólicos se explican en la Sección 3.2.3. En esta fase se tiene un paso extra que consiste en transformar las expresiones lingüísticas proporcionada por los expertos en valores 2-tuplas, para no perder información al momento de realizar cálculos. Éste modelo se explica a detalle en la Sección 3.2.2.
5. Elección de las mejores alternativas: Este proceso se sigue para obtener el conjunto solución al problema de toma de decisiones y consta de dos fases:
 - Fase de Agregación: En esta fase se aplica el operador de agregación electo que dará como resultado una valoración colectiva. La valoración colectiva puede darse con un operador ponderado o no.
 - Fase de Explotación: En esta fase se realiza un método de ordenación de las alternativas de acuerdo a las valoraciones colectivas, obteniendo un vector con las mejores y peores alternativas valoradas. El orden de las alternativas estará dado por el orden de los términos lingüísticos, teniendo como resultado el conjunto solución del problema de toma de decisiones.

Dentro del proceso de selección de la mejor alternativa, siempre existe incertidumbre y vacilación por parte de uno o varios expertos. Los métodos de solución de problemas de toma de decisiones que incorporan modelos con incertidumbre son los más adecuados, ya que éste tipo de factores siempre están presentes en el proceso de consenso.

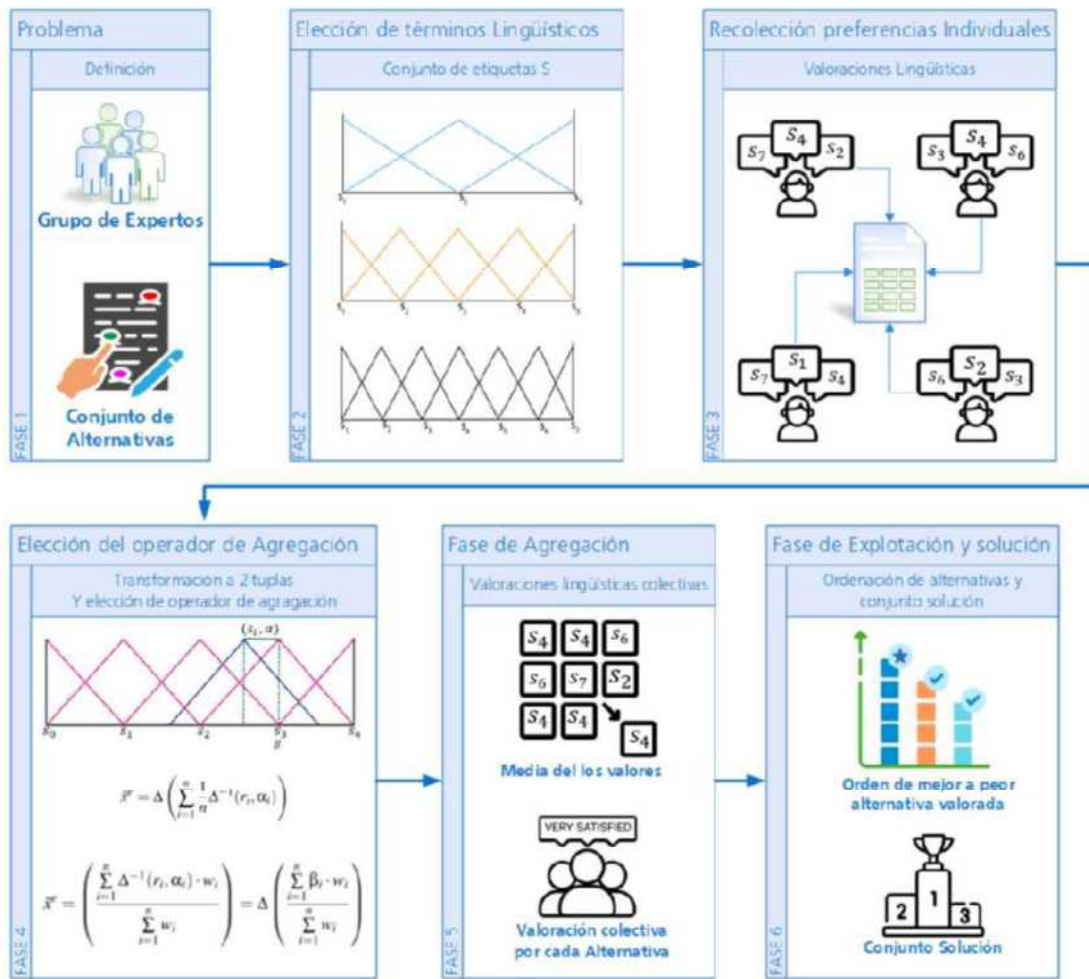


Figura 3.2: Proceso para la resolución de problemas de Toma de Decisión con enfoque lingüístico

3.1.1 Toma de decisiones a gran escala

Dentro de la toma de decisiones existen situaciones donde participan varios expertos o evaluadores, porque el impacto de la solución tiene un gran alcance. La toma de decisiones grupales (*Group Decision Making*, GDM) [63] permite obtener la mejor representación de una opinión colectiva. En este contexto se define un conjunto de alternativas que deberán ser valorados bajo ciertos criterios agrupados en dimensiones. El proceso de evaluación puede involucrar a personas diversas (a veces expertos en el problema planteado, a veces no).

Para realizar una valoración donde los participantes puedan expresar de mejor manera su opinión pueden utilizarse modelos lingüísticos. Los modelos de toma de decisiones lingüísticos operan con variables [3] que utilizan palabras u oraciones en lugar de números cuando se asigna una valoración a un criterio. Los conjuntos difusos [11] son utilizados para la representación de valoraciones imprecisas, donde la opinión de un experto no está claramente definida. El uso de

variables lingüísticas permite que la evaluación de una alternativa sea lo mas cercana al juicio del ser humano. Los cálculos que se realizan en entornos difusos tienden a perder información en alguna parte del proceso, es por ello modelos computacionales como la representación 2-tuplas [38] permiten evitar en lo posible esa pérdida.

Definición 1. Un problema de toma de decisiones grupales se puede definir formalmente como [62] [66]: Un grupo de m expertos $E = e_1, e_2, \dots, e_m$ que pueden o no tener diferente nivel de preparación, experiencia o aptitudes. El problema de toma de decisión está integrado por n alternativas o soluciones posibles expresadas como $X = x_1, x_2, \dots, x_n$. Cada experto aportará información para lograr una solución en común.

De acuerdo con Palomares en [82] los problemas de toma de decisiones con incertidumbre se pueden agrupar de acuerdo a las siguientes dos características:

Número de participantes: *Cuando en el problema de decisión interviene un solo participante o experto, tenemos un problema de Toma de Decisiones Individual. Por el contrario, cuando en el problema de decisión intervienen varios expertos juntos, tenemos un problema de Toma de Decisiones en Grupo.*

Número de criterios de evaluación: *algunos problemas requieren evaluar cada alternativa “en su conjunto”, es decir, en función de un solo atributo o criterio de evaluación (toma de decisiones de un solo criterio o de un solo atributo), mientras que otros problemas consideran que es necesario evaluar las alternativas en términos de criterios de evaluación múltiples, a veces contradictorios (problemas de toma de decisiones de atributos múltiples o criterios múltiples).*

Uno de los entornos donde existen diversas áreas de oportunidad es la aplicación de los problemas de toma de decisiones a gran escala. Ya que se obtiene un volumen importante de información. Como se observa en la Figura. 3.3 un problema de toma de decisiones se vuelve a gran escala cuando el número de expertos (m) participantes es ≥ 20 [34]. La diferencia entre un *Large-Scale Decision Making* (LSDM) y un *Large-Scale Group Decision Making* (LSGDM) es de que forma se evalúan las alternativas.

Existen situaciones donde el proceso de toma de decisión debe modificarse, ya sea por eventos inesperados u obtención de nueva información relevante. Campanella y Ribeiro propusieron el modelo (*Dynamic multiple-criteria decision making*) [27] el cual aplica un proceso dinámico en el que las alternativas cambian en cada iteración dentro de un procedimiento de consenso. Las alternativas en éste modelo pueden pertenecer a uno o dos conjuntos, un histórico y uno actual. La evaluación final se realiza a partir de la información de valoraciones del conjunto histórico y el actual.

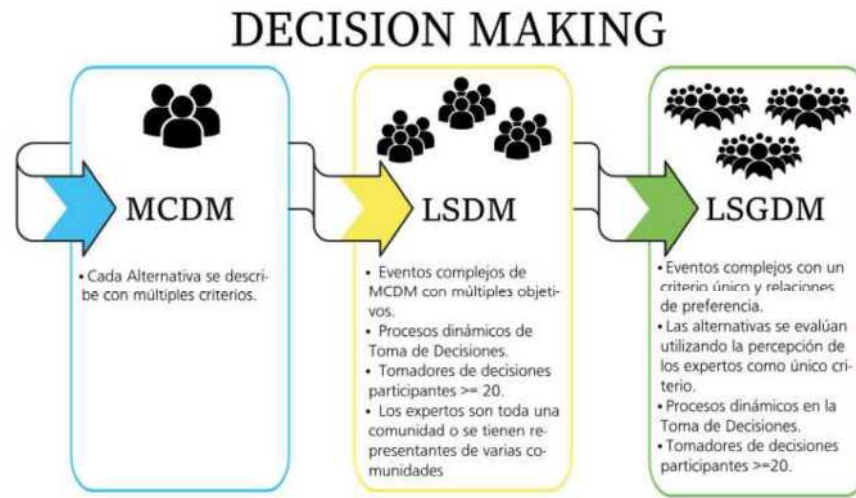


Figura 3.3: Clasificación de la Toma de decisiones de acuerdo al número de expertos. Fuente:[34]

Dentro del proceso el modelo de toma de decisiones dinámico multi-criterio, de acuerdo con Morente-Molinera et al. [78] los eventos que pueden ocurrir durante las iteraciones de consenso es que los expertos abandonen el proceso, la incorporación de uno o varios expertos más y la modificación de las alternativas y/o criterios. Algunos de los motivos por los cuales las alternativas o criterios pueden cambiar es su inviabilidad, la definición no es clara para los evaluadores o la aparición de nuevos al momento de analizar las opciones [50]. Este proceso de modificación se puede observar en la Figura.3.4.

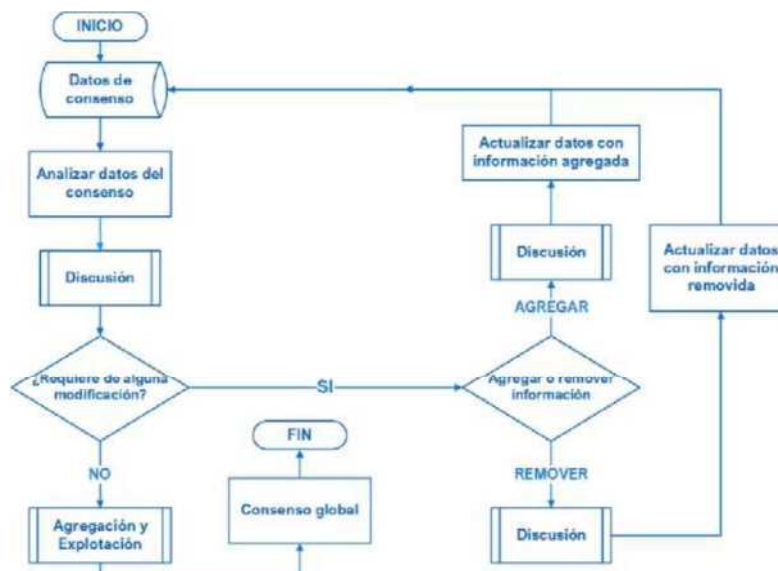


Figura 3.4: Esquema del proceso de modificación de criterios o alternativas en entornos dinámicos

Dentro del proceso de selección de la mejor alternativa, siempre existe incertidumbre y vacilación por parte de uno o varios expertos. Los métodos de solución de problemas de toma de decisiones que incorporan modelos con incertidumbre parecen ser los más adecuados, dado que éste tipo de factores siempre están presentes en el mundo real.

3.2 Modelos computacionales lingüísticos

3.2.1 El concepto de variable lingüística

Muchas de las expresiones que utilizamos para cuantificar están compuestas por palabras en lenguaje natural. Cuando nos referimos a un elemento que requiere ser medido, una variable en un contexto formal, utilizamos palabras en lugar de números. Un ejemplo de la vida cotidiana es cuando se pregunta por qué cantidad de agua quiere una persona, difícilmente alguien diría algo como 50ml o un $3/4$ del vaso. En casos como este lo más normal, por así decirlo, es que una persona utilice expresiones como poca agua, mucha agua, menos de la mitad, más de la mitad o lleno, estas frases por sí solas no expresan de forma implícita o explícita valores numéricos que expresen un grado de exactitud en la cantidad del líquido. La representación gráfica de la variable cantidad como variable lingüística se puede observar en la Figura. 3.5; se observa como las expresiones en lenguaje natural pueden representar un rango de valores dentro de la variable CANTIDAD.

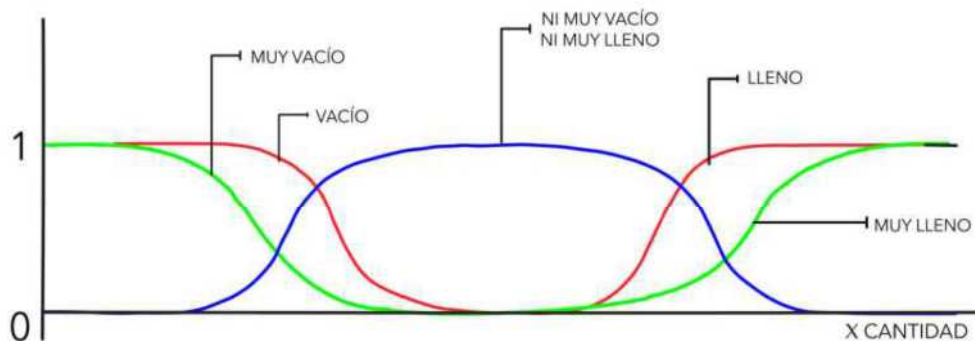


Figura 3.5: Representación gráfica de la variable lingüística cantidad.

Para trabajar en un entorno real donde los expertos, o participantes en una toma de decisiones, expresan valoraciones con incertidumbre y vacilación, es recomendable emplear una representación con variables lingüísticas. Las variables lingüísticas favorecen la expresión de una opinión con palabras en lugar de con números. Una variable lingüística se define de la siguiente forma [3]:

Definición 2. Una variable lingüística está conformada por una quintupla $(H, T(H), U, G, M)$, donde H es el nombre de la variable; $T(H)$ (o simplemente T) representa el conjunto de términos

o valores lingüísticos de H siendo cada valor una variable difusa notada como X generalmente, y que se extiende en un universo discurso U , que está asociado con la variable base u ; G es una regla sintáctica (generalmente toma forma de gramática) para generar los nombres de los valores de H ; M es una regla semántica para asociar el significado $M(X)$ a cada elemento de H , que es un subconjunto difuso de U .

3.2.2 Modelo lingüístico computacional 2-Tuplas

Herrera y Martínez en [38] plantean el modelo de representación 2-tuplas, con el cual se trata de mitigar la pérdida de información al momento de realizar cálculos con términos lingüísticos. Cuando se realizan cálculos con etiquetas lingüísticas, el resultado se expresa tomando la etiqueta mas cercana (como un redondeo), en un entorno a gran escala, estos valores perdidos pueden significar que el resultado no sea el esperado o se aleje de la percepción colectiva. El modelo 2-tuplas es utilizado para combinar información numérica y lingüística en la fase de agregación de problemas de toma de decisión como se explica en [55].

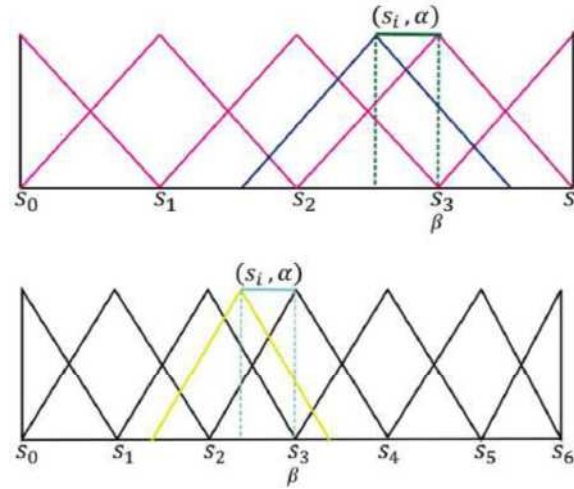


Figura 3.6: Modelo lingüístico de representación 2-tuplas

Dado el conjunto de términos $S^g = \{s_1, s_2, \dots, s_g\}$ de granularidad g , el elemento 2-tuplas [38] es el par (s_ℓ, α) del producto cartesiano $S^g \times [-0.5, 0.5]$ que se utiliza como representación de un término lingüístico válido para el cálculo en un procedimiento.

Teorema 1. Existe una biyección

$$\begin{aligned} \Delta_g^{-1} : S^g \times [-0.5, 0.5] &\rightarrow [0.5, g + 0.5) \\ (s_\ell, \alpha) &\mapsto \Delta^{-1}(s_\ell, \alpha) = \ell + \alpha, \end{aligned}$$

cuya función inversa es:

$$\begin{aligned}\Delta_g : [0.5, g + 0.5) &\rightarrow S^g \times [-0.5, 0.5) \\ \beta &\mapsto (s_{E(\beta)+0.5}, \beta - E(\beta + 0.5))\end{aligned}$$

(donde $E(\beta)$ representa la parte entera del número real β).

En realidad, no estamos interesados en la biyección anterior, sino en su restricción al intervalo $[1, g]$ (observe que este intervalo contiene g valores enteros $\{1, 2, \dots, g\}$), cuya representación es:

$$\Omega_g = \{ (s_\ell, \alpha) \in S^g \times [-0.5, 0.5) : 1 \leq \ell + \alpha \leq g \}.$$

De este modo, sólo consideraremos las biyecciones:

$$\Delta_g^{-1}|_{\Omega_g} : \Omega_g \rightarrow [1, g] \quad \text{y} \quad \Delta_g|_{[1, g]} : [1, g] \rightarrow \Omega_g. \quad (3.1)$$

El primero de ellos permite transformar un conjunto de elementos 2-tuplas en valores reales con los que se puede operar, y el segundo permite volver al valor anterior de las 2-tuplas. De este modo, dado un conjunto con Q 2-tuplas:

$$\{ (s_{\ell_1}, \alpha_1), (s_{\ell_2}, \alpha_2), \dots, (s_{\ell_Q}, \alpha_Q) \} \subseteq S^g \times [-0.5, 0.5)$$

y un vector con Q ponderaciones $(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_Q) \in [0, +\infty)^Q$ tal que $\omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_Q > 0$, su valor 2-tuplas ponderado es:

$$\Delta_g \left(\frac{1}{\omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_Q} \sum_{q=1}^Q \omega_q \Delta_g^{-1}(s_{\ell_q}, \alpha_q) \right) \in \Lambda_g \subset S^g \times [-0.5, 0.5).$$

Al igual que en el conjunto de elementos 2-tuplas, el orden de los elementos del vector de pesos es considerablemente importante. Al realizar un cambio en los elementos 2-tuplas o en los pesos, puede generar un cambio en los valores 2-tuplas ponderados.

Por lo general, los pesos se toman *normalizados*, de esta forma se satisface que $\omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_Q = 1$. Si éste no es el caso, cualquier vector de pesos $(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_Q) \in [0, +\infty)^Q$ se puede transformar en un vector normalizado $(\omega'_1, \omega'_2, \dots, \omega'_Q) \in [0, +\infty)^Q$ teniendo en cuenta que:

$$\omega'_q = \frac{\omega_q}{\omega_1 + \omega_2 + \dots + \omega_Q} \quad \text{para todo } q \in [Q].$$

Comparación de información 2-tuplas

Para comparar información lingüística representada con el modelo 2-tuplas se debe realizar de acuerdo a un orden lexicográfico de la siguiente forma [38]:

Sean (s_k, α_1) y (s_l, α_2) términos 2-tuplas, por lo tanto:

- si $k < l$ entonces (s_k, α_1) es más pequeño que (s_l, α_2)

■ si $k = l$ entonces:

1. Si $a_1 = a_2$ entonces (s_k, α_1) y (s_l, α_2) representan la misma información.
2. Si $a_1 < a_2$ entonces (s_k, α_1) es más pequeño que (s_l, α_2) .
3. Si $a_1 > a_2$ entonces (s_k, α_1) es más grande que (s_l, α_2) .

3.2.3 Operadores de agregación

En el proceso de agregación se obtiene un valor colectivo sobre una alternativa, este valor debe estar representado igual que los valores de entrada; es decir si es un valor numérico, el resultado del colectivo también debe serlo. Para realizar este proceso existen diversos operadores que se adaptan de acuerdo a los valores de entrada, para la representación lingüística y 2-tuplas se tienen los siguientes:

- La media aritmética es el operador de agregación clásico y sencillo de implementar, su variante como operador para el modelo lingüístico 2-tuplas se define de la siguiente forma [38]:

Definición 3. Sea $x = \{(r_1, \alpha_1), \dots, (r_n, \alpha_n)\}$ un conjunto de 2-tuplas, la media aritmética $\bar{x}^e$ se calcula de la siguiente forma:

$$\bar{x}^e = \Delta \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \Delta^{-1}(r_i, \alpha_i) \right) \quad (3.2)$$

- El operador de media ponderado (*Weighted Average Operator*) [6] tiene en cuenta el nivel de importancia de cada uno de los valores a los que se le asigna un peso w_i para denotar la importancia de cada uno. Éste operador adaptado al modelo 2-tuplas se define de la siguiente forma [38]:

Definición 4. Sea $x = \{(r_1, \alpha_1), \dots, (r_n, \alpha_n)\}$ un conjunto de 2-tuplas y $W = \{w_1, \dots, w_n\}$ un vector asociado a los pesos. La media ponderada 2-tuplas se define como:

$$\bar{x}^e = \left(\frac{\sum_{i=1}^n \Delta^{-1}(r_i, \alpha_i) \cdot w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \right) = \Delta \left(\frac{\sum_{i=1}^n \beta_i \cdot w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \right) \quad (3.3)$$

- El operador de agregación ordenado ponderado (*Ordered Weighted Aggregation*, OWA) propuesto por Yager [103] define el peso de acuerdo a una posición determinada. El operador F^e OWA para el modelo lingüístico 2-tuplas se define como:

Definición 5. Sea $A = \{(r_1, \alpha_1), \dots, (r_n, \alpha_n)\}$ un conjunto 2-tuplas y $W = (w_1, \dots, w_n)$ un vector de pesos asociado que cumpla con las siguientes características: $w_i \in [0, 1]$, $\sum w_i = 2$. El operador F^e OWA 2-tuplas lingüístico se calcula de la siguiente forma:

$$F^e((r_1, \alpha_1), \dots, (r_n, \alpha_n)) = \Delta \left(\sum_{j=1}^n w_j \cdot \beta_j^* \right) \quad (3.4)$$

Donde β_j^* es el j -ésimo valor mayor de β_i .

3.3 Multigranularidad lingüística

Una variable lingüística no es tan precisa como un valor numérico pero puede utilizarse para expresar de manera aproximada un valor cualitativo. De acuerdo con Herrera et al. [54]

La incertidumbre puede representarse por niveles, o granularidad, donde cada nivel estará compuesto por un conjunto de elementos. El número de términos lingüísticos T determinará la granularidad de la incertidumbre. En cada nivel se puede tener términos lingüísticos, donde $S = \{s_g\}, g \in H = \{0, \dots, T\}$ es un conjunto finito de términos ordenados en $[0, 1]$. Cualquier etiqueta s_j representa un valor posible para una variable lingüística real, es decir, una propiedad vaga de restricción en $[0, 1]$.

La Figura. 3.7 se puede observar los conjuntos que integran a cada nivel. En nivel inferior de la jerarquía representará la granularidad más fina, que son los valores numéricos. Por lo tanto, de acuerdo con Yager y Herrera et al., una variable lingüística toma su valor de un conjunto finito de valores elegibles, los cuales están definidos por el conjunto de términos lingüísticos $S^g = \{s_1, \dots, s_g\}$, donde g es la cardinalidad de S , siendo por lo general un valor impar. El conjunto de términos lingüísticos se interpreta como una estructura distribuida uniformemente en una escala ordenada [104]. Cuantos más términos en S se tenga, la valoración tiende a ser más precisa, aunque un número muy elevado de términos puede provocar dudas en los expertos. Los términos lingüísticos $s_k \in S$ pueden ser manipulados operacionalmente cuando se representan con el modelo 2-tuplas [53]. Como ejemplo de un nivel de granularidad tenemos la siguiente expresión equivale a un conjunto de siete términos lingüísticos:

$$S^7 = \{s_0 = nada, s_1 = muy poco, s_2 = regular, s_3 = normal, s_4 = algo, s_5 = bastante, s_6 = muchísimo\}$$

Definición 6. Una jerarquía lingüística (*Linguistic Hierarchy, LH*) [56] es la unión de un conjunto de términos lingüísticos equidistantes entre sí, cuya granularidad es impar, y cuya expresión $n(t)$ depende del nivel t de la jerarquía:

$$\begin{aligned} LH &= \cup_t S^{n(t)}(t), \quad t \in \{1, \dots, h\} \quad h = 3 \\ S^{n(t)}(t) &= \{s_0^{n(t)}, \dots, s_{v_t}^{n(t)}\} \quad v_t = n(t) - 1, \quad v_t \in \mathbb{N}. \end{aligned}$$

En [72] se presenta el modelo de jerarquías lingüísticas extendidas (*Extended Linguistic Hierarchies, ELH*). ELH es un modelo donde se tiene un conjunto términos lingüísticos $S^{n(t)}(t)$ ordenado según la granularidad $n(t)$. Cada conjunto corresponde al nivel t , y hay posibilidad de hacer transición entre niveles, siendo t^* el nivel donde se realizarán los cálculos requeridos. Se debe elegir de forma adecuada un número para la etiqueta t de acuerdo al contexto del problema de toma de Decisión. Los niveles que componen la granularidad dependerán del grado de precisión

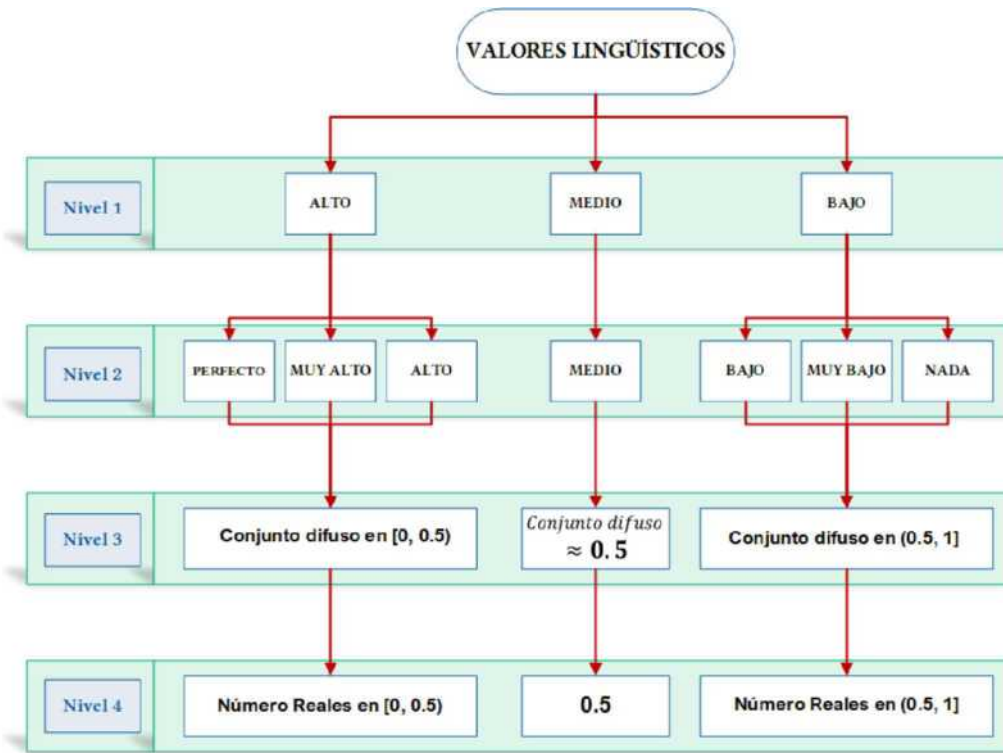


Figura 3.7: Esquema jerárquica de los valores lingüísticos. Fuente: [54]

que se requiere en la información proporcionada por los expertos. Es decir, si el problema no requiere de exactitud o el grupo de expertos es muy heterogéneo en experiencia o conocimiento del tema, se puede usar una granularidad baja. En problemas donde los expertos tienen un amplio conocimiento del tema, una granularidad alta es lo más adecuado para recolectar sus opiniones. En el caso particular de utilizar tres conjuntos de términos lingüísticos ($h = 3$) de granularidad tres, cinco y siete, se tiene que $n(t) = \{v_1 = 3, v_2 = 5, v_3 = 7\}$. Los puntos de referencia definidos en el *ELH* se mantienen en un nuevo conjunto de términos lingüísticos siguiendo la expresión:

$$n(t^*) = \left(\prod_{t=1}^h v_t \right) + 1 = v_{t^*} + 1$$

El anterior valor se calcula el mínimo común múltiplo (*MCM*) de las granularidades de la jerarquía *ELH*, y determina el nivel más profundo para S^{13} como se puede observar en la Fig 3.8:

$$n(t^*) = LCM(v_1, v_2, v_3) + 1 = LCM(2, 4, 6) + 1 = 13$$

Las transiciones entre cada uno de los niveles existentes, parten de que en $S^{n(t+1)}$ cada término es el punto medio de un par de términos pertenecientes al nivel t anterior. Así pues, el conjunto conformado por los puntos de referencia t se definen como:

$$FP_t = \{fp_t^0, \dots, fp_t^{2v_t}\}$$

En el caso particular de usar ELH, cada punto $fp_t^i \in [0, 1]$ se localiza en:

$$j = \frac{i \cdot v_{t^*}}{v_t} \rightarrow FP_t \subset FP_{t^*} \quad \forall t = \{1, \dots, h\}$$

Utilizar diversas escalas en un proceso de toma de decisiones, o evaluación, es posible agregando al esquema (visto en la Sección 3.1) un paso o *Fase de Unificación*, que implica otro grado de transformación de las valoraciones dadas por los expertos. El proceso de unificación traduce los datos lingüísticos de entrada mediante una función $TF_{t^*}^t$ que transforma y convierte un término $s_j \in S^{n(t)}$ en su equivalente s_k expresado en $S^{n(t^*)}$ con $t < t^*$. De ésta forma se tiene la posibilidad de calcular la representación 2-tuplas de cualquier valor del conjunto de términos lingüísticos. La función de transformación que se utiliza en la unificación se define como:

$$TF_{t^*}^t(s_j^{n(t)}, \alpha_j) = \Delta \left(\frac{v^{-1}(s_j^{n(t)}, \alpha_j) \cdot (n(t^*) - 1)}{n(t) - 1} \right) = (s_k^{n(t^*)}, \alpha_k) \quad (3.5)$$

Ejemplo 1. A continuación mostramos la unificación de tres datos obtenidos en diferentes niveles de una jerarquía lingüística extendida:

$$\begin{aligned} n(1) = 3 ; (s_1^3, 0) &\Rightarrow TF_{13}^3 = \Delta\left(\frac{1 \cdot 12}{2}\right) = (s_6^{13}, 0) \\ n(2) = 5 ; (s_3^5, 0) &\Rightarrow TF_{13}^5 = \Delta\left(\frac{3 \cdot 12}{4}\right) = (s_9^{13}, 0) \\ n(3) = 7 ; (s_4^7, 0) &\Rightarrow TF_{13}^7 = \Delta\left(\frac{4 \cdot 12}{6}\right) = (s_8^{13}, 0) \end{aligned}$$

La representación de términos lingüísticos en jerarquías extendidas se complementa con el modelo de representación 2 tuplas [38], para conseguir mayor precisión operacional puesto que evita pérdida de información en la fase de agregación como se explica en la Sección 3.1.

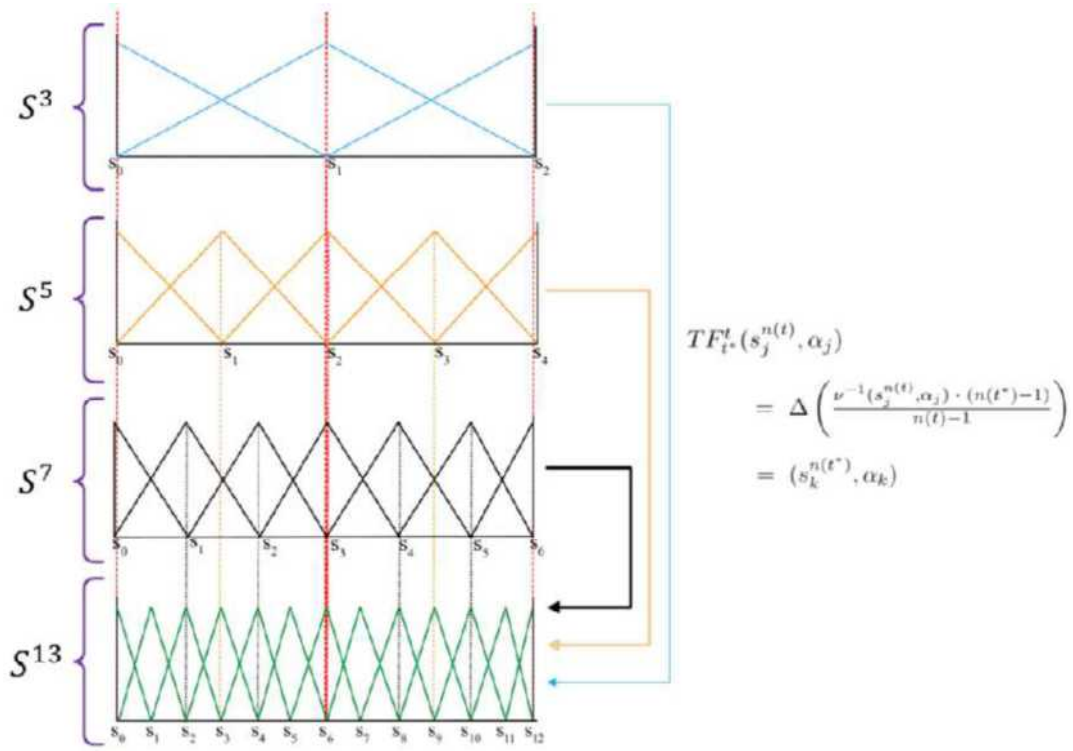


Figura 3.8: Transición entre niveles dentro de las jerarquías lingüísticas

3.4 Modelos lingüísticos con incertidumbre

3.4.1 Modelo de representación de hesitantes lingüísticos

Dentro de entornos situados en la vida real, existen situaciones donde los expertos no están seguros al elegir una respuesta; dudan y, vacilan al momento de elegir una de las opciones. Para permitir lo anterior existe el concepto de *Hesitant Fuzzy Sets (HFS)* [98] para números difusos y su extensión para valores lingüísticos, *Hesitant Fuzzy Linguistic Terms Sets (HFLTS)* [88].

Un *HFLTS* H_S esta conformado por un subconjunto ordenado finito de términos lingüísticos consecutivos y se define en [88] de la siguiente manera:

Definición 7. Sea $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ un conjunto fijo de términos lingüísticos. Sea $x_i \in X (i = 1, 2, \dots, N)$ fijo. Un *HFLTS* en X , H_S está en términos de:

$$H_S = \{ \langle x_i, h_S(x_i) \rangle \mid x_i \in X \}$$

donde h_S es un conjunto de algunos valores en el conjunto de términos lingüísticos S y puede expresarse como $h_S(x_i) = \{s_{\phi_l}(x_i) \mid s_{\phi_l}(x_i) \in S, l = 1, 2, \dots, L\}$ siendo L el número de términos lingüísticos en $h_S(x_i)$.

Se puede tener el caso de que los evaluadores seleccionen un rango, con dos o mas etiquetas lingüísticas consecutivas. Al evaluar un criterio dado con un rango de operadores lingüísticos, o H_S , se puede simplificar el cálculo con la envolvente *HFLTS* [88].

Definición 8. Sea H_S un subconjunto finito ordenado de los términos lingüísticos consecutivos de S . La envolvente de un *HFLTS*, $env(H)$ [88], es un intervalo lingüístico cuyos límites se obtienen mediante su límite superior H^+ y su límite inferior H^- :

$$H^+ = \max\{s_i\} = s_j, s_i \leq s_j \text{ y } s_i \in H, \forall i.$$

$$H^- = \min\{s_i\} = s_j, s_i \geq s_j \text{ y } s_i \in H, \forall i.$$

La envolvente $env(H) = [H^-, H^+]$ con $H^- \leq H^+$, por tanto:

$$\begin{aligned} [s_a, s_b] = env(H_S) \rightarrow \\ H_S = \{s_a, s_k, s_b \mid s_a \leq s_k \leq s_b \\ \text{y } k \in \{a, \dots, b\}\} \end{aligned} \quad (3.6)$$

Ejemplo 2. Se tiene un conjunto de términos lingüísticos compuesto por 5 elementos $S = \{s_0 : Poco, s_1 : Algo, s_2 : Normal, s_3 : Bastante, s_4 : Mucho\}$, a una variable lingüística ϑ se le puede asignar un valor, o un rango de valores en el caso de que exista una indecisión, que representará el agrado que tiene un asistente hacia un evento de divulgación. Esta representación expresada en términos lingüísticos podrían ser como los siguientes:

$$H_S(\vartheta_0) = \{Poco\} = \{s_0\}.$$

$$H_S(\vartheta_1) = \{Poco, Algo\} = \{s_0, s_1\}.$$

$$H_S(\vartheta_2) = \{Normal, Bastante, Mucho\} = \{s_2, s_3, s_4\}.$$

Para poder realizar el cómputo de las valoraciones grupales a gran escala, se utiliza el envolvente del intervalo lingüístico y este se traducen al modelo difuso 2-tuplas (3.2.2) quedando de la siguiente forma:

$$env(H_S(\vartheta_1)) = \{Poco, Algo\} = [(s_0, 0), (s_1, 0)].$$

$$env(H_S(\vartheta_2)) = \{Normal, Mucho\} = [(s_2, 0), (s_4, 0)].$$

En el caso de $H_S(\vartheta_0)$ al ser un único valor, este será utilizado como cota superior H^+ y cota inferior H^- . Por lo tanto, la valoración de los criterios C_j de una alternativa A_i dada por el experto e_k se puede representar mediante el *Hesitant* H_{ijk} de la siguiente forma:

$$H_{ijk} \in S^S \text{ tal que } H_{ijk} = env(H_{ijk}) = [(s_a, 0), (s_b, 0)]$$

3.4.2 Operadores de agregación para entornos *Hesitant*

Como operadores de agregación para términos *HFLTS* se tienen *hesitant fuzzy linguistic weighted averaging* HLWA *hesitant fuzzy linguistic ordered weighted averaging* HLOWA presentados por Wei et al. en [100]. Estos operadores de agregación tienen como base la combinación convexa de dos términos HFLTS. De acuerdo con Delgado et al. [32] la definición de combinación convexa de dos términos lingüísticos es:

Definición 9. Sea $S = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$ un conjunto de términos lingüísticos. Para dos términos lingüísticos s_i y s_j , la combinación convexa para s_i y s_j se define como:

$$C^2(w_1, s_1, w_2, s_j) = w_1 \odot s_i \oplus w_2 \odot s_j = s_k$$

donde $w \geq 0 (i = 1, 2)$, $w_1 + w_2 = 1$, $k = \min \{g, \text{round}((w_1)i + (1 - w_1)j)\}$ y *round* es el redondeo habitual.

La combinación convexa de dos términos HFLTS se define como:

Definición 10. [100] Sea $S = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$ un conjunto de términos lingüísticos y, H_S^1 y H_S^2 dos términos HFLTS en S . La combinación convexa de H_S^1 y H_S^2 se define como:

$$\begin{aligned} C^2(w_1, H_S^1, w_2, H_S^2) &= w_1 \odot H_S^1 \oplus w_2 \odot H_S^2 \\ &= \{C^2(w_1, a_1, w_2, a_2) \mid a_1 \in H_S^1, a_2 \in H_S^2\} \end{aligned}$$

Donde $w_i \geq 0 (i = 1, 2)$ y $w_1 + w_2 = 1$.

Con base a la combinación convexa de dos términos HFLTS, Wei et al. [100] definen el *Hesitant Fuzzy Linguistic Operators* (HFLO) de la siguiente forma:

Definición 11. [100] Sea $S = \{s_1, \dots, s_g\}$ un conjunto de términos lingüísticos, $H_S^1, H_S^2, \dots, H_S^n$ sean n HTFLTS en S . Sea $w = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}^t$ un vector de pesos para $H_S^j (j = 1, 2, \dots, n)$ con $w_j \geq 0 (i = 1, 2, \dots, n)$ y $\sum_{j=1}^n w_j = 1$. EL operador *hesitant fuzzy linguistic weighted averaging* HLWA se define como:

$$\begin{aligned} HLWA(H_S^1, H_S^2, \dots, H_S^n) &= C^m\{w_k, H_S^k, k = 1, 2, \dots, n\} \\ &= w_1 \odot H_S^1 \oplus (1 - w_1) \odot C^{m-1} \left\{ \frac{w_h}{\sum_{k=2}^n w_k}, H_S^h \mid h = 2, \dots, n \right\} \end{aligned} \quad (3.7)$$

Definición 12. [100] Sea $S, H_S^i (i = 1, 2, \dots, n)$ como en la Def. 11. El operador *hesitant fuzzy linguistic ordered weighted averaging* HLOWA se define como:

$$\begin{aligned} HLOWA(H_S^1, H_S^2, \dots, H_S^n) &= C^m\{w_k, H_S^{\sigma k}, k = 1, 2, \dots, n\} \\ &= w_1 \odot H_S^{\sigma 1} \oplus (1 - w_1) \odot C^{m-1} \left\{ \frac{w_h}{\sum_{k=2}^n w_k}, H_S^{\sigma h} \mid h = 2, \dots, n \right\} \end{aligned} \quad (3.8)$$

Donde $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ es el vector asociado el peso en el operador, para $w_j \in [0, 1]$ y $\sum_{j=1}^n w_j = 1$; $(H_S^{\sigma_1}, H_S^{\sigma_2}, \dots, H_S^{\sigma_n})$ es la permutación de $(H_S^1, H_S^2, \dots, H_S^n)$ tal que $H_S^{\sigma_i} \succ H_S^{\sigma_j}$ o $H_S^{\sigma_i} \triangleright H_S^{\sigma_j}$ para todo $i < j$.

Existe otra perspectiva para abordar los problemas de toma de decisiones con incertidumbre, además de HFLTS. Este modelo es denominado *interval-valued 2-tuple linguistic variable* propuesto por Zhang [108], el cual define el valor de un intervalo entre etiquetas lingüísticas complementado con el modelo 2-tuplas para evitar la pérdida de información al momento de realizar operaciones.

3.4.3 Valor del intervalo de la variable lingüística 2-tuplas

La definición de una variable lingüística de 2-tuplas con valores de intervalo de acuerdo con Zhang es la siguiente:

Definición 13. Consideremos el conjunto de términos lingüísticos $S = \{s_i | i = 1, 2, \dots, g\}$. Un valor de intervalo 2-tuplas se denota como $[(s_i, \alpha_1), (s_j, \alpha_2)]$ donde $i \leq j$ y α_1, α_2 representa una etiqueta lingüística de S y su traducción simbólica. Una variable lingüística de 2-tuplas con valores de intervalo se puede convertir en un valor del intervalo $[\beta_1, \beta_2]$ ($\beta_1, \beta_2 \in [0, 1], \beta_1 \leq \beta_2$) de la siguiente forma [108]:

$$\Delta^{-1}([(s_i, \alpha_1), (s_j, \alpha_2)]) = \left[\frac{i}{g} + \alpha_1, \frac{j}{g} + \alpha_2 \right] = [\beta_1, \beta_2] \quad (3.9)$$

El valor del intervalo $[\beta_1, \beta_2]$ ($\beta_1, \beta_2 \in [0, 1], \beta_1 \leq \beta_2$) se puede transformar en una variable lingüística de 2-tuplas con valores de intervalo con la siguiente función:

$$\Delta[\beta_1, \beta_2] = [(s_i, \alpha_1), (s_j, \alpha_2)] \text{ con } \begin{cases} s_i, i = \text{round}(\beta_1 \cdot g), \\ s_j, j = \text{round}(\beta_2 \cdot g), \\ \alpha_1 = \beta_1 - \frac{i}{g}, \quad \alpha_1 \in [\frac{-0.5}{g}, \frac{0.5}{g}), \\ \alpha_2 = \beta_2 - \frac{j}{g}, \quad \alpha_2 \in [\frac{-0.5}{g}, \frac{0.5}{g}) \end{cases} \quad (3.10)$$

Si $s_i = s_j$ y $\alpha_1 = \alpha_2$ entonces la variable lingüística de 2-tuplas con valores de intervalo se convierte en una variable lingüística 2-tuplas.

Como operador de agregación Zhang propone *The Interval-Valued 2-Tuple Weighted Average* (IVTWA):

Definición 14. Sea $X = \{[(s_1, \alpha_1), (s'_1, \alpha'_1)], [(s_2, \alpha_2), (s'_2, \alpha'_2)], \dots, [(s_n, \alpha_n), (s'_n, \alpha'_n)]\}$ un conjunto de valores de intervalo 2-tuplas, $w = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}^T$ un vector de pesos de intervalo 2-tuplas,

con $w \in [0, 1]$ y $\sum_{i=1}^n w_i = 1$. El operador IVTWA se define de la siguiente forma [108]:

$$\begin{aligned} & IVTWA([(s_1, \alpha_1), (s'_1, \alpha'_1)], [(s_2, \alpha_2), (s'_2, \alpha'_2)], \dots, [(s_n, \alpha_n), (s'_n, \alpha'_n)]) \\ &= w_1[(s_1, \alpha_1), (s'_1, \alpha'_1)] \oplus w_2[(s_2, \alpha_2), (s'_2, \alpha'_2)] \oplus \dots \oplus w_n[(s_n, \alpha_n), (s'_n, \alpha'_n)] \\ &= \Delta \left[\sum_{i=1}^n w_i \Delta^{-1}(s_i, \alpha_i), \sum_{i=1}^n w_i \Delta^{-1}(s'_i, \alpha'_i) \right]. \end{aligned} \quad (3.11)$$

3.5 Modelo MULTIMOORA en la Toma de Decisiones

Al realizar una búsqueda en la literatura de modelo aplicados a la toma de decisiones, encontramos que el modelo MULTIMOORA tiene un buen nivel de aceptación. MULTIMOORA no es un modelo complejo, permitiendo ser aplicado en problemas de toma de decisiones con diferentes características. La computación con palabras y los entornos difusos permiten generar información lo mas cercana a la percepción humana. Estos modelos son los idóneos para aplicarse en procesos de evaluación. Siempre se busca mitigar la pérdida de información al momento de realizar cálculos, por lo que el modelo 2-tuplas es el indicado para éste cometido.

3.5.1 Método MOORA

El método *Multi-Objective Optimization by Ratio Analysis* (MOORA) propuesto para Brauers y Zavadskas [20] tiene como objetivo generar una ordenación o ranking de alternativas a partir ratios adimensionales comprendidos entre cero y uno. El método MOORA se basa en las siguientes premisas:

1. *Premisa de los números cardinales*: solo están incluidos y se definen por medición directa o alternativa, o son tomados como números sin dimensiones. Se utiliza una medición alternativa cuando resulta difícil la medición directa. Los números sin dimensiones no tienen una unidad de medida específica, se obtienen por deducción, multiplicación o división. Las escalas nominales como excelente, buena, justa, mala, cambian a números cardinales por medio de números sin dimensión o cuando se obtienen por medio de mediciones alternativas. El uso de los números ordinales presentan posibilidades limitadas.
2. *Premisa de las opciones discretas*: consisten en tener una serie de alternativas posibles y definidas, y de no darse el caso, se cuenta con un conjunto continuo de opciones que genera una serie de alternativas durante el proceso.
3. *Premisa de los atributos*: Los atributos y los objetivos siempre estarán relacionados entre sí.

Dado que el método MOORA esta desarrollado para aplicarse a un entorno económico, se tiene una clasificación de los criterios (objetivos). Esta clasificación parte de un análisis costo-beneficio

con enfoque materialista, donde el costo representa un impacto negativo (valor a minimizar) y el beneficio positivo (valor a maximizar) [19] [23].

El método MOORA consta de dos partes, comenzando con una matriz de respuestas $(x_{ij})_{m \times n}$ formada con diferentes alternativas de diferentes objetivos. En donde x_{ij} es la respuesta de la alternativa j en el objetivo i ; siendo $i = 1, 2, \dots, n$ objetivos y $j = 1, 2, \dots, m$ alternativas.

En la primera parte se calcula el ratio denominado *The Ratio System* donde se tiene vector de normalización, obtenido con un denominador dado por la raíz cuadrada de la suma del cuadrado de cada alternativa por objetivo. El vector es utilizado para comparar cada una de las respuestas de las alternativas sobre un objetivo y generar un sistema de relaciones representativo. Este proceso se representa de la siguiente forma:

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^m x_{ij}^2}}$$

En donde x_{ij} son las respuestas de la alternativa j en el objetivo i , siendo $j = 1, 2, \dots, m$, m es el número de alternativas; $i = 1, 2, \dots, n$, n es el número de objetivos y x_{ij}^* es la respuesta normalizada de la alternativa j sobre el objetivo i y es representado por un número sin dimensión que se encuentra dentro del intervalo $[0, 1]$.

Las respuestas obtenidas en el paso anterior se suman cuando se tiene el caso de maximización (beneficio) y se restan en caso contrario, minimización (costo); ésto con la finalidad de optimizar el cálculo y se representa de la siguiente forma:

$$y_j^* = \sum_{i=1}^{i=g} x_{ij}^* - \sum_{i=g+1}^{i=n} x_{ij}^* \quad (3.12)$$

En donde $i = 1, 2, \dots, g$ son los objetivos a ser maximizados; $i = g + 1, g + 2, \dots, n$ son los objetivos a ser minimizados. y_j^* es la valoración total con respecto a todos los objetivos de la alternativa j . Dependiendo de los totales máximos y mínimos y_j^* puede tomar un valor positivo o negativo. En el ranking ordinal y_j^* se muestra la preferencia final.

La segunda parte que conforma el método MOORA es el cálculo del *Reference Point Approach* que se obtiene basándose en los valores generados con la ecuación 3.5.1. El valor (r_i) es el punto de referencia de las alternativas candidatas elegibles. Teniendo la respuesta normalizada de la alternativa j en el objetivo i , representado por un número sin dimensiones (x_{ij}^*) se tiene la siguiente expresión:

$$(r_i - x_{ij}^*) \quad (3.13)$$

En donde $i = 1, 2, \dots, n$ son los atributos; $j = 1, 2, \dots, m$ son las alternativas y r_i es el i – ésimo valor del punto de referencia. La matriz x_{ij}^* que se genera a partir del atributo normalizado i de la alternativa j está condicionada a la métrica *Min-Max de Tchebycheff* [24]:

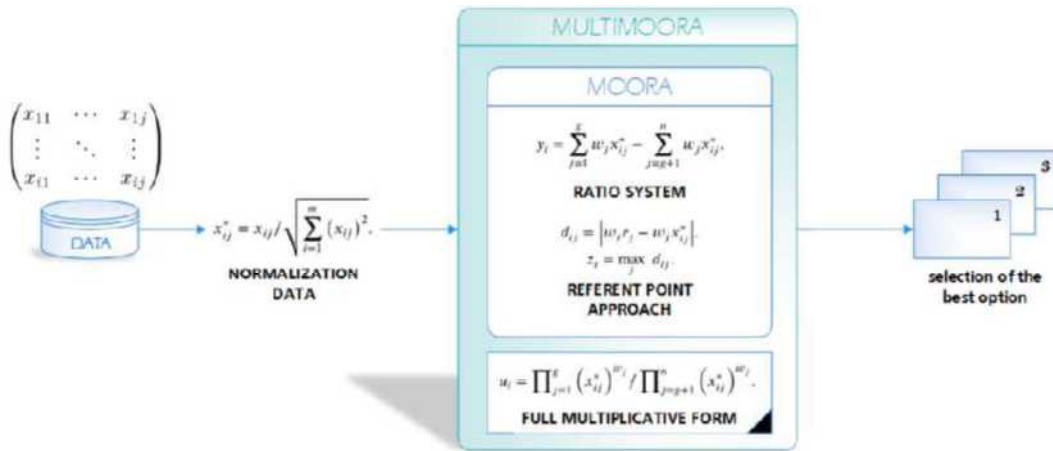


Figura 3.9: Proceso del modelo MULTIMOORA para evaluar alternativas

$$\min_j (\max_i |r_i - x_{ij}^*|) \quad (3.14)$$

Se aplica el valor absoluto en $|r_i - x_{ij}^*|$ en el caso de que x_{ij} sea mayor que r_i . Los valores mínimos de cada alternativa determinarán el grado de preferencia.

En el método MOORA, la importancia de un objetivo está dada por coeficientes o se sustituyen los objetivos por sub-objetivos. Los objetivos se maximizan añadiendo los ratios a cada alternativa, los objetivos a minimizar se les restan los ratios. La mejor alternativa se obtendrá de un ranking en donde se tomarán en cuenta todas las alternativas.

El método MOORA calcula los índices *ratio system* y *reference point approach* con los cuales se pudo satisfacer las condiciones de robustez de un método multiobjetivo. Posteriormente, Brauers & Zavadskas extendieron su método a MULTIMOORA [25] al permitir múltiples objetivos con *the full multiplicative form*. En MULTIMOORA se añade un índice más, éste índice permite combinar los objetivos a maximizar y minimizar multiplicando los ratios. En total se puede generar tres valores de ratios o rankings distintos, siendo MULTIMOORA un método mas robusto que MOORA [22].

3.5.2 Método MULTIMOORA

El modelo MULTIMOORA (*multi-objective optimization on the basis of ratio analysis plus full multiplicative form*) ha ido evolucionando a partir del trabajo de Brauers & Zavadskas y su aplicación se ha extendido mas allá del ámbito económico. Baležentis T. & Baležentis A. en su trabajo [13] abordan el modelo como un método de toma de decisiones grupal y analizan sus extensiones con otros modelos como el difuso. Hafezalkotob et al. realizó un análisis más profundo en [47] donde aborda la combinación con otros modelos, herramientas de agregación y de ranking mas utilizados, y métodos de ponderación para los criterios. La Figura. 3.9 representa

en términos generales el proceso que se sigue al aplicar el modelo en una toma de decisión.

En el modelo MULTIMOORA el primer paso para resolver un problema de toma de decisiones multicriterio multiexperto es crear una matriz de toma de decisiones con m alternativas $A_i (i = 1, \dots, m)$ y n criterios diferentes $C_j (j = 1, \dots, n)$. Cada criterio c_j puede tener una importancia o peso w_n por lo que se tiene un vector de pesos W . La matriz se genera de la siguiente forma [47]:

$$C = \begin{bmatrix} c_1 & \dots & c_j & \dots & c_n \end{bmatrix}$$

$$X = \begin{matrix} A_1 \\ \vdots \\ A_i \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{i1} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{in} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mj} & \dots & x_{nm} \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

$$W = \begin{bmatrix} w_1 & \dots & w_j & \dots & w_n \end{bmatrix}$$

Dado que los valores que componen la matriz anterior son datos dados en diferentes magnitudes o dimensiones se normalizan los datos con la siguiente ecuación [47]:

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (x_{ij})^2}} \quad (3.16)$$

Los valores normalizados de la ecuación anterior se encuentran dentro del rango $[0, 1]$. Teniendo los datos normalizados x_{ij}^* el siguiente paso es calcular los ratios del modelo MULTIMOORA.

Ratio system

Para calcular éste ratio se debe tener identificados cuales criterios son considerados de beneficio y de costo. Al tener identificado cada criterio en un tipo, en *ratio system* los criterios de beneficio se suman y los de costo se restan, y se representa de la siguiente forma [47]:

$$y_i = \sum_{j=1}^g w_j x_{ij}^* - \sum_{j=g+1}^n x_{ij}^* \quad (3.17)$$

Donde, para este caso, g representa el número de criterios de beneficio y $(n - g)$ es el número de criterios de costo. El orden de los valores de *Ratio system* para generar un ranking se realiza de la siguiente forma [47]:

$$\mathbf{R}_{RS} = \{A_{i|max y_i} \succ \dots \succ A_{i|min y_i}\} \quad (3.18)$$

Reference Point Approach

Este cálculo se obtiene comparando los valores con un vector de referencia basado en la métrica *Tchebycheff Min–Max*. El vector de referencia *Maximal Objective Reference Point* (MORP) se obtiene de la siguiente manera [20] [47]:

$$r_j = \{\max_i x_{ij}^*, j \leq g; \min_i x_{ij}^*, j > g\} \quad (3.19)$$

Para obtener los valores de *The Reference Point Approach* se calcula la distancia del valor ponderado de cada criterio para obtener el valor máximo y ordenar el resultado de forma ascendente de la siguiente forma [47]:

$$z_i = \max_j w_j |r_j - x_{ij}^*| \quad (3.20)$$

$$\mathbf{R}_{RPA} = \{A_{i|\min_j z_i} \succ \dots \succ A_{i|\max_j z_i}\} \quad (3.21)$$

Full Multiplicative Form

Para obtener los ratios de éste método se utilizan los valores normalizados ponderados. El producto de los valores de beneficio son divididos entre el producto de los valores de costo de la siguiente forma [47]:

$$u_i = \frac{\prod_{j=1}^g (x_{ij}^*)^{w_j}}{\prod_{j=g+1}^n (x_{ij}^*)^{w_j}} \quad (3.22)$$

En esta operación los pesos son utilizados como exponentes para conseguir la forma multiplicativa completa. Los datos resultantes son ordenados de forma descendente de la siguiente forma [47]:

$$\mathbf{R}_{FMF} = \{A_{i|\max_j u_i} \succ \dots \succ A_{i|\min_j u_i}\} \quad (3.23)$$

La premisa de números cardinales del modelo MOORA (Sección 3.5.1) permite incorporar modelos relacionados con escalas lingüísticas y entornos con incertidumbre, tal como se menciona en [47].

3.6 MULTIMOORA aplicado a entornos de incertidumbre

Dentro de los primeros trabajos que incorporaron otros métodos a MULTIMOORA se encuentra la propuesta de Baležentis A. et al. [12] donde incorpora la computación con palabras y términos difusos a un método multicriterio multiexperto de toma de decisiones. Zavadskas et al. [107] propusieron el modelo *Interval-valued Intuitionistic Fuzzy MULTIMOORA* (IVIF-MULTIMOORA)

aplicado a la toma de decisiones grupales en ingeniería. Utilizaron los conjuntos difusos intuitionistas para generar los rankings con datos difusos normalizados. En trabajos mas recientes se encuentra la incorporación de modelos como el conjunto de términos lingüísticos difusos vacilantes de doble jerarquía (*Double Hierarchy Hesitant Fuzzy Linguistic Term Set*) [45] y el conjunto lingüístico pitagórico difuso 2-tuplas (*2-Tuple Linguistic Pythagorean Fuzzy Sets*) [7].

3.6.1 Método Interval 2-tuple linguistic MULTIMOORA

Con el fin de representar datos vagos, inciertos e incompletos Liu et al. [67] proponen el modelo *interval 2-Tuple Linguistic MULTIMOORA* (ITL-MULTIMOORA). Este trabajo incorpora intervalos de variables lingüísticas junto con el modelo 2-tuplas para compensar la pérdida de información al hacer los cálculos. La definición de intervalos de variables lingüísticas 2-tuplas propuesta por Liu et al. es la siguiente [67]:

Definición 15. Sea un conjunto de términos lingüísticos $S = \{s_0, s_1, \dots, s_g\}$. El intervalo de una variable lingüística 2-tuplas es representado como $[(s_i, \alpha_1), (s_j, \alpha_2)]$ donde cada uno tiene un elemento 2-tuplas, tal que $(s_i, \alpha_1) \leq (s_j, \alpha_2)$, $s_i(s_j)$ y $\alpha_1(\alpha_2)$ representan la etiqueta lingüística del conjunto S predefinido. El intervalo 2-tuplas que expresa la información equivalente a un valor de intervalo $[\beta_1, \beta_2]$ ($[\beta_1, \beta_2 \in [0, 1], \beta_1 \leq \beta_2]$) se obtiene con la siguiente función:

$$\Delta[\beta_1, \beta_2] = [(s_i, \alpha_1), (s_j, \alpha_2)] \text{ con } \begin{cases} s_i, i = \text{round}(\beta_1 \cdot g), \\ s_j, j = \text{round}(\beta_2 \cdot g), \\ \alpha_1 = \beta_1 - \frac{i}{g}, \quad \alpha_1 \in [-\frac{1}{2g}, \frac{1}{2g}), \\ \alpha_2 = \beta_2 - \frac{j}{g}, \quad \alpha_2 \in [-\frac{1}{2g}, \frac{1}{2g}) \end{cases}$$

Existe una función Δ^{-1} donde un intervalo 2-tuplas puede convertirse a un valor del intervalo $[\beta_1, \beta_2]$ ($[\beta_1, \beta_2 \in [0, 1], \beta_1 \leq \beta_2]$). Este se genera de la siguiente forma [67]:

$$\Delta^{-1}[(s_i, \alpha_1), (s_j, \alpha_2)] = \left[\frac{i}{g} + \alpha_1, \frac{j}{g} + \alpha_2 \right] = [\beta_1, \beta_2]$$

El primer proceso para implementar ITL-MULTIMOORA es crear una matriz de toma de decisiones, la cual se genera a partir de la evaluación realizada por l expertos $DM_k (k = 1, 2, \dots, l)$ a m alternativas $A_i (i = 1, 2, \dots, m)$ con n criterios $C_j (j = 1, 2, \dots, n)$. Cada experto DM_k tiene asignado un peso $\lambda_k > 0 (k = 1, 2, \dots, l)$ donde $\sum_{k=1}^l \lambda_k = 1$. La matriz que se obtiene es [67]:

$$X_k = \begin{pmatrix} x_{11}^k & x_{12}^k & \cdots & x_{1n}^k \\ x_{21}^k & x_{22}^k & \cdots & x_{2n}^k \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1}^k & x_{m2}^k & \cdots & x_{mn}^k \end{pmatrix}$$

Donde x_{ij}^k es la evaluación lingüística hecha por el experto DM_k de la alternativa A_i con respecto al criterio C_j . El vector de pesos $w_k = (w_1^k, w_2^k, \dots, w_n^k)$ es generado por la variable lingüística w_j^k asignada por cada DM_k a cada C_j .

El segundo proceso es convertir la matriz $X_k = (x_{ij}^k)_{m \times n}$ de acuerdo con la definición 15, en una matriz de decisión del intervalo lingüístico 2-tuplas $\tilde{R}_k = (\tilde{r}_{ij}^k)_{m \times n} = [(r_{ij}^k, 0), (t_{ij}^k, 0)]$ donde $r_{ij}^k, t_{ij}^k \in S, S = \{s_i | i = 0, 1, 2, \dots, g\}$ y $r_{ij}^k \leq t_{ij}^k$.

Después se agregan las opiniones de los expertos utilizando el operador *Interval 2-Tuple Weighted Average* (ITWA) [?] para crear la matriz colectiva de decisión del intervalo lingüística 2-tuplas $\tilde{R} = (\tilde{r}_{ij})_{m \times n}$. Además se agregan los coeficientes 2-tuplas lingüísticos de importancia (w_j, α_{w_j}) en este paso utilizando el operador *2-Tuple Weighted Average* (TWA) [38]. Todo lo anterior se expresa de la siguiente forma [67]:

$$\begin{aligned} \tilde{r}_{ij} &= [(r_{ij}, \alpha_{ij}), (t_{ij}, \epsilon_{ij})] \\ &= \text{ITWA}([(r_{ij}^1, 0), (t_{ij}^1, 0)], [(r_{ij}^2, 0), (t_{ij}^2, 0)], \dots, [(r_{ij}^l, 0), (t_{ij}^l, 0)]), \end{aligned}$$

$$(w_j, \alpha_{w_j}) = \text{TWA}((w_j^1), (w_j^2), \dots, (w_j^l)).$$

El tercer proceso consiste en determinar los coeficientes de importancia subjetivo y objetivos. El coeficiente subjetivo se genera a partir de los coeficientes 2-tuplas lingüísticos de importancia $(w_j, \alpha_{w_j}), j = 1, 2, \dots, n$. Los coeficientes objetivos se calculan utilizando la matriz colectiva $\tilde{r}_{ij}$. Ambos coeficientes se obtienen de la siguiente forma [67]:

$$\begin{aligned} w_j^s &= \frac{\Delta^{-1}(w_j, \alpha_{w_j})}{\sum_{i=1}^n \Delta^{-1}(w_j, \alpha_{w_j})}, j = 1, 2, \dots, n. \\ w_j^o &= \frac{\Delta^{-1}(1/\varphi_j)}{\sum_{i=1}^n \Delta^{-1}(\Delta^{-1}(1/\varphi_j))}, j = 1, 2, \dots, n. \\ \text{donde : } \varphi_j &= \Delta \left(\sum_{i=1}^m (\Delta^{-1}d(\tilde{r}_{ij}, r_j^*))^2 \right) j = 1, 2, \dots, n. \\ r_j^* &= \left\{ \begin{array}{ll} \Delta(1), & \text{para criterios de beneficio} \\ \Delta(0), & \text{para criterios de costo} \end{array} \right\} j = 1, 2, \dots, n. \end{aligned}$$

El cuarto proceso consiste en crear la matriz intervalo lingüístico 2-tuplas normalizada $\tilde{R}' = (\tilde{r}'_{ij})_{m \times n}$ con el método de normalización vectorial y los coeficientes de importancia calculados en la Eq. 3.24 y la Eq. 3.24 de la siguiente forma [67]:

$$(\tilde{r}'_{ij}) = [(r'_{ij}, \alpha'_{ij}), (t'_{ij}, \epsilon'_{ij})] = \Delta \left[w_j^c \frac{\Delta^{-1}(r_{ij}, \alpha_{ij})}{u}, w_j^c \frac{\Delta^{-1}(t_{ij}, \epsilon_{ij})}{u} \right],$$

$$\text{donde : } w_j^c = \frac{w_j^s \times w_j^o}{\sum_{j=1}^n w_j^s \times w_j^o}, j = 1, 2, \dots, n,$$

$$u = \sqrt{\sum_{i=1}^m (\Delta^{-1}(r_{ij}, \alpha_{ij}))^2 + \sum_{i=1}^m (\Delta^{-1}(t_{ij}, \epsilon_{ij}))^2}.$$

El quinto proceso es calcular los ratios de ITL-MULTIMOORA utilizando los datos de la matriz $\tilde{R}' = (\tilde{r}'_{ij})_{m \times n}$.

The Ratio system

Para calcular este ratio las evaluaciones se suman en el caso de maximización y se restan en el caso de minimización de la siguiente forma [67]:

$$\tilde{y}_i = \sum_{j=1}^h \tilde{r}'_{ij} - \sum_{j=h+1}^n \tilde{r}'_{ij}$$

Donde $i = 1, 2, \dots, h$ son los criterios que serán maximizados; $i = h+1, h+2, \dots, n$ son los criterios que serán minimizados; $\tilde{y}_i$ es la valoración general de la alternativa A_i .

The reference point approach

El vector de referencia MORP 2-tuplas se define como $(r_j^+, \alpha_j^+) = \max_i \{(t_{ij}, \epsilon_{ij})\}$ para los criterios de beneficio y $(r_j^-, \alpha_j^-) = \min_i \{(s_{ij}, \alpha_{ij})\}$ para los criterios de costo. Por lo tanto obtenemos la distancia de la matriz $D = [d_{ij}]_{m \times n}$ de la siguiente forma [67]:

$$d_{ij} = d(\tilde{r}'_{ij}, (r_j^+, \alpha_j^+))$$

$$= \Delta[\max(|\Delta^{-1}(r'_{ij}, \alpha'_{ij}) - \Delta^{-1}(r_j^+, \alpha_j^+)|, |(t'_{ij}, \epsilon'_{ij}) - \Delta^{-1}(r_j^+, \alpha_j^+)|)]$$

donde d_{ij} representa la distancia de cada alternativa con respecto a l criterio C_j . Los ratios de éste método se obtienen de la siguiente forma:

$$d_i = \max_j d_{ij}$$

The full multiplicative form

Para obtener los valores de esta utilidad se realiza la división de los criterios a maximizar entre los criterios a minimizar de la siguiente forma:

$$\tilde{u}_i = \frac{\prod_{j=1}^h \tilde{r}'_{ij}}{\prod_{j=h+1}^n \tilde{r}'_{ij}}$$

Donde $h = 1, 2, \dots, n$ representa el número de criterios de beneficio que serán maximizados y $n - h$ son los criterios de costo que serán minimizados.

Cada utilidad que genera un ratio en TIL-MULTIMOORA puede representarse como un ranking preliminar, pero para obtener el ranking final deben considerarse los tres ratios. El método más utilizado es *the dominance theory* pero es un método manual; se comparan visualmente las opciones para determinar en nivel de cada alternativa dentro del ranking. Lo idea es aplicar otro tipo de métodos mas robustos con los cuales se pueda generar un algoritmo de selección de las mejores alternativas.

3.6.2 Métodos para generar el ranking de opciones

Para obtener el ranking final de las alternativas se utilizan los ratios generados del modelo MULTIMOORA. Estos ratios servirán para determinar cuál es la mejor alternativa de un problema de toma de decisión. Uno de los métodos es combinar los ratios a partir de la teoría de dominancia (*the dominance theory*), propuesto por Brauers y Zavadskas en [21] por su facilidad de implementación.

Dentro de la literatura se pueden encontrar otros métodos para generar éste ranking. Estos métodos son: el método de posición de rango (*Rank Position Method*) [9] y la regla de borda mejorada (*Improved Borda Rule*) [102].

Theory of Dominance

La teoría del dominio (*Theory of dominance*) [21] consiste en determinar si una solución o alternativa domina dentro de una clasificación o ranking. Este dominio se puede observar analizando los ratios generados en el modelo MULTIMOORA (Ratio System, Reference Point, Full Multiplicative Form). El dominio en dos de los tres métodos es del tipo $a < b < c < d$ de tal forma que:

(d-a-a) es generalmente dominante a (c-b-b);

(a-d-a) es generalmente dominante a (b-c-b);

(a-a-d) es generalmente dominante a (b-b-c),

y la transitividad adicional se resuelve con facilidad, es decir, si a domina a b , y b domina a c entonces a dominará a c . Donde a, b, c y d representan las posiciones de las alternativas en cada ratio.

Rank Position Method

Altuntas et al. en [9] propone *Rank Position Method*, notado como $RPM(A_i)$. Éste valor tiene en cuenta la posición que cada alternativa tuvo en cada uno de los ratios generados con MULTIMOORA.

$$RPM(A_i) = \frac{1}{\left(\frac{1}{r(y_i)} + \frac{1}{r(z_i)} + \frac{1}{r(u_i)}\right)} \quad (3.24)$$

donde y_i , z_i y u_i son *Ratio System*, *The Reference Point Approach* y *The full Multiplicative Form* calculados. La primera posición del ranking la tendrá aquella opción que tenga el valor mínimo en $RPM(A_i)$.

Improved Borda Rule

Wu et al. en su trabajo [102] propone Improved Borda Rule, notado como $IMB(A_i)$. Este valor emplea en su cálculo las posiciones de cada una de las alternativas y los valores de los ratios normalizados siguiendo la expresión:

$$\begin{aligned} IMB(A_i) = & y_i^* \frac{m - r(y_i) + 1}{\frac{m(m+1)}{2}} - z_i^* \frac{r(z_i)}{\frac{m(m+1)}{2}} \\ & + u_i^* \frac{m - r(u_i) + 1}{\frac{m(m+1)}{2}} \end{aligned} \quad (3.25)$$

donde y_i , z_i y u_i son los tres rankings obtenidos de los ratios de MULTIMOORA. La elección de la mejor alternativa está determinada por el máximo valor en $IMB(A_i)$.

Los métodos *Rank Position Method* y *Improved Borda Rule* no dependen de la observación y juicio, se realizan cálculos para determinar las posiciones de cada alternativa A_i . Ambos métodos general el mismo ranking, la principal diferencia entre ellos es como operan con los datos obtenidos de *Ratio System*, *The Reference Point Approach* y *The full Multiplicative Form* para asignar las posiciones de cada alternativa.

3.7 Conclusiones

Los modelos basados en computación con palabras y operaciones difusas pueden ser aplicados en numerosos casos de estudio. Las características de cada modelo permiten contemplar en la toma de decisiones aspectos que son cotidianos para los seres humanos. Estos aspectos son la incertidumbre y la duda, los cuales no pueden medirse con números. El hecho de utilizar escalas con etiquetas lingüísticas en lugar de números vuelve mas amigable una herramienta de evaluación. La toma de decisiones siempre será en un entorno heterogéneo en su mayoría, es por eso que se le debe dar la importancia debida a cada participante de acuerdo a su experiencia o preparación.

Uno de los puntos que se debe considerar en la toma de decisiones es la importancia que cada evaluador le da a los criterios. Este nivel de importancia puede ser medido de forma directa o indirecta, asignando un grado de importancia directamente, o recolectando esa información conforme realiza la evaluación.

El método MULTIMOORA es muy completo y puede aplicarse sin dificultad en la resolución de problemas de toma de decisión. La incorporación de otros métodos lo vuelve adaptable, por lo que es un modelo idóneo para ordenar alternativas en diferentes entornos. Las operaciones realizadas en MULTIMOORA no son complejas, por lo que es posible replicarlas en algoritmos computacionales. El flujo de datos en MULTIMOORA a partir de los datos de entrada es sencillo, por lo que la curva de aprendizaje con respecto a una línea de tiempo no es muy prolongada.

Capítulo 4

Un modelo para Toma de Decisiones Ciudadana en eventos de divulgación

En esta capítulo describiremos el modelo lingüístico de toma de decisiones ciudadana en masa (*Citizen Crowd Decision Making, CCDM*) el cual está diseñado para recolectar y procesar la opinión de los ciudadanos que asisten a eventos de divulgación de CC. Involucrar a los ciudadanos en la elaboración del instrumento de evaluación es una parte primordial en CS. Una forma de hacerlos partícipes en la mejora continua en los proceso dentro del proyecto es integrarlos como grupos de expertos, quienes contribuirán con valoración. EL modelo propuesto en esta memoria de tesis contempla evaluaciones valoraciones con incertidumbre, nivel de importancia de los criterios y sentimiento que cada ciudadano evaluador tiene sobre el criterio que está evaluando.

El conjunto solución del modelo es una etiqueta lingüística representa la valoración colectiva sobre el evento o actividad y un ranking ordenado desde los mejores hasta los peores valorados. En este capítulo se describirá el problema de toma de decisiones, el método de recolección de datos, la agregación colectiva de los scores lingüísticos y el ranking de las actividades.

Este capítulo describe cada uno de pasos que componen el modelo CCDM, el cual se compone de las siguientes secciones: La Sección 4.1 contiene la descripción general del modelo, sus componentes y la descripción de la nomenclatura utilizada. La Sección 4.2 describe los datos de entrada, sus componentes, la ponderación de los criterios y la representación de las opiniones de los expertos. La Sección 4.3 describe la generación del ranking utilizando el método MULTIMOORA a partir de los índices generados de las opiniones de los expertos. La Sección 4.4 contiene el proceso para obtener la valoración colectiva en tres escenarios, optimista, combinado y pesimista. Finalmente en la Sección 4.5 contiene las conclusiones sobre el modelo resaltando puntos importantes.

4.1 Modelo CCDM

En la actualidad existen diversos modelos de toma de decisiones lingüístico aplicados en procesos dentro en la gestión de proyectos, gestión de la salud y consenso para la optimización de procesos a nivel industrial [105], o en entornos dinámicos a gran escala [57]. Dentro de la literatura se pueden encontrar soluciones con aplicaciones móviles, que utilizadas durante el proceso de toma de decisiones y que sirven como herramienta para obtener un consenso en entornos difusos y dinámicos [83]. Para evaluar un proyecto que difunde sus resultados al público, el modelo CCDM necesita recoger las opiniones de los asistentes a las actividades de divulgación. Para el proceso de recolección de datos, proponemos un flujo de trabajo para la aplicación del modelo. La aplicación para dispositivos móviles DIME+ es el medio que interactúa directamente con los ciudadanos expertos para la recolección de sus valoraciones. La figura 4.1 representa el proceso que se sigue desde la recolección de las valoraciones de los ciudadanos expertos, los cálculos matemáticos del modelo, hasta la generación de una clasificación y una evaluación lingüística colectiva. La fase que implica el cómputo de las valoraciones implica tres componentes cruciales: determinar el peso de los criterios evaluables, clasificar los criterios y expresar la opinión del ciudadano experto con incertidumbre.

Durante el proceso de cálculo las opiniones recolectadas con DIME+ se unifican, para obtener un conjunto de valoraciones homogéneas, ya que cada uno de los expertos pueden elegir la granularidad de su evaluación. El modelo requiere que, en la medida de lo posible, no se pierda información al momento de procesar las valoraciones, para ello se incorpora el modelo de representación 2-tuplas. El modelo tiene dos salidas o resultados: una clasificación numérica obtenida de los cálculos realizados con el modelo MULTIMOORA a partir de índices, y una valoración colectiva representada con una etiqueta lingüística unificada. El propósito por el cual se tienen dos resultados es proporcionar a los organizadores de eventos evaluaciones con datos cuantitativos y cualitativos.

4.1.1 Descripción del problema

Denotamos por $\text{card}(X)$ el cardinal (o número de elementos) del conjunto X . Sea $\mathbb{N} = \{1, 2, 3, \dots\}$ el conjunto de todos los enteros positivos. Se tiene $n \in \mathbb{N}$, donde denotamos $[n] = \{1, 2, \dots, n\}$. No se debe confundir con el conjunto de valores enteros $[n] = \{t \in \mathbb{N} : 1 \leq t \leq n\} \subset \mathbb{N}$ con el intervalo real $[1, n] = \{t \in \mathbb{R} : 1 \leq t \leq n\} \subset \mathbb{R}$. Dado $I, D, J, K \in \mathbb{N}$, consideremos los siguientes conjuntos:

$$I \text{ alternativas} \quad \{A_i\}_{i \in [I]} = \{A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_I\},$$

$$D \text{ dimensiones} \quad \{\mathcal{D}_d\}_{d \in [D]} = \{\mathcal{D}_1, \mathcal{D}_2, \dots, \mathcal{D}_d, \dots, \mathcal{D}_D\},$$

$$J \text{ criterios} \quad \{C_j\}_{j \in [J]} = \{C_1, C_2, \dots, C_j, \dots, C_J\},$$

$$K \text{ evaluadores} \quad \{E_k\}_{k \in [K]} = \{E_1, E_2, \dots, E_k, \dots, E_K\}.$$

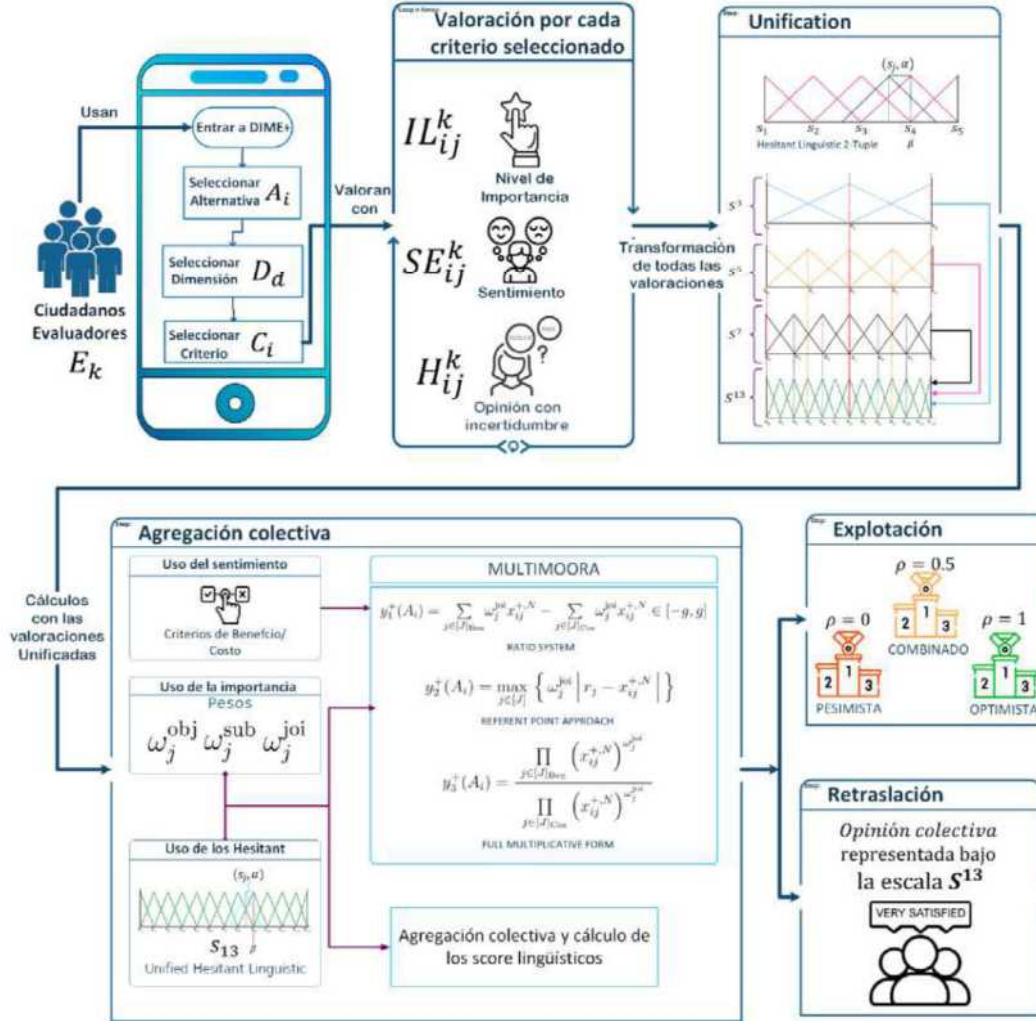


Figura 4.1: Esquema general del modelo CCDM.

Dentro de los modelos clásicos de toma de decisiones las personas que se involucran en el proceso de evaluación son llamados expertos. Estos grupos de expertos suelen ser heterogéneos en cuanto al grado de conocimiento del tema en el que emitirán su valoración. El modelo propuesto en este trabajo se enfoca en la participación de ciudadanos, quienes tendrán el rol de expertos, formando grupos heterogéneos con diferente niveles de conocimiento en el tema que se evalúa. En nuestro caso emplearemos los términos *evaluador* y *experto* de forma indistinta para hacer referencia a los ciudadanos que emiten valoraciones. Durante la explicación de cada uno de los pasos que componen el modelo utilizaremos la siguiente notación:

- índice para las alternativas: $i \in [I]$
- índice para las dimensiones: $d \in [D]$

- índice para los criterios: $j \in [J]$
- índice para los evaluadores: $k \in [K]$
- índices con propósitos generales: $\ell, h \in \mathbb{N}$

En el problema que se va a abordar se tienen varios eventos, el cual se dividirá en distintas actividades. Las actividades pueden tener varias características muy similares o ser totalmente diferentes. Se puede dar el caso que una actividad pueda pertenecer a diferentes eventos, las características que lo diferenciarían sería la ubicación y el periodo de tiempo en que se realiza. El conjunto de alternativas $\{A_i\}_{i \in [I]}$ será la colección de todas las actividades disponibles que tendrán los expertos para evaluar. Para evaluar cada una de las alternativas, cada experto deberá elegir la dimensión y el o los criterios que va a valorar. El proceso de evaluación es iterativo, por lo que en cada valoración se elegirá dimensión y criterio hasta que no haya elementos para evaluar. El número de dimensiones y criterios, el mínimo de evaluaciones por experto, y la personalización de las etiquetas de las escalas lingüísticas será determinado por el organizador del evento (o director del proyecto). El conjunto de todos los criterios (de todas las dimensiones, de todas las alternativas o actividades) se denota por $\{C_j\}_{j \in [J]}$. Se puede entender que una dimensión es un conjunto de criterios, que a su vez pertenece a una alternativa específica. En la siguiente representación usaremos el símbolo “*” que se refiere a la evaluación dada por un experto a un criterio. La agrupación de los criterios en dimensiones se puede expresar de la siguiente forma:

	dim $\mathcal{D}_1$			dim $\mathcal{D}_2$		dim $\mathcal{D}_3$	
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
E_1	*	*	*	*	*	*	*
E_2	*	*	*	*	*	*	*

En el esquema anterior se puede observar que la dimensión $\mathcal{D}_1$ cuenta con tres criterios evaluados, C_1 , C_2 y C_3 ; en la segunda dimensión solo se valoran dos criterios C_4 y C_5 . Este tipo de escenarios se originan porque tanto las dimensiones como los criterios son elegidos de acuerdo al tipo de actividad que se va a evaluar (recordemos que el organizador gestiona estos elementos). Para ejemplificar el caso anterior, se puede tener el caso que los criterios C_1 y C_4 pertenezcan a una dimensión denominada “*Usabilidad*”, el cual puede tener diferentes matices dependiendo el evento. Por ejemplo, la primera dimensión, el criterio C_1 puede referirse a la *usabilidad de dispositivos periféricos* como un teclado para ordenador y, en la segunda dimensión, el criterio C_4 alude a la *usabilidad de un módulo en un sitio web*.

La solución de software DIME+ donde se implementa el modelo propuesto en esta memoria de tesis, que se explica a detalle en el Capítulo 6, se concibe para recolectar las evaluaciones de los ciudadanos expertos. El mínimo de criterios se denota por ϕ y la relación es directamente proporcional al total criterios a evaluar, procurando que no exista un gran número de criterios sin evaluación.

	$\dim \mathcal{D}_1$			$\dim \mathcal{D}_2$		$\dim \mathcal{D}_3$	
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7
E_1	*		*	*			
E_2	*	*	*		*	*	*

Como se observa, teniendo $\varphi = 3$, se puede tener el caso donde no todos los criterios sean evaluados. DIME+ permite entradas como la mostrada. Al momento de realizar los cálculos se eliminan aquellas columnas (o criterios) que no obtuvieron valoraciones, utilizando solo aquellas donde al menos se tuvo una valoración. Es por ello que el mínimo de evaluaciones requeridas va directamente relacionado con el conjunto de criterios evaluables.

4.2 Recolección de datos

Con el fin de captar la mayor información posible proporcionada por los ciudadanos expertos, los datos recolectados por la aplicación móvil DIME+ se componen de tres elementos principales, ver Figura 4.2, Los cuales se representan de la siguiente forma:

$$IL_{ij}^k, SE_{ij}^k, H_{ij}^k,$$

Donde:

- $IL_{ij}^k \in \mathbb{N}$ es el *nivel de importancia* de las alternativas A_i con relación al criterio C_j proporcionado por el evaluador E_k ;
- $SE_{ij}^k \in \{-, +\}$ es el *sentimiento de la opinión* de la alternativa A_i con respecto al criterio C_j proporcionado por el evaluador E_k ;
- H_{ij}^k es la intensidad de la evaluación (u *opinión vacilante*) de la alternativa A_i con respecto al criterio C_j proporcionado por el evaluador E_k . En este apartado se puede tener dos escenarios, uno donde el experto este completamente seguro de su elección y otro donde exista duda. En el caso de incertidumbre su representación esta dada en *Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets* (HFLTS) [74], que se explican a detalle en la sección 3.4.1.

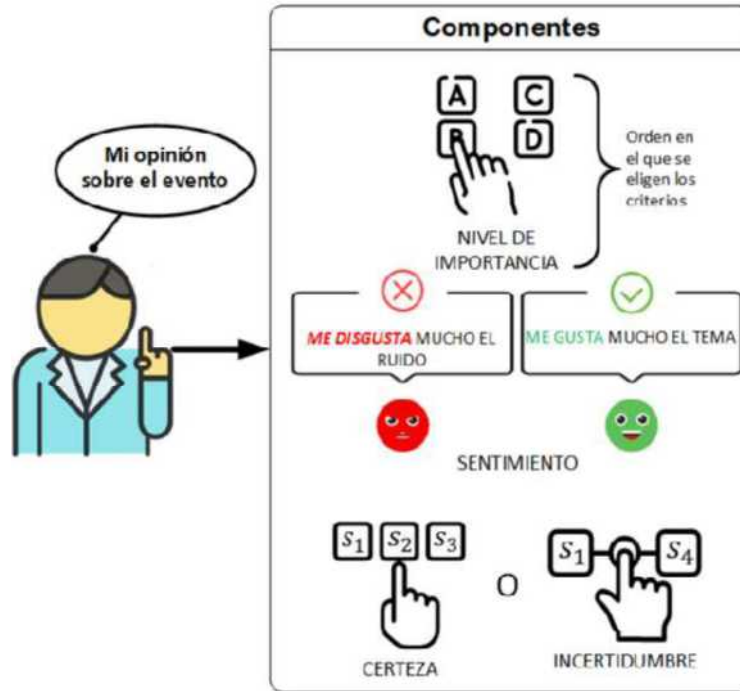


Figura 4.2: Componentes de la opinión de los expertos ciudadanos.

El nivel de importancia indica cual de los criterios es el que tiene mayor relevancia para el experto ciudadano, tomando en cuenta que el primer criterio que elija es el mas importante del conjunto. En el caso del sentimiento, el modelo considera dos tipos de valoraciones: una negativa y una positiva, contemplando que dentro en lo cotidiano expresamos opiniones de algo que nos gusta o nos disgusta. El sentimiento de la opinión se complementa con una intensidad expresada con una sola etiqueta lingüística o un conjunto de etiquetas que representan incertidumbre (*opinión vacilante*), que es un elemento característico de la toma de decisiones en la vida cotidiana. El modelo basa la intensidad de la valoración como un rango, aún cuando la valoración es con certeza por parte del experto ciudadano, se toma como extremos la misma etiqueta. Cuando la valoración es con duda, se toma el rango desde la etiqueta inferior hasta la superior.

Ejemplo 3. El elemento $(1 + 3 : 3)$ puede representar la valoración de un experto capturada por el sistema, de este se pueden extraer los siguientes valores: el número 1, que significa que fue el primer criterio elegido para su valoración, otorgándole el mayor peso con respecto a sus demás. El experto está proporcionando una valoración positiva, por lo que se asignó el símbolo de +, y finalmente la valoración en términos de un rango intensificador.

Observación 4.2.1. A continuación, se realizarán los cálculos algebraicos con los valores numéricos obtenidos de las valoraciones. Por ejemplo, para cada $i \in [I]$ y cada $j \in [J]$,

$$\text{la suma } s = \sum_{k \in [K]} \Pi_{ij}^k \quad \text{y} \quad \text{la media } m = \frac{1}{K} \sum_{k \in [K]} \Pi_{ij}^k. \quad (4.1)$$

Sin embargo, se debe considerar lo explicado párrafos antes, donde algunos operadores IL_{ij}^k pueden carecer de valoración por parte del experto ciudadano E_k . La ausencia de valoraciones del criterio C_j de la alternativa A_i puede darse ya que el experto elige qué y cuántos criterios evaluar, siempre que cumpla con la condición de valorar φ criterios (donde $\varphi \leq J$). Cuando ocurren estos caso, las expresiones con datos vacíos carecen de sentido matemático, razón por la cual se decidió que todas las expresiones algebraicas y datos numéricos con los que se realizarán los cálculos serán solo valores conocidos. Hecha la anterior aclaración, dados $i \in [I]$ y $j \in [J]$, antes de calcular s y m , el sistema calcula el conjunto no vacío $K_{ij} \subseteq [K]$ de todos los índices $k \in [K]$ para los cuales existe IL_{ij}^k (es decir, se conoce), y después se realiza el siguiente cálculo:

$$s = \sum_{k \in K_{ij}} IL_{ij}^k \quad \text{y} \quad m = \frac{1}{\text{card}(K_{ij})} \sum_{k \in K_{ij}} IL_{ij}^k. \quad (4.2)$$

Para evitar complicar la notación, se resalta que escribiremos las expresiones algebraicas correspondientes como en (4.1) teniendo en cuenta que su verdadero significado viene dado en (4.2).

4.2.1 Descripción y uso de los niveles de importancia

Dentro de los problemas de toma de decisiones existen circunstancias que pueden cambiar la elección de la mejor alternativa, estos factores son el nivel de importancia que tienen cada uno de los criterios al momento de asignarles una valoración. Por lo general, la ponderación de los criterios en un problema de toma de decisiones es dado por el moderador, el cual puede ajustar estratégicamente esta asignación para obtener una clasificación deseada, como los sugiere Dong et al. en [106]. En el modelo propuesto en este trabajo de tesis las ponderaciones de los criterios es otorgado por los ciudadanos expertos, de forme directa o indirectamente. Esta ponderación se comportan de manera dinámica, ya que van cambiando conforme se agregan valoraciones a cada alternativa, de esta forma los ciudadanos expertos en conjunto son quienes asignan el nivel de importancia a cada criterio, y no el moderador. Hafezalkotob et al. [48] menciona que los pesos pueden clasificarse en objetivo, basado en los comentarios de los expertos, y subjetivos, el cual se obtiene con la comparación entre los mejores y peores criterios.

En el modelo propuesto, se adaptaron los conceptos de pesos objetivos y subjetivos para el cálculo la ponderación de los criterios y/o dimensiones. Como se puede observar en la Figura 4.3 se tienen tres tipos de pesos, dos de ellos se determinan de la información otorgada por los expertos ciudadanos, el tercer es calculado a partir de los dos anteriores.

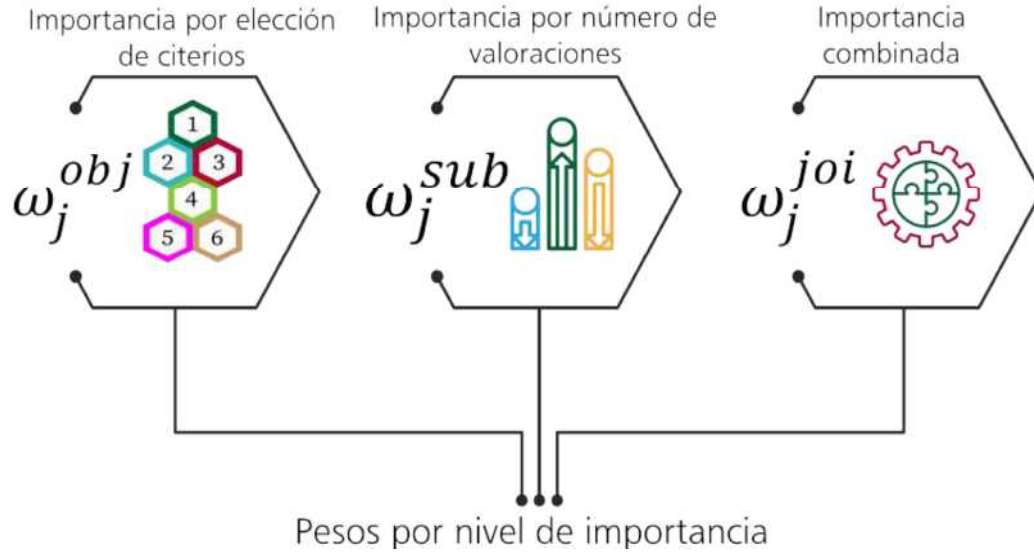


Figura 4.3: Pesos obtenidos a partir del nivel de importancia

El primer peso se obtiene cuando cada evaluador E_k decide el *nivel de importancia* de cada criterio C_j . Esa asignación de importancia es dada al elegir con cierto orden cada uno de los criterios que va a valorar, por ejemplo, el primer criterio que elige es por que llamó su atención de entre todo el conjunto, ya sea por un rasgo positivo o negativo. Al elegir ese primer criterio, el sistema le asigna el nivel “1” de importancia. Cuando se elige un criterio, esta implícito la elección de la dimensión al cual pertenece ese criterio. A continuación el experto elegirá un segundo criterio que haya llamado su atención, este criterio puede o no pertenecer a la misma dimensión del criterio anterior. A este nuevo criterio elegido el sistema le asignará un nivel de importancia “2” y así sucesivamente hasta valorar todos los criterios disponibles o el mínimo requerido por el organizador del evento. La siguiente descripción simbólica es la representación de la asignación del nivel de importancia:

$$E_k \begin{pmatrix} C_1 & C_2 & \dots & C_J \\ \Pi_{i1}^k & \Pi_{i2}^k & \dots & \Pi_{iJ}^k \end{pmatrix}$$

El caso ideal es que los valores $\{\Pi_{ij}^k\}_{j \in [J]}$ serán una permutación de los elementos de $[J]$, desde el criterio más importante (con el nivel de importancia 1) hasta el menos importante (con nivel de importancia J). Como se mencionó con anterioridad, existe la posibilidad de que algún experto no evalúe algunos de los criterios, resultando que, para ese experto, el nivel del último criterio elegido no concuerde con el valor J de los criterios disponibles para valorar.

Existe una relación directa entre el nivel de importancia y los criterios valorados, utilizando esta relación podemos introducir dos tipos de *ponderación* (*objetiva* y *subjetiva*) de la siguiente forma:

- *Peso objetivo*: $\{\omega_j^{\text{obj}}\}_{j \in [J]}$. El peso objetivo se obtiene a partir del nivel de de importancia del criterio C_j . Se representa con un número consecutivo en orden ascendente, siendo el primer criterio elegido el más importante y el último (J) el de menos importancia, en el ejemplo 3 el dato del nivel de importancia en $(1 + 3 : 3)$ es valor al comienzo de la cadena de caracteres. Para calcular el peso objetivo asociado al criterio C_j primero se suma el nivel de importancia de dicho criterio en todas las alternativas y todos los expertos de la siguiente forma:

$$\text{IL}_j = \sum_{i \in [I]} \sum_{k \in [K]} \text{IL}_{ij}^k \in \mathbb{N} \quad \text{para todo } j \in [J], \quad (4.3)$$

Y después determinamos el peso objetivo ω_j^{obj} del criterio C_j distribuyendo los pesos dentro del intervalo $[0,1]$ utilizando el reparto inversamente proporcional de acuerdo a los valores de $\{\text{IL}_1, \text{IL}_2, \dots, \text{IL}_J\}$ (El criterio que tenga el menor valor de IL_j será aquel que tenga mayor peso), obteniendo los valores:

$$\omega_j^{\text{obj}} = \frac{\frac{1}{\text{IL}_j}}{\sum_{j' \in [J]} \frac{1}{\text{IL}_{j'}}} = \frac{\frac{1}{\text{IL}_j}}{\frac{1}{\text{IL}_1} + \frac{1}{\text{IL}_2} + \dots + \frac{1}{\text{IL}_J}} \quad \text{para todo } j \in [J]. \quad (4.4)$$

Cumpliendo la siguiente condición:

$$\sum_{j \in [J]} \omega_j^{\text{obj}} = 1.$$

Tabla 4.1: Tabla de asignación del grado de importancia de cuatro criterio evaluados por cuatro Ciudadanos Expertos

	C_1	C_2	C_3	C_4
E_1	1	2	3	4
E_2	2	1	4	3
E_3	4	3	1	1
E_4	1	4	3	2
ω_j^{obj}	0.3073	0.2458	0.2235	0.2235

Ejemplo 4. Se tienen cuatro criterios C_1, C_2, C_3 y C_4 , para ser evaluados por cuatro expertos ciudadanos E_1, E_2, E_3 y E_4 . En la tabla 4.1 que muestra el orden en que cada experto evaluó cada criterio. Utilizando la ecuación 4.4 se observa que el criterio C_1 es el de mayor importancia con respecto a los demás criterios. A simple vista se puede inferir que el criterio C_1 fue el que captó la mayor atención de los evaluadores, siendo de los primeros en valorar por la mayoría.

- *Peso subjetivo*: $\{\omega_j^{\text{sub}}\}_{j \in [J]}$. El peso subjetivo se adquiere a partir del número de evaluaciones que tiene cada criterio. La elección colectiva es la que otorga el grado de importancia al criterio C_j que se obtiene a partir del cociente entre el número de valoraciones dadas por los expertos a dicho criterio y el número total de valoraciones obtenidas por todo el conjunto de criterios valorados por todos los expertos. De este modo, el criterio que recibe mas valoraciones por parte de los expertos es el que tiene mayor peso. Matemáticamente lo definimos de la siguiente forma:

$$\mu_{ij}^k = \begin{cases} 1, & \text{if } \Pi_{ij}^k \text{ es conocido,} \\ 0, & \text{if } \Pi_{ij}^k \text{ es desconocido.} \end{cases} \quad (4.5)$$

Por tanto, $\sum_{i \in [I]} \sum_{k \in [K]} \mu_{ij}^k$ es el número de evaluaciones que el criterio C_j ha recibido por parte de todos los expertos en todas las alternativas, generando el peso subjetivo de la siguiente forma:

$$\omega_j^{\text{sub}} = \frac{\sum_{i \in [I]} \sum_{k \in [K]} \mu_{ij}^k}{\sum_{i \in [I]} \sum_{k \in [K]} \sum_{j' \in [J]} \mu_{ij'}^k} \quad \text{para todo } j \in [J].$$

Cumpliendo con la siguiente condición:

$$\sum_{j \in [J]} \omega_j^{\text{sub}} = 1.$$

Para visualizar como se obtiene el peso subjetivo ω_j^{sub} , considere $J = 4$ criterios disponibles para su evaluación; un conjunto de expertos E emitieron en total 170 valoraciones, la distribución de estas se observa en la tabla 4.2. En este caso, criterio C_4 tiene un mayor grado de importancia ya que obtuvo un numero mayor de valoraciones comparado con los demás criterios.

Tabla 4.2: Tabla de asignación del peso subjetivo de acuerdo al número de evaluaciones de cada criterio.

Valoraciones	C_1	C_2	C_3	C_4
170	50	10	30	80
ω_j^{sub}	0.29412	0.05882	0.17647	0.47059

- *Pesos combinados*: $\{\omega_j^{\text{joi}}\}_{j \in [J]}$. Cuando se dispone de las ponderaciones objetivas y subjetivas, estas se unifican para obtener un solo peso para cada $j \in [J]$:

$$\omega_j^{\text{joi}} = \frac{\omega_j^{\text{obj}} \cdot \omega_j^{\text{sub}}}{\sum_{j' \in [J]} \omega_{j'}^{\text{obj}} \cdot \omega_{j'}^{\text{sub}}}.$$

Cumpliendo con la siguiente condición:

$$\sum_{j \in [J]} \omega_j^{\text{oi}} = 1.$$

Si todos expertos evalúan la totalidad de los criterios de todas las alternativas, entonces $\omega_j^{\text{sub}} = 1/J$ por cada $j \in [J]$, y se cumple el siguiente resultado

Lema 4.2.1. Si todas las ponderaciones subjetivas son iguales entre sí, entonces cada ponderación conjunta es igual a su ponderación objetiva correspondiente.

4.2.2 Descripción y uso del sentimiento en las opiniones

El modelo CCDM implementa una adaptación de la clasificación de los criterios en costo-beneficio, propuesta por Brauers and Zavadskas [22]. Esta adaptación nos permite darle una connotación de sentimiento a los criterios o dimensiones. El sentimiento en las opinión ayudan a clasificar los criterios en favorables (de *beneficio*) y desfavorables (de *costo*) de acuerdo a la percepción que tiene el evaluador sobre el criterio evaluado en ese momento. Es importante tomar en cuenta los factores emocionales, pues juegan un papel muy importante en el momento que los expertos emiten sus valoraciones [2] [111].

La Figura 4.4 muestra el proceso que sigue el experto para asignar el sentimiento a cada criterio evaluado. El sentimiento va relacionado con el impacto que tiene el criterio en el evaluador, tomando percepciones positivas y negativas sobre un mismo evento o actividad. Es por eso que dados $i \in [I]$ y $j \in [J]$, consideremos la columna de opinión SE_{ij}^k asociado al criterio C_j de la alternativa A_i proporcionado por todos los evaluadores E_k .

$$\begin{matrix} & C_j \\ E_1 & \left(\begin{matrix} SE_{ij}^1 \\ SE_{ij}^2 \\ \vdots \\ SE_{ij}^K \end{matrix} \right) \\ E_2 & \\ \vdots & \\ E_K & \end{matrix}$$

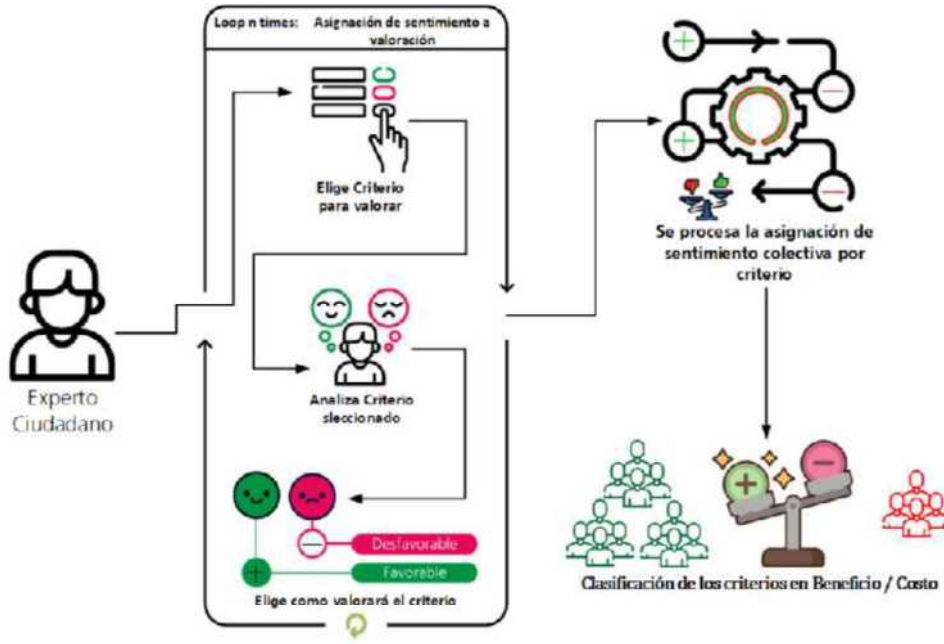


Figura 4.4: Procesamiento del sentimiento en las valoraciones

Esta columna solo contiene la asignación de sentimiento positivo (+) y/o negativo (-). Clasificaremos el criterio C_j como de *beneficio* cuando existan mayor o igual número de opiniones con sentimiento positivo que negativo (considerando todas las alternativas y todos los expertos). Cuando el criterio C_j tenga más opiniones con sentimiento negativo lo clasificaremos como criterio de *costo*. Esta clasificación de los criterios permite a los organizadores de evento enfocarse en proceso de mejora para aquellos criterios y/o dimensiones con un gran número de valoraciones negativas. El proceso anterior se puede describir matemáticamente de la siguiente forma:

$$\eta_{ij}^k = \begin{cases} 1, & \text{si } SE_{ij}^k = +, \\ -1, & \text{si } SE_{ij}^k = -; \end{cases} \quad \eta_j = \sum_{i \in [I]} \sum_{k \in [K]} \eta_{ij}^k;$$

$$\text{El criterio } C_j \text{ es } \begin{cases} \text{Beneficio}, & \text{si } \eta_j \geq 0, \\ \text{Costo}, & \text{si } \eta_j < 0. \end{cases}$$

En consecuencia, tendremos una descomposición de los criterios en dos clases:

$$[J] = [J]_{\text{Ben}} \cup [J]_{\text{Cos}},$$

donde la unión anterior es disjunta (un mismo criterio no puede ser, al mismo tiempo, de beneficio y de costo).

Tabla 4.3: Ejemplo: Tabla de asignación del sentimiento a cada criterio evaluado por parte de los Ciudadanos Expertos

	C_1	C_2	C_3	C_4
CE_1	+	-	+	+
CE_2	+	-	-	+
CE_3	+	-	+	+
CE_4	+	-	-	-

Ejemplo 5. Tomando los elementos descritos en el ejemplo 4, y para visualizar el cálculo de sentimiento, observe la tabla 4.3 donde los ciudadanos expertos valoraron criterios. El criterio C_1 , C_3 y C_4 son considerados como *criterios de Beneficio* ya que el número de valoraciones positivas es mayor a las negativas, siendo C_2 un *criterio de Costo*.

4.2.3 Descripción y uso de hesitants lingüísticos

Los ciudadanos expertos expresan sus opiniones sobre cada alternativa basado en una serie de criterios que representan diferentes aspectos de los eventos y actividades. Para poder tener un alto nivel de aceptación y pertenencia de los experto, ellos elige la granularidad g_i^k de un estado en el espacio $S^{g_i^k}$ (como se muestra en la definición 6) en la que van a expresar su opinión sobre la actividad. Dentro del contexto de la evaluación, el experto puede estar muy seguro de la etiqueta lingüística $S^{g_i^k}$ que expresa de forma correcta su opinión. Sin embargo, se debe considerar un aspecto clave que sucede comúnmente en la toma de decisiones, la incertidumbre y valoraciones imprecisas. La aplicación móvil DIME+ tiene la capacidad de permitir la recolección de evaluaciones con incertidumbre, cuya representación en la implementación se trata como un dato *HFLTS* (Hesitant Fuzzy Linguistic Term Sets) [74]. El experto pueden elegir el rango consecutivo de etiquetas lingüísticas (es decir, el valor vacilante $\tilde{H}_{ij}^k \subseteq S^{g_i^k}$) que tenga el mejor ajuste a su opinión. Dado que cada conjunto de términos de la familia $\{S^{g_i^k} : i \in [I], j \in [J], k \in [K]\}$ pueden verse en un conjunto de términos comunes $S^g = \{s_1, s_2, \dots, s_g\}$. usando la siguiente función con notación propia basada en el trabajo [74]:

$$g = \text{LCM}(g_1 - 1, g_2 - 1, \dots, g_T - 1) + 1 = 2\text{LCM}\left(\frac{g_1 - 1}{2}, \frac{g_2 - 1}{2}, \dots, \frac{g_T - 1}{2}\right) + 1, \quad (4.6)$$

Teniendo que $n \in \mathbb{N}$, en el que denotamos por $[n]$ el conjunto $\{1, 2, \dots, n\}$. En $g \in \mathbb{N}$ representamos $S^g = \{s_1^g, s_2^g, \dots, s_g^g\}$ como el conjunto de g etiquetas lingüísticas ordenadas, cuyo limite inferior es la peor valoración y el superior la mejor. La unificación de los niveles $j_{g_t}^g : S^{g_t} \hookrightarrow S^g$ se proporciona para cada $t \in [T]$, por:

$$j_{g_t}^g(s_\ell^{g_t}) = s_{(\ell-1) \cdot \frac{g-1}{g_t-1} + 1}^g \quad \text{para todo } \ell \in \{1, 2, \dots, g_t\}. \quad (4.7)$$

Dado que $g_t - 1$ es un divisor de $g - 1$, entonces $(g - 1)/(g_t - 1)$ es un número natural que se interpreta como el paso en el que Los términos de S^{g_t} están incrustados en S^g . Cada valor HFLTS $\tilde{H}_{ij}^k \subseteq S^{g_t}$ es asociado a un único hesitant $H_{ij}^k \subseteq S^g$ en el espacio común empleado en el mapa $j_{g_t}^g$ obtenido con (4.7). De hecho, H_{ij}^k es la *estructura de los niveles* en S^g de $j_{g_t}^g(\tilde{H}_{ij}^k)$.

Observación 4.2.2. Observe que un hesitant $\tilde{H}_{ij}^k$ en S^{g_t} se puede identificar en una estructura de niveles en S^g . Por ejemplo, supongamos que $g_1 = 3$, $g_2 = 5$ y $g_3 = 7$. Por consiguiente $g = 13$. Considere el Hesitant $\tilde{H} = \{s_2^3, s_3^3\} \subset S^3$. Desde el mapeo $j_3^{13} : S^3 \rightarrow S^{13}$ verifica $j_3^{13}(s_2^3) = s_7^{13}$ y $j_3^{13}(s_3^3) = s_{13}^{13}$, entonces el hesitant $\tilde{H} = \{s_2^3, s_3^3\} \subset S^3$ está asociado a:

$$H = \{s_7^{13}, s_8^{13}, s_9^{13}, s_{10}^{13}, s_{11}^{13}, s_{12}^{13}, s_{13}^{13}\} \subset S^{13}$$

en el espacio común de S^{13} cuyas etiquetas lingüísticas están ordenadas de forma consecutiva por definición.

Es unificación es esencial para poder realizar los cálculos dentro del modelo propuesto. Después de esta unificación, en un nivel común de los términos S^g , cada opinión hesitant H_{ij}^k puede implementarse como:

$$H_{ij}^k = \{s_\ell \in S^g : \ell_{ij}^{k,-} \leq \ell \leq \ell_{ij}^{k,+}\},$$

Donde $\ell_{ij}^{k,-} \in [g]$ es el *extremo pesimista* y $\ell_{ij}^{k,+} \in [g]$ es el *extremo optimista* de cada hesitant H_{ij}^k . Como hemos comentado antes, trabajar en un conjunto de términos común S^g garantiza la posibilidad de calcular con palabras mediante el uso de la biyección Δ_g^{-1} descrito en el teorema 1. Desde este punto de vista, cualquier Hesitant $H_{ij}^k = \{s_\ell \in S^g : \ell_{ij}^{k,-} \leq \ell \leq \ell_{ij}^{k,+}\}$ de S^g se caracteriza completamente por sus extremos pesimista y optimista, denotados por $\ell_{ij}^{k,-}, \ell_{ij}^{k,+} \in [g]$, así que usaremos la siguiente identificación:

$$H_{ij}^k \longleftrightarrow [\ell_{ij}^{k,-}, \ell_{ij}^{k,+}] \cap \mathbb{N} \subseteq [g].$$

Los extremos ($\ell_{ij}^{k,-}$ y $\ell_{ij}^{k,+}$) serán los valores que se utilizarán en la fase de explotación (véase Sección 4.3) cuando se emplee el procedimiento MULTIMOORA ([25], [22]). Este modelo es una extensión de una conocida metodología aplicada en Economía donde se genera un ranking a partir de la clasificación de criterios objetivos que se basan en un análisis de costo y beneficio bajo un enfoque materialista, donde el costo representa un impacto negativo (valor a minimizar) y el beneficio un impacto positivo (valor a maximizar).

4.3 Generación de ranking con MULTIMOORA CCDM

Utilizaremos el modelo MULTIMOORA para generar un ordenamiento (o ranking) de alternativas basado en ratios adimensionales entre 0 y 1. En este trabajo de investigación, aplicaremos MULTIMOORA utilizando dos tipos distintos de valores: los extremos inferiores $\ell_{ij}^{k,-}$ (pesimista) y, los extremos superiores $\ell_{ij}^{k,+}$ (optimista) (optdad de no saturar la descripción del procedimiento, cada uno de los pasos del modelo será descrito utilizando los valores del extremos superior (optimista), ya que el desarrollo utilizando los valores del otro extremos es igual. Tratando de que el modelo sea lo mas flexible posible, se incorpora un parámetro denominado ρ , con el cual el organizador del evento puede cambiar la orientación del ranking, es decir, mostrar el ordenamiento con tendencias positivas, negativas o con un enfoque neutro (combinación de ambas perspectivas). Aunque existen varios métodos para resolver problemas, MULTIMOORA destaca por su facilidad para implementar y realizar los cálculos para la obtención de la mejor opción ([65] [110]), razgo que se utiliza en este estudio para proporcionar la generación de un algoritmo en un lenguaje de programación donde se implementa la metodología, y que puede ser reutilizable y/o replicable.

En el modelo propuesto por Liu [67] (que se describe en la Sección 3.6.1) que emplea intervalos lingüísticos 2-tuplas para generar un ranking de alternativas, así como otros métodos extendidos de MULTIMOORA ([7],[14]), los pesos y la clasificación de los criterios lo realiza el moderador. Con respecto esos modelos propuestos, los cambios (o mejoras) que se proponen en éste trabajo es utilizar el sentimiento positivo y negativo en las valoraciones de los expertos (véase 4.2.2), para clasificar los criterios en costo/beneficio. Los pesos objetivos y subjetivos estarán calimista). Con la finaliculados a partir de el nivel de importancia y el numero total de evaluaciones que tiene cada criterio (véase 4.2.1). Para la obtención de los ratios, se sigue utilizando en mismo método que el modelo clásico, pero con la particularidad que se pueden obtener con un enfoque positivo o negativo.

4.3.1 Índice $p = 1$: Ratio System (RS)

Esta metodología asigna a cada alternativa A_i el valor:

$$y_1^+(A_i) = \sum_{j \in [J]_{\text{Ben}}} \omega_j^{\text{joi}} x_{ij}^{+,N} - \sum_{j \in [J]_{\text{Cos}}} \omega_j^{\text{joi}} x_{ij}^{+,N} \in [-g, g],$$

Donde $[J]_{\text{Ben}}$ es el índice correspondiente al criterio de *Beneficio* y $[J]_{\text{Cos}}$ es el índice correspondiente al criterio de *Costo*.

La alternativa A_{i_0} con el valor más alto del conjunto $\{y_1^+(A_1), y_1^+(A_2), \dots, y_1^+(A_I)\}$ será considerado como el mejor, y su ranking será $r_1^+(A_{i_0}) = 1$. Por el contrario, la alternativa A_{i_1} con el valor más bajo del conjunto $\{y_1^+(A_1), y_1^+(A_2), \dots, y_1^+(A_I)\}$ será considerado como el peor, y su clasificación será $r_1^+(A_{i_1}) = I$. De este modo, habrá una permutación $\sigma_1 : [I] \rightarrow [I]$

$$y_1^+(A_{\sigma_1(1)}) > y_1^+(A_{\sigma_1(2)}) > \dots > y_1^+(A_{\sigma_1(I)})$$

(los valores se ordenan de forma decreciente, empezando por el más alto), lo que conduce a la clasificación:

$$r_1^+(A_i) = \sigma_1^{-1}(i) \quad \text{para todo } i \in [I].$$

4.3.2 Índice $p = 2$: Reference Point Approach (RPA)

Esta metodología utiliza un valor de referencia para cada criterio, que es:

$$r_j = \begin{cases} \max_{i \in [I]} \{x_{ij}^{+,N}\}, & \text{si } j \in [J]_{\text{Ben}}, \\ \min_{i \in [I]} \{x_{ij}^{+,N}\}, & \text{si } j \in [J]_{\text{Cos}}. \end{cases}$$

Después, los valores correspondientes para cada $i \in [I]$ son,

$$y_2^+(A_i) = \max_{j \in [J]} \left\{ \omega_j^{\text{joi}} \left| r_j - x_{ij}^{+,N} \right| \right\}.$$

Estos valores ordenarán las alternativas de forma creciente: la alternativa A_{i_0} con el valor más bajo del conjunto $\{y_2^+(A_1), y_2^+(A_2), \dots, y_2^+(A_I)\}$ se considerará el mejor, y su clasificación será $r_2^+(A_{i_0}) = 1$; por el contrario, la alternativa A_{i_1} con el valor mas alto del conjunto $\{y_2^+(A_1), y_2^+(A_2), \dots, y_2^+(A_I)\}$ se considerará la peor, y su clasificación será $r_2^+(A_{i_1}) = I$. De este modo, habrá una permutación $\sigma_2 : [I] \rightarrow [I]$ tal que:

$$y_2^+(A_{\sigma_2(1)}) < y_2^+(A_{\sigma_2(2)}) < \dots < y_2^+(A_{\sigma_2(I)})$$

(los valores se ordenan de forma creciente, empezando por el más bajo), lo que conduce a la siguiente clasificación:

$$r_2^+(A_i) = \sigma_2^{-1}(i) \quad \text{para todo } i \in [I].$$

4.3.3 Índice $p = 3$: Full Multiplicative Form (FMF)

Con este método se calculan los valores de la siguiente forma:

$$y_3^+(A_i) = \frac{\prod_{j \in [J]_{\text{Ben}}} \left(x_{ij}^{+,N} \right)^{\omega_j^{\text{joi}}}}{\prod_{j \in [J]_{\text{Cos}}} \left(x_{ij}^{+,N} \right)^{\omega_j^{\text{joi}}}},$$

donde, por convención, suponemos que el numerador es 1 si todos los criterios son de coste, y también suponemos que el denominador es 1 si todos los criterios son de beneficio. Estos valores se ordenarán de forma descendente. La alternativa A_{i_0} con el valor mas alto del conjunto $\{y_3^+(A_1), y_3^+(A_2), \dots, y_3^+(A_I)\}$ se considerará la mejor, y su clasificación será $r_3^+(A_{i_0}) = 1$. Por el contrario, la alternativa A_{i_1} con el valor más bajo del conjunto $\{y_3^+(A_1), y_3^+(A_2), \dots, y_3^+(A_I)\}$ será considerado como el peor y su clasificación será $r_3^+(A_{i_1}) = I$. De este modo, habrá una permutación $\sigma_3 : [I] \rightarrow [I]$ tal que

$$y_3^+(A_{\sigma_3(1)}) > y_3^+(A_{\sigma_3(2)}) > \dots > y_3^+(A_{\sigma_3(I)})$$

(los valores se ordenan de forma decreciente, empezando por el más alto), lo que conduce a la clasificación:

$$r_3^+(A_i) = \sigma_3^{-1}(i) \quad \text{para todo } i \in [I].$$

4.3.4 Índice de ordenamiento $p = 4$: Improved Borda Rule (IMB)

Para realizar este método se toma el conjunto de alternativas y sus valores asociados por los tres procedimientos anteriores, por lo que se considera la siguiente matriz:

$$\begin{matrix} & p=1 & p=2 & p=3 \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_I \end{matrix} & \begin{pmatrix} y_1^+(A_1) & y_2^+(A_1) & y_3^+(A_1) \\ y_1^+(A_2) & y_2^+(A_2) & y_3^+(A_2) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ y_1^+(A_I) & y_2^+(A_I) & y_3^+(A_I) \end{pmatrix} \end{matrix}.$$

Esta matriz se normaliza mediante el proceso comentado anteriormente de forma que cada uno de sus elementos se divide por la norma euclidiana de su correspondiente vector columna, que es:

$$\sqrt{\sum_{i' \in [I]} (y_p^+(A_{i'}))^2}.$$

A continuación obtenemos los valores normalizados, que son para cada $i \in [I]$ y por cada $p \in \{1, 2, 3\}$:

$$y_p^{+,N}(A_i) = \frac{y_p^+(A_i)}{\sqrt{\sum_{i' \in [I]} (y_p^+(A_{i'}))^2}} \in [0, 1].$$

Por lo tanto, podemos considerar la siguiente matriz normalizada:

$$\begin{array}{c}
A_1 \\
A_2 \\
\vdots \\
A_I
\end{array}
\begin{pmatrix}
p=1 & p=2 & p=3 \\
y_1^{+,N}(A_1) & y_2^{+,N}(A_1) & y_3^{+,N}(A_1) \\
y_1^{+,N}(A_2) & y_2^{+,N}(A_2) & y_3^{+,N}(A_2) \\
\vdots & \vdots & \vdots \\
y_1^{+,N}(A_I) & y_2^{+,N}(A_I) & y_3^{+,N}(A_I)
\end{pmatrix}$$

compartiendo las mismas características antes mencionadas. El valor final asociado a cada alternativa A_i es:

$$y_4^p(A_i) = \frac{2}{I(I+1)} \left((I+1 - r_1^p(A_i)) \cdot y_1^{p,N}(A_i) - r_2^p(A_i) \cdot y_2^{p,N}(A_i) \right. \\
\left. + (I+1 - r_3^p(A_i)) \cdot y_3^{p,N}(A_i) \right),$$

donde utilizamos los valores normalizados $y_1^{+,N}(A_i), y_2^{+,N}(A_i), y_3^{+,N}(A_i)$ (calculados con las tres primeras metodologías) junto con sus clasificaciones correspondientes $r_1^+(A_i), r_2^+(A_i), r_3^+(A_i)$. Los valores $\{y_4^+(A_1), y_4^+(A_2), \dots, y_4^+(A_I)\}$ se ordenarán de forma decreciente. La alternativa A_{i_0} con el valor más alto en el conjunto $\{y_4^+(A_1), y_4^+(A_2), \dots, y_4^+(A_I)\}$ se considerará la mejor, y su clasificación será $r_4^+(A_{i_0}) = 1$. Por el contrario, la alternativa A_{i_1} con el valor más bajo en el conjunto $\{y_4^+(A_1), y_4^+(A_2), \dots, y_4^+(A_I)\}$ será considerado como el peor, y su clasificación será $r_4^+(A_{i_1}) = I$. De esta forma, habrá una permutación $\sigma_4 : [I] \rightarrow [I]$ de tal forma que:

$$y_4^+(A_{\sigma_4(1)}) > y_4^+(A_{\sigma_4(2)}) > \dots > y_4^+(A_{\sigma_4(I)})$$

(los valores se ordenan de forma decreciente, empezando por el más alto), lo que conduce a la siguiente clasificación:

$$r_4^+(A_i) = \sigma_4^{-1}(i) \quad \text{para todo } i \in [I].$$

4.4 Agregación colectiva y cálculo de valoraciones lingüísticas

Para realizar el proceso de agregación y el cálculo de las valoraciones lingüísticas colectivas se asocian las evaluaciones lingüísticas (*scores*) a distintas categorías entre las estructuras que manejamos: dimensiones, alternativas y, por último, eventos. La clave de la clasificación es el conjunto de 2-tuplas $\{y_p^p(A_1), y_p^p(A_2), \dots, y_p^p(A_I)\}$ (que se obtienen con lo explicado en la sección 4.3) que se generarán en la fase de ranking de alternativas.

$$\begin{array}{c}
 A_1 \\
 A_2 \\
 \vdots \\
 A_I
 \end{array}
 \begin{pmatrix}
 C_1 & C_2 & \dots & C_J \\
 x_{11}^+ & x_{12}^+ & \dots & x_{1J}^+ \\
 x_{21}^+ & x_{22}^+ & \dots & x_{2J}^+ \\
 \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
 x_{I1}^+ & x_{I2}^+ & \dots & x_{IJ}^+
 \end{pmatrix}$$

Con el fin de aplicar las distintas metodologías de clasificación, estas evaluaciones se normalizan dividiendo los términos de cada columna j por el número:

$$\sqrt{\sum_{i' \in [I]} (x_{i'j}^+)^2},$$

que es la norma euclidiana del vector columna correspondiente. Los *valores normalizados* son, para cada $i \in [I]$ y para cada $j \in [J]$:

$$x_{ij}^{+,N} = \frac{x_{ij}^+}{\sqrt{\sum_{i' \in [I]} (x_{i'j}^+)^2}} \in [0, 1]$$

y se genera la siguiente matriz:

$$\begin{array}{c}
 A_1 \\
 A_2 \\
 \vdots \\
 A_I
 \end{array}
 \begin{pmatrix}
 C_1 & C_2 & \dots & C_J \\
 x_{11}^{+,N} & x_{12}^{+,N} & \dots & x_{1J}^{+,N} \\
 x_{21}^{+,N} & x_{22}^{+,N} & \dots & x_{2J}^{+,N} \\
 \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
 x_{I1}^{+,N} & x_{I2}^{+,N} & \dots & x_{IJ}^{+,N}
 \end{pmatrix} \quad (4.9)$$

La matriz generada nos proporciona dos ventajas importantes: por un lado, $x_{ij}^{+,N}$ son valores normalizados en el sentido de que $x_{ij}^{+,N} \in [0, 1]$ (mientras que $x_{ij}^+ \in [1, g]$ no están normalizados); por otro lado, las columnas de esta matriz son vectores unitarios bajo la norma euclidiana porque para cada $j \in [J]$ se cumple:

$$\sum_{i \in [I]} (x_{ij}^{+,N})^2 = 1.$$

Aplicando la ecuación (4.8), hemos establecido una primera fase de agregación que combina las valoraciones de los ciudadanos. Sin embargo, podemos establecer otros resultados derivados de esta información. Por ejemplo, se puede obtener una matriz similar utilizando los valores pesimistas $\ell_{ij}^{k,-}$. Además de esto, también hay una tercera forma de calcular dicha matriz: empleando un parámetro fijo $\rho \in [0, 1]$ que combina los valores optimistas y pesimistas de la siguiente manera:

$$x_{ij}^p = (1 - \rho) \cdot x_{ij}^- + \rho \cdot x_{ij}^+ \quad (4.10)$$

por cada $i \in [I]$ y cada $j \in [J]$. El parámetro ρ debe ser seleccionado por el moderador para establecer un *equilibrio* entre los puntos de vista pesimistas y optimistas. Cada una de estas matrices compuestas con valores optimistas, como en (4.9), pesimistas, o con valores combinados, como en (4.10), son las entradas para el método de clasificación MULTIMOORA que explota las *valoraciones* de cada categoría (dimensiones, criterios y eventos). Trabajaremos con la siguiente matriz combinada:

$$\begin{matrix} & C_1 & C_2 & \dots & C_J \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_I \end{matrix} & \begin{pmatrix} x_{11}^p & x_{12}^p & \dots & x_{1J}^p \\ x_{21}^p & x_{22}^p & \dots & x_{2J}^p \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{I1}^p & x_{I2}^p & \dots & x_{IJ}^p \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Porque cuando se tiene el valor $\rho = 1$ corresponde al caso optimista, y en el valor $\rho = 0$ al pesimista.

4.4.1 Cálculo de los valoraciones por dimensiones

Utilizando los datos de la matriz combinada, se realiza una segunda agregación para los criterios que integran a cada dimensión. Recordemos que el conjunto $\{\mathcal{D}_d\}_{d \in [D]}$ de todas las dimensiones se puede ver como una partición del conjunto $\{C_j\}_{j \in [J]}$ de todos los criterios, es decir, hay una partición $[J] = J_1 \cup J_2 \cup \dots \cup J_D$ por subconjuntos no vacíos y disjuntos por pares tales que existe $\mathcal{D}_d = \{C_j\}_{j \in J_d}$ por cada $d \in [D]$. Bajo este punto de vista, asociado a cada alternativa A_i y a cada dimensión $\mathcal{D}_d$, podemos calcular la valoración de la siguiente forma:

$$\beta^p(A_i, \mathcal{D}_d) = \frac{1}{\text{card}(J_d)} \sum_{j \in J_d} x_{ij}^p. \quad (4.11)$$

De forma similar, podemos llevar a cabo la agregación total por criterios, utilizando el conjunto de los pesos combinados de los criterios $\{\omega_j^{\text{oi}}\}_{j \in [J]}$, para obtener la valoración final expresada en términos 2-tuplas de cada alternativa.

4.4.2 Cálculo de las valoraciones por alternativas

Para calcular las valoraciones de cada alternativa A_i , utilizamos la siguiente función:

$$\beta_{\text{Avg}}^p(A_i) = \sum_{j \in [J]} \omega_j^{\text{oi}} x_{ij}^p \in [1, g], \quad (4.12)$$

y usando el mapeo $\Delta_g|_{[1,g]} : [1,g] \rightarrow \Omega_g \subset S^g \times [-0.5, 0.5)$ introducido en (3.1), cada valor $\beta_{\text{Avg}}^p(A_i) \in [1,g]$ corresponde a un único valor 2-tuple

$$(s_{\ell_i}, \alpha_i) = \Delta_g \left(\beta_{\text{Avg}}^p(A_i) \right) \in \Omega_g \subset S^g \times [-0.5, 0.5).$$

De esta forma, la etiqueta resultante $s_{\ell_i} \in S^g$ se interpretará como la *puntuación lingüística final de la alternativa A_i* .

4.4.3 Ranking de alternativas

Para generar el ranking, se clasifican las alternativas mediante el empleo de ratios normalizados adimensionales entre 0 y 1. Este método es MULTIMOORA y se describe a detalle en la Sección 4.3, donde se calculan los ratios para después con ellos obtener las mejores opciones. En el ranking de alternativas utilizamos la siguiente notación:

- Describimos cuatro índices de clasificación. Para distinguirlos, utilizamos un parámetro $p \in \{1, 2, 3, 4\}$ ($p = 1$ para *Ratio System*, $p = 2$ para *Reference Point Approach*, $p = 3$ para *Full Multiplicative Form* y $p = 4$ para *Improved Borda Rule*). Recordemos que la obtención de cada uno de éstos índices se describe a detalle en la Sección 4.4.3.
- Un número real único $y_p^+(A_i)$ se asociará a cada alternativa A_i dependiendo de la metodología $p \in \{1, 2, 3, 4\}$.
- Dado un p fijo, y en función de los valores reales $\{y_p^+(A_1), y_p^+(A_2), \dots, y_p^+(A_I)\}$, un rango $r_p^+(A_i)$ entre 1 e I se asociará a cada alternativa A_i , de tal manera que el conjunto $\{r_p^+(A_1), r_p^+(A_2), \dots, r_p^+(A_I)\}$ será una permutación de $[I]$.
- Para el ranking de las alternativas el valor de 1 se asociará a la mejor valorada; siguiendo una secuencia el 2 será para la segunda mejor valorada; y así sucesivamente hasta el total de alternativas valoradas. Se debe hacer mención que existen metodologías emplean el orden decreciente de los valores $\{y_p^+(A_1), y_p^+(A_2), \dots, y_p^+(A_I)\}$ donde a mayor valor mejor posición en el ranking. El ordenamiento creciente o decreciente de los valores se puede observar en la generación de los ratios, dependiendo del proceso que se este utilizando.

4.4.4 Combinación de escenarios optimistas y pesimistas

Como se mencionó en la Sección 4.2.3, los ciudadanos pueden expresar sus valoraciones con incertidumbre, proporcionando la información necesaria para generar dos tipos de matrices, una con valoraciones desde la perspectiva optimista y otra con perspectiva pesimista. Esta información es de gran utilidad para el organizador del evento, pues le muestra dos tipo de percepciones de una actividad o evento con base en la incertidumbre de los evaluadores. Con estos valores

y utilizando por separado el índice $p = 4$, se pueden obtener rankings pesimistas y optimistas. Estas ordenaciones están asociadas a ciertos valores reales:

$$\{y_p^+(A_1), y_p^+(A_2), \dots, y_p^+(A_I)\}, \quad \text{donde } p \in \{1, 2, 3, 4\}.$$

Empleando los valores pesimistas, podemos repetir de forma similar el proceso anterior, obteniendo los valores:

$$\{y_p^-(A_1), y_p^-(A_2), \dots, y_p^-(A_I)\}, \quad \text{donde } p \in \{1, 2, 3, 4\}.$$

Cómo se mencionó en secciones anteriores, la propuesta del tema de investigación incorpora elementos dinámicos. En este proceso también se dispone de un elemento dinámico, el parámetro $\rho \in [0, 1]$, con el cual el organizador del evento puede realizar un ranking combinado. Con este parámetro se puede desplazar de forma lineal entre un ranking con perspectiva pesimista y optimista.

$$\begin{cases} y_p^\rho(A_1) = (1 - \rho) \cdot y_p^-(A_1) + \rho \cdot y_p^+(A_1), \\ y_p^\rho(A_2) = (1 - \rho) \cdot y_p^-(A_2) + \rho \cdot y_p^+(A_2), \\ \vdots \\ y_p^\rho(A_I) = (1 - \rho) \cdot y_p^-(A_I) + \rho \cdot y_p^+(A_I). \end{cases}$$

Cuando $\rho = 1/2$, se considera un ranking con perspectiva neutra, en el cual se considera las medias correspondientes de las valoraciones de las alternativas. De esta forma se obtiene la siguiente clasificación final

$$A_{\sigma_p^\rho(1)} > A_{\sigma_p^\rho(2)} > \dots > A_{\sigma_p^\rho(I)} \quad \text{donde} \quad r_p^\rho(A_i) = (\sigma_p^\rho)^{-1}(i) \text{ para todo } i \in [I].$$

Tenga en cuenta que, para calcular $y_4^\rho(A_i)$, es necesario normalizar previamente los valores mediante:

$$y_p^{\rho, N}(A_i) = \frac{y_p^\rho(A_i)}{\sqrt{\sum_{i' \in [I]} (y_p^\rho(A_{i'}))^2}} \quad \text{para todo } p \in \{1, 2, 3\},$$

Una vez normalizados los valores se obtiene la siguiente matriz:

$$\begin{array}{c}
 A_1 \\
 A_2 \\
 \vdots \\
 A_I
 \end{array}
 \begin{array}{ccc}
 p=1 & p=2 & p=3 \\
 \left(\begin{array}{ccc}
 y_1^{p,N}(A_1) & y_2^{p,N}(A_1) & y_3^{p,N}(A_1) \\
 y_1^{p,N}(A_2) & y_2^{p,N}(A_2) & y_3^{p,N}(A_2) \\
 \vdots & \vdots & \vdots \\
 y_1^{p,N}(A_I) & y_2^{p,N}(A_I) & y_3^{p,N}(A_I)
 \end{array} \right)
 \end{array}
 .$$

En este caso, se obtiene la siguiente valoración final:

$$y_4^p(A_i) = \frac{2}{I(I+1)} \left((I+1 - r_1^p(A_i)) \cdot y_1^{p,N}(A_i) - r_2^p(A_i) \cdot y_2^{p,N}(A_i) \right. \\
 \left. + (I+1 - r_3^p(A_i)) \cdot y_3^{p,N}(A_i) \right),$$

para cada $i \in [I]$.

4.5 Conclusiones

El modelo propuesto en este tema de investigación incorpora elementos que lo vuelven dinámico en ciertos procesos, de esta forma los organizadores de eventos o actividades puede simular escenarios con los valoraciones de los asistentes. Durante el proceso de evaluación elementos como los pesos en los criterios, y en nuestro caso su clasificación en costo-beneficio, pasan de ser valores asignados por los moderadores a valores colectivos de los expertos. Este tipo de características permiten que la implementación en aplicaciones móviles y el portal sean atractivos para su uso en eventos de CS.

Los elementos que componen las opiniones de los expertos ciudadanos proporciona la mayor información posible que un experto ciudadano puede proporcionar en una valoración. Esta información al ser desglosada puede ser utilizada por el organizador para determinar otro tipo de aspectos mas allá de un ranking de actividades como la identificación de puntos de mejora basado en las valoraciones negativas en un criterio o dimensión.

El tener un ranking cuantitativo y una valoración lingüística colectiva (cualitativa) permite analizar desde dos puntos de vista la opinión de los asistentes a los eventos y actividades. Mientras que el ranking representa el resultado de una serie de cálculos cuyo resultado final es una lista de actividades ordenada desde la mejor a la peor valorada, la valoración lingüística representa la percepción de los asistentes expresado en lenguaje natural.

Capítulo 5

Caso de uso: DaSCI en la noche europea de los investigadores 2023

La evaluación de eventos masivos conlleva un enorme reto, incluyendo eventos de divulgación científica y participación ciudadana, ya que generan una gran volumen de registros. Las herramientas más utilizadas para evaluar eventos masivos, suelen ser cuestionarios [91]. Sin embargo, este proceso de evaluación suele ser una tarea difícil e implica un gran trabajo en la digitalización de las respuestas. En la práctica, no siempre es factible aplicarlo en eventos con un elevado número de participantes.

En este capítulo se desarrollará el proceso que se siguió en la implementación del modelo en un entorno real. La sección 5.1 describirá las características principales, escalas lingüísticas y criterios utilizados en el caso de uso. En la Sección 5.2, se muestra la ejecución del modelo matemático descrito en la Capítulo 4 a partir de los datos de los ciudadanos recolectados con la aplicación móvil DIME+ (descrita en el Capítulo 6). Es importante señalar que con la finalidad de simplificar el proceso, se ha optado por mostrar un subconjunto de tres actividades de DaSCI en Granada y un número representativo de sus valoraciones. Finalmente, en la Sección 5.3 proporcionaremos las conclusiones a las que se llegó una vez aplicado el modelo en el caso de uso y analizando los resultados obtenidos.

5.1 Descripción del caso de uso

Uno de los aspectos esenciales de la CC, es la participación activa de los ciudadanos por lo que organismos como el Instituto Andaluz Interuniversitario en Data Science and Computational Intelligence (Instituto DaSCI)¹ y la Fundación Descubre² proveen de espacios donde los ciudadanos científicos pueden acceder a información relacionada con proyectos de CC. Eventos organizados

¹www.dasci.es/es/

²www.fundaciondescubre.es/la-fundacion/

por dichas entidades, como la *Noche Europea de los Investigadores en Andalucía*³, son una excelente oportunidad para acercar a la ciudadanía con los investigadores y sus propuestas. Este evento forma parte de un proyecto de divulgación con alcance a nivel Unión Europea, el cual se define de la siguiente forma⁴:

La Noche Europea de los Investigadores es un proyecto de divulgación científica promovido por la Comisión Europea dentro de las acciones Marie Skłodowska-Curie del programa Horizonte Europa, que tiene lugar simultáneamente en casi 400 ciudades europeas de más de 30 países desde 2005. En España son ocho los proyectos financiados por la Comisión para los años 2022 y 2023, a los que se suman otros dos proyectos asociados.

Dentro del marco de la evaluación de proyectos de CC, incluidos los eventos de divulgación, existen diversos tipos (como se describe en la Sección 2.5) que son utilizados para conocer el impacto que tienen en la comunidad. En los eventos y actividades de divulgación de CC se dispone de herramientas, cuestionarios entre otros, que permiten medir aspectos como en nivel de satisfacción y aprendizaje de los asistentes.

5.1.1 Definición de criterios de evaluación

El modelo CCDM contempla una grupo de dimensiones y criterios que pueden ser base para evaluar eventos y actividades de CC. Para definir las dimensiones y los criterios aplicables a los eventos y actividades, se realizó una clasificación de estos dos elementos. Esta clasificación propuesta tiene como base la estructura mencionada en *the white paper* (véase Sección 2.3) donde se representan los retos presentes en CS. La Figura. 5.1, muestra de manera general la propuesta de clasificación, donde se delimita la importancia que tienen las actividades de divulgación de CC dentro del modelo. Los niveles están dados de acuerdo al nivel de complejidad en la organización y el alcance que tienen en cuanto a la cobertura geográfica y el volumen de asistentes, entre otros factores. A partir de esa clasificación, se determinó cuales son las dimensiones y criterios aplicables en la evaluación en cada uno de esos niveles.

Para definir las dimensiones y criterios aplicables a la mayoría de los eventos de divulgación, se contó con la asesoría de organizadores de eventos y actividades dentro del marco de La Noche Europea de los Investigadores. La tabla 5.1 muestra el resultado del análisis, donde se definieron cuales son las dimensiones aplicables para su evaluación de acuerdo a cada nivel.

Las dimensiones propuestas tienen su base en información recopilada de los informes hechos a eventos de difusión de CC presentes en la literatura ([1] [70] [76] [87]). Se identificaron aquellos criterios utilizados en los modelos de evaluación aplicados en cada caso de estudio. Realizando

³www.lanochedelosinvestigadores.fundaciondescubre.es/sobre-la-noche-europea-de-ls-investigadors/

⁴Definición tomada de www.lanochedelosinvestigadores.es/



Figura 5.1: Clasificación de los eventos y actividades

el análisis de la información en conjunto con expertos del Instituto DaSCI y la Fundación Descubre, se obtuvo una serie de criterios organizados por dimensiones. Cada uno de éstos criterios propuestos tienen como fin abarcar las características evaluables tanto de eventos como de actividades. La tabla 5.2 muestra la categorización que se le dio a cada uno de los criterios propuestos.

Tabla 5.1: Clasificación de los eventos de divulgación propuesta y sus dimensiones evaluables

NIVEL DEL EVENTO	TIPO DE EVENTO	DIMENSIONES EVALUABLES
MACRO	Red de Ferias	Sin dimensiones
MESO	Ciclos Jornadas Ferias Exposiciones	Evento Lugar Tema Tecnología
MICRO	Talleres Charlas Conferencias temáticas Visitas guiadas Cine científico Reuniones informales Espectáculos científicos Concursos, Juegos y Competiciones	Ponente Tema Evento Lugar Tecnología Materiales Gastronomía

Es importante resaltar, que el modelo propuesto solo define las dimensiones y sus criterios como un punto de partida. La particularidad que tiene la propuesta de toma de decisiones en esta tesis es que, tanto las dimensiones como los criterios, pueden cambiar para adaptarse a las necesidades

de los organizadores. La definición de las dimensiones y los criterios se pueden generar a partir del modelo de evaluación descrito en la Sección 2.5.2 permitiendo la creación de un instrumento que permita recopilar datos para cualquiera de las otras dimensiones mencionadas.

Tabla 5.2: Clasificación de las Dimensiones y sus criterios

DIMENSIONES	CRITERIOS
PONENTE	Vocalización Claridad de las expresiones Cercanía Dominio del tema Atención a la audiencia Facilidad de palabra
TEMA	Claridad del contenido Claridad de las transparencias Adaptado al Nivel Aplicabilidad del tema Ejemplos prácticos
EVENTO	Duración Tema Accesibilidad
LUGAR	Sala / Lugar Medios Técnicos Iluminación Temperatura Ruido
TECNOLOGÍA	Usabilidad Accesibilidad Soporte técnico Interfaz (amigable)
MATERIALES	Atractivos Adecuados Divertidos
GASTRONOMÍA	Presentación Sabor Aroma Relación Calidad-Tamaño-Precio Temperatura al servir

5.1.2 Definición del evento y sus actividades

Las actividades presentadas por el instituto DaSCI⁵ para la edición 2023 de la Noche Europea fueron el escenario donde se utilizó la herramienta DIME+ para recolectar las opiniones de los asistentes. Los temas principales fueron los proyectos de investigación y áreas de aplicación de la Inteligencia Artificial (IA). Los temas relacionados con IA despiertan mucho el interés entre la comunidad, siendo fuente de conocimiento para unos y motivación para querer aprender más.

⁵www.dasci.es/outreach/scientific-culture/events/nightspain-2023/

DaSCI es un instituto de investigación formado por tres universidades de la región de Andalucía, por lo que cuenta con una amplia presencia en el evento principal.

Las actividades que se presentaron fueron:

1. Evento en Granada con investigadores de la Universidad de Granada:
 - Alternativa A_1 : La naturaleza, inspiradora de Inteligencia Artificial.
 - Alternativa A_2 : SintonIA: la IA en las ondas.
 - Alternativa A_3 : Construyendo el Futuro: El Poder del Gemelo Digital en Edificios.
 - Alternativa A_4 : Planificación Automática, o cómo la IA también se preocupa por el futuro.
 - Alternativa A_5 : Una app para evaluar eventos de divulgación científica: DIME+.
 - Alternativa A_6 : Tu cráneo me suena.
 - Alternativa A_7 : Inteligencia Artificial: entre el mito y la realidad.
2. Evento en Jaén con investigadores de la Universidad de Jaén:
 - Robótica con Inteligencia Artificial.
 - DL4Vision – Deep Learning for Vision.
3. Evento en Córdoba con investigadores de la Universidad de Córdoba:
 - ¿Puede la Inteligencia Artificial predecir cuándo va a fallar mi coche?

En estas actividades de divulgación están involucrados expertos consolidados en su área e investigadores en formación, quienes presentan temas científicos, avances y propuestas. Toda la información presentada en las actividades esta expresada de tal forma que todo el público general pueda entenderlo sin problemas. Ya que los asistentes a dichos eventos son de diversas edades y formaciones académicas, se tienen dinámicas diferentes para cada tipo de público, que van desde presentaciones interactivas para los pequeños, hasta charlas científicas informales con contenido mas profundo.

De acuerdo con la clasificación mostrada en la Figura 5.1, el evento organizado por DaSCI quedaría de la siguiente forma:

- MACRO: DaSCI en la Noche 2023 es considerado un evento dentro de esta categoría ya que tiene varias sedes en diferentes ciudades, teniendo así una gran cobertura en la región de Andalucía.
- MESO: Los eventos de Granada, Jaén y Córdoba entran en esta categoría pues su organización es local en esas ciudades. Las actividades relacionadas con cada una pueden ser similares, o totalmente diferentes al estar adaptadas al entorno y al público local.

- MICRO: Cada una de las alternativas (A_I) son consideradas en este rubro, ya que son las actividades que se ofrecen al público. Aunque los responsables de su organización pueden ser los investigadores, estas actividades pueden ser parte de un proyecto MACRO, de un evento MESO o simplemente ser de creación única.

Para este caso de estudio en particular se tomaron $I = 7$ actividades del evento organizado en Granada, con las dimensiones $\{\mathcal{D}_d\}_{d \in [D=3]} = \{\text{Ponente, Tema, Evento}\}$ y los criterios $\{\mathcal{C}_j\}_{j \in [J=8]} = \{\text{Cercanía, Atención a la Audiencia, Facilidad de palabra, Claridad del contenido, ejemplos prácticos, adaptado al nivel, Duración, Tema}\}$. Para este caso de uso se tienen los siguientes parámetros descrito en $\rho = 0,5$ y $\varphi = 6$ (Descrito en la Sección 4.1.1). Como se mencionó, para ser práctico se tomó un segmento A_1 a A_3 de todo el conjunto de datos recolectados del caso de uso. (Véase la Tabla 5.10)

Para este evento Macro de DaSCI, los términos lingüísticos que se configuraron en la plataforma de DIME+, que estarán disponibles para que los expertos evalúen actividades en la aplicación móvil (Descrita en la Sección 6.4) son los siguientes:

$$\begin{aligned} S^3 &= \{s_1 = \text{“Poco” (Po)}, s_2 = \text{“Normal” (No)}, s_3 = \text{“Mucho” (Mu)}\}, \\ S^5 &= \{s_1 = \text{“Poco” (Po)}, s_2 = \text{“Algo” (Al)}, s_3 = \text{“Normal” (No)}, s_4 = \text{“Bastante” (Ba)}, \\ &\quad s_5 = \text{“Mucho” (Mu)}\} \\ S^7 &= \{s_1 = \text{“Nada” (Na)}, s_2 = \text{“Muy poco” (Mp)}, s_3 = \text{“Regular” (Re)}, s_4 = \text{“Algo” (Al)}, \\ &\quad s_5 = \text{“Normal” (No)}, s_6 = \text{“Bastante” (Ba)}, s_7 = \text{“Muchísimo” (Mc)}\}. \end{aligned}$$

Los organizadores de proyectos y eventos tienen la facultad de ingresar propuestas para las etiquetas de la escala unificada (igual que las designadas para valorar). Esta característica del modelo permite tener varias opciones de escalas, tanto para evaluar las actividades como para la representación de la unificación (Explicado en la Sección 3.3). Esta particularidad se pensó para que los organizadores sin experiencia puedan escoger las escalas que mejor se ajusten a sus actividades. Así, de esta forma se puede personalizar desde la entrada (Términos lingüísticos para valorar) hasta la salida del modelo (Término lingüístico colectivo). La escala definida para la representación de los términos unificados fue la siguiente:

$$\begin{aligned} S^{13} &= \{s_1 = \text{“Pésimo” (Pe)}, s_2 = \text{“Malo” (Ma)}, s_3 = \text{“Muy pobre” (Me)}, s_4 = \text{“Pobre” (Po)}, \\ &\quad s_5 = \text{“suficiente” (Su)}, s_6 = \text{“Normal” (No)}, s_7 = \text{“Bueno” (Bu)}, s_8 = \text{“Muy bueno” (Mb)}, \\ &\quad s_9 = \text{“Bastante bueno” (Bb)}, s_{10} = \text{“Satisfecho” (Sa)}, s_{11} = \text{“Muy satisfecho” (Ms)}, \\ &\quad s_{12} = \text{“Excelente” (Ex)}, s_{13} = \text{“Impresionante” (Im)}\}. \end{aligned}$$

En la tabla 5.3 se muestra el subconjunto de las valoraciones proporcionada por $\{E_k\}_{k \in [K=12]} = \{E_1, E_2, \dots, E_k, \dots, E_{12}\}$ ciudadanos quienes asistieron a alguna actividad (Se recuerda que solo

se mostrará una muestra del total) . Se debe mencionar que existe la posibilidad de que un mismo ciudadano experto emita su valoración a diferentes actividades. Dadas las características particulares de cada actividad, se puede asumir que sus valoraciones son totalmente diferentes entre si.

5.2 Ranking y opinión colectiva del evento

Parar generar el ranking de las actividades del evento en el *Problema de toma de decisiones ciudadano*, se ejecutan los siguientes procesos (como se describe en la Sección 4.2):

- **Recopilación de datos:** Los ciudadanos pueden calificar cualquier alternativa A_i con un número ϕ mínimo de veces, seleccionando primero la dimensión D_d que llame su interés. El siguiente paso es expresar el sentimiento SE_{ij}^k que complementará su opinión H_{ij}^k por cada C_j . Los datos que recopila el sistema a través de la aplicación DIME+ (consulte Tabla 5.3) son almacenados en un servidor como información RAW, o datos sin procesar teniendo la codificación mostrada en el apartado 4.2 (consulte Tabla 5.4). Esta información son los datos de entrada del modelo que mas adelante se procesarán.
- **Unificación:** Dado que los valores de entrada todos pueden ser diferentes entre si, las valoraciones $\tilde{H}_{ij}^k = \{s_\ell \in S^g : \ell_{ij}^{k,-} \leq \ell \leq \ell_{ij}^{k,+}\}$ deben llevarse al espacio unificado S^{13} para poder comenzar con los cálculos siguientes. En este punto los valores SE_{ij}^k se expresan como η_{ij}^k . El resultado de este paso se puede observar en Tabla 5.5.
- **Cálculo de ponderaciones objetivas, subjetivas y combinadas** $\{\omega_j^{joi}\}_{j \in [J]}$: La ponderación utilizada en los cálculos se obtiene de la combinación de los pesos objetivos $\{\omega_j^{obj}\}_{j \in [J]}$ (generado a partir del nivel de importancia de los criterios) y los pesos subjetivos $\{\omega_j^{sub}\}_{j \in [J]}$ (originados a partir del número de valoraciones de cada criterio) como se describe en la Subsección 4.2.1.
- **Agregación de criterios.** Utilizando el valor de η_{ij}^k de cada valoración podemos categorizar los criterios en costo/beneficio, descrito en la Subsección 4.2.2. Este paso es de suma importancia ya que infiere directamente en los cálculos de los índices descritos en la Sección 4.3. Para fines prácticos, los resultados obtenidos en éste paso y el anterior se pueden consultar en la Tabla 5.6.
- **Determinación de las matrices de decisión lingüísticas.** Tomando las valoraciones pesimistas vacilantes $l_{ij}^{k,-}$ y aplicando la primera agregación utilizando la Ecuación (4.8), se puede generar una matriz basada en el conjunto de opiniones x_{ij}^- . Del mismo modo utilizando las valoraciones optimistas vacilantes $l_{ij}^{k,+}$ se crea una matriz basada en el conjunto de opiniones x_{ij}^+ . Ambas matrices están representadas con valores 2-tuplas y serán utilizadas en los cálculos realizados con el método MULTIMOORA

- Explotación de datos bajo el paradigma CW.** En este proceso el parámetro ρ juega un papel importante. Cuando el parámetro se establece en $\rho = 0,5$, decimos que es el punto intermedio o neutro entre los escenarios optimistas y pesimistas de las valoraciones. Sin embargo, el desplazamiento del parámetro ρ entre los valores 0 y 1 dan como resultados diferentes matices entre escenarios. Tomando como punto de referencia los extremos, cuando se tiene $\rho = 0$ las valoraciones lingüísticas son consideradas completamente como pesimistas. En cambio con el valor de $\rho = 1$ las valoraciones de los ciudadanos serían totalmente consideradas como optimistas. En este caso, el organizador juega un papel decisivo con respecto a la asignación de valores al parámetro, ya que a diferencia de la ponderación que no es asignada por él, este dato puede darle diferentes perspectivas de las valoraciones colectivas. En la Tabla 5.7 se reflejan los cálculos explicados en la Sección 4.4 que permite obtener el cálculo de las 2-tuplas por dimensiones y alternativas (ecuaciones (4.11) y (4.12)).
- Explotación de datos bajo el paradigma LDM.** Como se explicó en la Sección 4.4.3, se catalogan las diferentes alternativas a partir de la obtención de los índices de clasificación $p \in \{1, 2, 3, 4\}$ utilizando los valores pesimistas 2-tuplas $\{y_4^-(A_1), y_4^-(A_2), \dots, y_4^-(A_I)\}$ y los valores optimistas 2-tuplas $\{y_4^+(A_1), y_4^+(A_2), \dots, y_4^+(A_I)\}$. Estos valores adimensionales se muestran en la Tabla 5.8. En la Tabla 5.9 se muestran las clasificaciones pesimistas y optimistas utilizando el índice IMB (descrito en el apartado 4.3.4). Por último, se obtiene una tercera clasificación utilizando la combinación de los valores 2-tuplas $\{y_4^p(A_1), y_4^p(A_2), \dots, y_4^p(A_I)\}$ y el parámetro ρ . Finalmente tendremos como salida de este proceso un ranking $\{r_4^p(A_1), r_4^p(A_2), \dots, r_4^p(A_I)\} = A_2 > A_1 > A_3$ utilizando nuevamente el índice IMB cuyo resultado se muestra en Tabla 5.10.

Tabla 5.3: Opiniones de los ciudadanos sobre la escala seleccionada.

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
A_1	E_1	+Mu	+No	-Entre. Po y No	+Entre. No y Mu	-Po		+Entre. Po y No
	E_2		+Mu	-Entre. Al y Mu	+Entre. Po y Al		+Entre. Po y No	+No
	E_3	+Mc		-Entre. Na y No	+Entre. Al y Mc	+No	-Entre. Re y No	
	E_4	+Mu	+Mu		+Mu	+Mu	+Mu	+Mu
A_2	E_5	+Ba	+Mu	-Entre. Po y Mu		+No	+Entre. Po y No	-Entre. Po y Al
	E_6	+E	+E	+E		+E	+E	+E
	E_7		+Mu	+Mu	+Mu	+Mu	+Mu	+Mu
	E_8	+Mu	+Mu	+Mu		+Mu	+Mu	+Mu
A_3	E_9	+Mc	+Ba	+Entre. Re y No	+Al	-Mc	-Ba	
	E_{10}	-Mu	-No	-Mu		+Po	-No	+Mu
	E_{11}	+Entre. Al y Ba		+Entre. Ba y Mu	+Entre. Po y No	+Entre. No y Mu	+Entre. Al y Ba	+Mu
	E_{12}		+Entre. Re y No		+Mp	-Na	+Ba	-Mc

Tabla 5.4: Valoraciones expresadas en la notación interna de DIME+.

Scale		C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
A_1	E_1	S^3	1+3:3	2+2:2	5-1:2	3+2:3	6-1:1		4+1:2
	E_2	S^5		3+5:5	1+5:5	5-2:5	2+1:2	4+1:3	6+3:3
	E_3	S^7	1+7:7		2+5:6	3-1:5	4+4:7	5+5:5	6-3:5
	E_4	S^3	1+3:3	3+3:3		2+3:3	4+3:3	5+3:3	6+3:3
A_2	E_5	S^5	2+4:4	5+5:5	3-1:5		1+3:3	4+1:3	6-1:2
	E_6	S^7	1+7:7		2+7:7	3+7:7	4+7:7	5+7:7	6+7:7
	E_7	S^3		1+3:3	2+3:3	5+3:3	3+3:3	6+3:3	4+3:3
	E_8	S^5	3+5:5	1+5:5	5+5:5		2+5:5	4+5:5	6+5:5
A_3	E_9	S^7	1+7:7	2+6:6	3+3:5	4+4:4	5-7:7	6-6:6	
	E_{10}	S^3	1-3:3	3-2:2	2-3:3	4+1:1	5-2:2		6+3:3
	E_{11}	S^5	2+2:4		1+4:5	3+1:3	5+3:5	4+2:4	6+5:5
	E_{12}	S^7		1+3:5		2+2:2	3-1:1	4+6:6	5-7:7

Tabla 5.5: Evaluaciones convertidas al dominio unificado en S^{13} .

		C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
A_1	E_1	s_{13}	s_7		$[s_1, s_7]$	$[s_7, s_{13}]$	s_1		$[s_1, s_7]$
	E_2		s_{13}	s_{13}	$[s_4, s_{13}]$	$[s_1, s_4]$		$[s_1, s_7]$	s_7
	E_3	s_{13}		$[s_9, s_{11}]$	$[s_1, s_9]$	$[s_7, s_{13}]$	s_9	$[s_5, s_9]$	
	E_4	s_{13}	s_{13}			s_{13}	s_{13}	s_{13}	s_{13}
A_2	E_5	s_{10}	s_{13}		$[s_1, s_{13}]$		s_7	$[s_1, s_7]$	$[s_1, s_4]$
	E_6	s_{13}		s_{13}	s_{13}		s_{13}	s_{13}	s_{13}
	E_7		s_{13}	s_{13}		s_{13}	s_{13}	s_{13}	s_{13}
	E_8	s_{13}	s_{13}	s_{13}			s_{13}	s_{13}	s_{13}
A_3	E_9	s_{13}	s_{11}	$[s_5, s_9]$	s_7	s_{13}	s_{11}		
	E_{10}	s_{13}	s_7	s_{13}		s_1	s_7		s_{13}
	E_{11}	$[s_4, s_{10}]$		$[s_{10}, s_{13}]$	$[s_1, s_7]$	$[s_7, s_{13}]$	$[s_4, s_{10}]$	s_{13}	
	E_{12}		$[s_5, s_9]$		s_3	s_1	s_{11}	s_{13}	s_{13}

Se debe considerar que el proceso antes descrito solo es un extracto del evento MESO desarrollado en Granada contando con la participación de investigadores e investigadoras de la UGR. El evento completo se detalla en el apartado 5.1.2, por tanto la ejecución completa del modelo (asistido por DIME+) genera una puntuación final de todo el conjunto de actividades. La Tabla 5.11 muestra la agregación final de todas las valoraciones junto con la clasificación de las mejores actividades. Esta información mostrada contempla tres escenarios, el pesimista, optimista y combinado, plasmado a detalle en el informe *DaSCI-Night23-Granada* que genera la página web de DIME+. Del mismo modo se puede generar informes para las actividades realizadas en Jaén y Córdoba. Incluso, DIME+ cuenta con un apartado para generar un informe a nivel proyecto, o MACRO evento, denominado para éste caso de uso *DaSCI-Night23*.

Tabla 5.6: Ponderaciones de criterios y su categorización binaria.

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
$\{\omega_j^{\text{obj}}\}$	0.24252	0.18546	0.15569	0.10009	0.09554	0.08758	0.07006	0.06306
$\{\omega_j^{\text{sub}}\}$	0.12500	0.12500	0.11111	0.11111	0.12500	0.15278	0.12500	0.12500
$\{\omega_j^{\text{jo}}\}$	0.24472	0.18714	0.13965	0.08977	0.09640	0.10801	0.07070	0.06363
Ben / Cost	Ben	Ben	Ben	Ben	Ben	Ben	Ben	Ben

Tabla 5.7: Datos lingüísticos de cada dimensión y del conjunto de las alternativas tras la etapa de agregación

	$\mathcal{D}_1$	$\mathcal{D}_2$	$\mathcal{D}_3$	(s_{ℓ_i}, α_i)
A_i	Excelente ($s_{12}, -0,13$)	Muy bueno ($s_8, -0,40$)	Muy bueno ($s_8, 0,0$)	Satisfecho ($s_{10}, -0,13$)
A_2	Impresionante ($s_{13}, -0,33$)	Muy satisfecho ($s_{11}, 0,29$)	Muy satisfecho ($s_{11}, -0,44$)	Excelente ($s_{12}, 0$)
A_3	Satisfecho ($s_{10}, -0,06$)	Bueno ($s_7, -0,18$)	Impresionante ($s_{13}, 0,0$)	Bastante bueno ($s_9, -0,46$)

Tabla 5.8: Valores adimensionales colectivos normalizados y ponderados de las evaluaciones con enfoques pesimista (-) y optimista (+).

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8
A_1^-	0.15654	0.11022	0.07910	0.02203	0.04283	0.05144	0.02547	0.02498
A_2^-	0.14450	0.13026	0.09348	0.07709	0.07954	0.07717	0.04021	0.03568
A_3^-	0.12042	0.07682	0.06712	0.04038	0.03365	0.05536	0.05227	0.04638
A_1^+	0.14881	0.10687	0.07907	0.05056	0.05674	0.04896	0.03440	0.02995
A_2^+	0.13737	0.12630	0.08566	0.06800	0.06862	0.07343	0.04092	0.03577
A_3^+	0.13737	0.08744	0.07688	0.02964	0.03695	0.06226	0.04626	0.04326

Tabla 5.9: Índice, clasificación de posiciones y valoración lingüística para los escenarios pesimista y optimista

	IMB Pesimista			IMB Optimista		
	$y_4^-(A_i)$	$r_4^-(A_i)$	$\beta_{\text{Avg}}^-(A_i)$	$y_4^+(A_i)$	$r_4^+(A_i)$	$\beta_{\text{Avg}}^+(A_i)$
A_1	-0.00937	2	$(s_9, 0,35)$	0.20541	2	$(s_{11}, -0,10)$
A_2	0.66776	1	$(s_{12}, -0,35)$	0.60682	1	$(s_{12}, 0,34)$
A_3	-0.06237	3	$(s_9, -0,32)$	-0.24055	3	$(s_{10}, 0,23)$

Tabla 5.10: Valores normalizados de los índices para la clasificación final y la combinación de escenarios optimistas y pesimistas.

	Ranking con $\rho = 0,5$					Score Final
	$y_1^m(A_i)$	$y_2^m(A_i)$	$y_3^m(A_i)$	$y_4^m(A_i)$	$r_4^m(A_i)$	$\beta_{\text{Avg}}^\pm(A_i)$
A_1	0.54509	0.64098	0.53847	0.14753	2	$(s_{10}, -0,127)$ Satisfecho
A_2	0.67202	0.18945	0.67060	0.63973	1	$(s_{12}, 0,002)$ Excelente
A_3	0.50127	0.74381	0.51023	-0.20332	3	$(s_9, -0,457)$ Bastante Bueno

Tabla 5.11: Comparación de las evaluaciones con enfoque lingüístico y el ranking bajo los tres escenarios.

Actividades	Pesimista		Optimista		Combinado	
	Score	r_4^-	Score	r_4^+	Score	r_4^p
A_1 La naturaleza, inspiradora de Inteligencia Artificial.	<i>(Malo, -0,201)</i>	6	<i>(Malo, -0,201)</i>	7	<i>(Malo, 0,200)</i>	7
A_2 SintonIA: la IA en las ondas.	<i>(Muy bueno, -0,204)</i>	5	<i>(Satisfecho, -0,278)</i>	4	<i>(Bastante, 0,241)</i>	4
A_3 Construyendo el Futuro: El Poder del Gemelo Digital en Edificios.	<i>(Muy bueno, -0,218)</i>	3	<i>(Muy bueno, 0,070)</i>	6	<i>(Muy bueno, 0,0744)</i>	5
A_4 Planificación Automática, o cómo la IA también se preocupa por el futuro.	<i>(Bueno, -0,404)</i>	7	<i>(Satisfecho, -0,035)</i>	5	<i>(Muy bueno, -0,280)</i>	6
A_5 Una app para evaluar eventos de divulgación científica: DI-ME+.	<i>(Muy bueno, 0,454)</i>	4	<i>(Excelente, -0,277)</i>	3	<i>(Satisfecho, -0,088)</i>	3
A_6 Tu cráneo me suena.	<i>(Satisfecho, 0,007)</i>	2	<i>(Excelente, -0,158)</i>	1	<i>(Muy satisfecho, 0,075)</i>	1
A_7 Inteligencia Artificial: entre el mito y la realidad.	<i>(Muy satisfecho, -0,249)</i>	1	<i>(Muy satisfecho, -0,140)</i>	2	<i>(Muy satisfecho, 0,194)</i>	2
Valoración global						
Evento	Pesimista		Optimista		Combinada	
DaSCI-Night23-Granada	<i>(Bastante bueno, 0,298)</i>		<i>(Satisfecho, -0,294)</i>		<i>(Bastante bueno, -0,498)</i>	

5.3 Conclusiones

Se menciono antes lo complicado que es implementar un método de evaluación con un gran número de participantes, pero la puesta en marcha del modelo presentado en este trabajo de tesis, a través de un recurso informático como DIME+, facilita el alcance de la evaluación. Es por ello que este trabajo tiene la intención de ser una herramienta de apoyo para difusores de CC, que por medio de eventos y actividades comparten conocimiento entre la comunidad. La intervención de los organizadores en la generación del ranking es mínima, ya que los aspectos más importantes para conocer las mejores actividades son proporcionados por los ciudadanos, quienes se convierten en expertos en este modelo de toma de decisiones. El caso de uso mostró que la incorporación de elementos como el sentimiento y el nivel de importancia en una opinión enriquecen un modelo de toma de decisiones. Estos elementos distinguen y resaltan el modelo de toma de decisiones propuesto en este trabajo de tesis de entre otros modelos, que solo contemplan la valoración y en ocasiones la ponderación dada por el experto.

Capítulo 6

DIME+, un software para la Toma de decisiones ciudadana en grupo

Crear un software a la medida requiere responder preguntas como ¿Para que se va a crear el software?, ¿hacia quien está dirigido? o ¿Que es lo que va ha hacer el software?. DIME+ es una herramienta pensada para recolectar las opiniones de los asistentes a eventos de difusión de CC. Estas opiniones tienen un formato específico (véase Sección 4.2) que son los datos de entrada que recibirá DIME+ para procesar. Al finalizar el computo de las valoraciones, se tendra como salida un ranking de alternativas y una valoración colectiva expresada con una etiqueta lingüística. El análisis inicial de DIME+ sirve para identificar cada uno de los elementos que lo formarán. Los requisitos o requerimientos de un software describen las acciones que realizará el sistema. Una ves que se tienen definidos los requerimientos el siguiente paso es modelar los procesos.

En la Sección 6.1 se describen el proceso de inicio que se siguió para desarrollar DIME+, desde la definición de requerimientos funcionales, el diseño arquitectónico y las tecnologías utilizadas. Sección 6.3 muestra el diseño de del sitio web de DIME+, las ventanas que se despliegan en cada proceso y las opciones que se tienen disponibles de acuerdo a los diferentes tipos de usuarios. La Sección 6.4 muestra la interfaz que tienen las aplicaciones para dispositivos móviles con *Android* e *iOS*, y el proceso que se sigue para valorar las actividades. La Sección 6.5 muestra los medios de distribución que tiene toda la herramienta DIME+, para que cualquier persona pueda acceder a las aplicaciones y al código fuente que ejecuta el modelo CCDM. Sección 6.6 muestras las conclusiones que se tuvieron al desarrollar la herramienta y se identifican áreas de oportunidad para investigaciones futuras.

6.1 Modelado de DIME+

La herramienta DIME+ esta conformado de dos partes, un portal web y una aplicación para dispositivos móviles. Para cada uno se definieron los requerimientos funcionales y no funcionales.

En la Tabla A.3 se puede observar el listado inicial de requerimientos los cuales fueron cambiando conforme se desarrollaban la página web y la aplicación para dispositivo móvil. La estructura que se siguió para desarrollar la herramienta DIME+ para recopilar y procesar opiniones fue la siguiente: Recopilación de requerimientos. Diseño de la herramienta. Construcción del software. Entorno de pruebas y Plan de mejora continua.

De acuerdo con Paetsch et.al [81] la ingeniería de requerimientos permite identificar, modelar y documentar las funciones de un sistema. El objetivo principal de los requerimientos es definir claramente lo que debe y no debe hacer un sistema.

La validación de los requerimientos se realizó con el apoyo del Instituto Andaluz Interuniversitario en Data Science and Computational Intelligence (Instituto DaSCI)¹ Una vez finalizado este proceso se comenzó con el diseño de la herramienta para su posterior desarrollo en un lenguaje de programación.

Al tener definido el modelado lógico, teniendo los requerimientos funcionales y no funcionales validados, el siguiente paso es crear el diseño arquitectónico. En el diseño arquitectónico se definen cada uno de los componentes funcionales del software, sus relaciones y dependencias entre procesos.

Diseño arquitectónico de un sistema, de acuerdo con Bourque y Fairley [18], es la definición de la estructura de los elementos que lo componen, sus propiedades y relaciones que hay entre ellos. El diseño arquitectónico proporciona una organización del sistema de alto nivel con diferentes niveles de abstracción. El diagrama del diseño arquitectónico de DIME+ se puede observar en la Figura. 6.1. Las capas que componen la herramienta DIME+ son:

- *Data layer*: En la capa de datos se encuentran aquellos elementos que están relacionados con el procesamiento de las base de datos utilizadas en el sistema.
- *Application layer*: En la capa de aplicación se encuentran todos aquellos módulos o rutinas que se ejecutan dentro del sistema. DIME+ contará con tres rutinas principales. Una de las rutinas procesará las valoraciones de las actividades o eventos en bruto para generar un ranking. Otra de las rutinas generará la valoración colectiva de cada actividad o evento. y la tercera se encargará de elaborar los informes que se pondrán disponibles para su descarga en la capa de presentación. Las rutinas se crearon a partir del modelo CCDM.
- *Presentation layer*: La capa de presentación esta compuesta por todos aquellos elementos que interactúan directamente con los usuarios, y contiene los procesos de entrada y salida de datos del sistema. DIME+ esta formado por dos elementos, un sitio web y una aplicación para dispositivos móviles. El sitio web tiene la función de consola de administración de proyectos, eventos y actividades, y como herramienta de consulta de evaluaciones donde se puede descargar las valoraciones sin procesar (archivos tipo CSV (Comma Separated

¹<https://dasci.es/es/>

Values)) y el resultado del modelo mostrado en un informe.

- *User layer*: En la capa de usuarios se especifica los perfiles de los usuarios que utilizarán el sistema. DIME+ tiene los siguientes tipos de usuarios:

- **Administradores**: Cuentan con todos los privilegios para crear, modificar o eliminar contenido del portal web como los elementos de la evaluación: dimensiones, criterios y escalas. Administrar usuarios, dando de alta, modificando o asignando roles y permisos. Moderar la información capturada por los organizadores de eventos.
- **Organizadores**: Este tipo de usuarios están reservado para instituciones, pues tendrán los privilegios en el sistema para crear proyectos y elementos para las evaluaciones: criterios, dimensiones o escalas, agregar nuevos tipos de eventos y/o actividades, y descargar las evaluaciones en formato tipo reporte o sin procesar.
- **Usuarios sin registro o registro básico**: Los usuarios sin registro son aquellos que pueden consultar la página web y acceder únicamente a los datos *raw* de las evaluaciones. Los usuarios que cuentan con un registro básico (con un correo electrónico) pueden crear, modificar o eliminar eventos y/o actividades. Los datos que puede descargar son las evaluaciones procesadas de sus actividades en *raw*.
- **Los usuarios con registro completo**: Son aquellos que llenaron un formulario de registro, Las acciones que pueden realizar dentro del portal son crear, modificar o eliminar eventos y/o actividades. Podrán agregar nuevos elementos para las evaluaciones: criterios, dimensiones o escalas y descargar los datos en un reporte.

Los usuario administradores y organizadores no aparecen en el diagrama, porque son considerados como usuarios del sistema, no de la herramienta, ya tienen permisos especiales sobre elementos dentro de DIME+. El diagrama entidad relación de la base de datos que utiliza DIME+ se puede consultar en el apéndice (PONER).

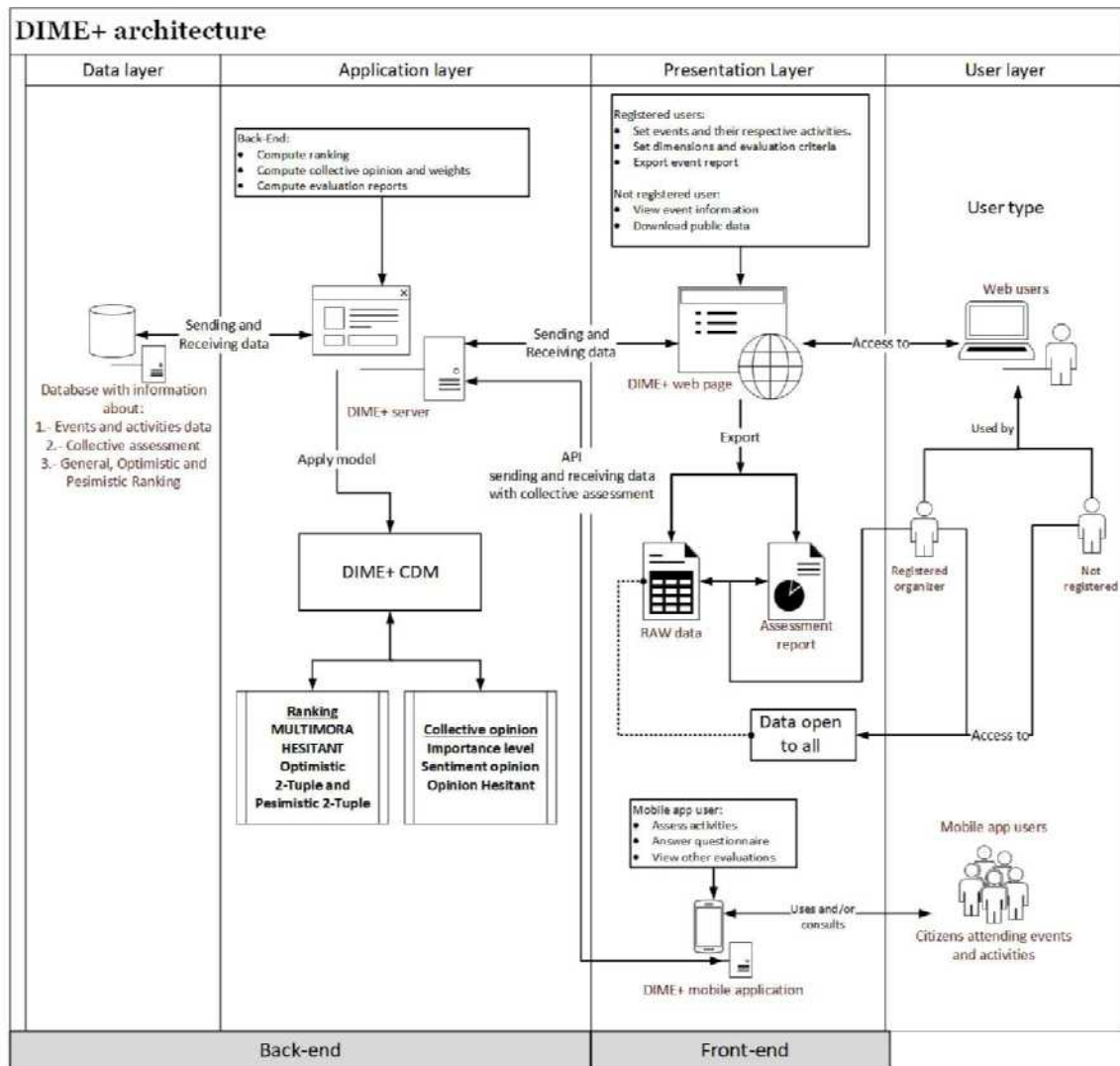


Figura 6.1: Arquitectura de la herramienta DIME+

6.2 Tecnologías y metodologías empleadas

La tecnología utilizada para desarrollar el programa que implementa el modelo CCDM es Python™², el cual tiene una licencia de código abierto. Python cuenta con una amplia y variada biblioteca de funciones que pueden ser utilizadas en aplicaciones científicas y sitios web entre otros. El lenguaje Python ha empezado a tomar mucha popularidad entre los desarrolladores de software aplicado en áreas como *Data Analytics*, *Deep Learning* y *Machine Learning* entre otras disciplinas científicas. Esto se ve reflejado en [79] y [46] donde se describen las funciones mas utilizadas en la investigación y la tendencia de crecimiento en el desarrollo de software científico

²<https://www.python.org/about/>

con este lenguaje. Indican que las librerías mas usadas son *Numpy*, *Pandas*, las cuales fueron utilizadas en el algoritmo de CCDM.

Hay gran variedad de Lenguaje de programación, algunos multipropósito y otros implementados en funciones muy específicas. Dentro de todo el conjunto de lenguajes de programación, algunos de ellos son utilizados de forma más recurrente en proyectos de desarrollo de herramientas informáticas³. Para la realización de la página web DIME+ se utilizaron los siguientes:

- HTML⁴: Este lenguaje es utilizado para elaborar páginas web. Este es usado para darle forma a las ventanas y aspectos visuales esenciales, así como al contenido estático.
- CSS⁵: Este es un lenguaje orientado al diseño gráfico, con él se crea la presentación y complementa a lo realizado con HTML. Todo el diseño visual de la plataforma Web e interfaces de usuario como texto en movimiento y transparencias están elaboradas con este lenguaje.
- JavaScript⁶: Llamado comúnmente JS, es un lenguaje de programación que se utiliza principalmente en la interfaz de usuario y páginas web dinámicas. Js permite tener una página web interactiva y escalable.
- SQL⁷: Es un lenguaje utilizado específicamente para la administración de base de datos, esta diseñado gestionar conjuntos de datos relacionales. Una base de datos relacional es un tipo de base de datos que almacena y proporciona acceso a puntos de datos relacionados entre sí.⁸. El modelo de la base de datos de DIME+ se puede observar en la Figura A.1.
- PHP⁹: Este lenguaje de programación también esta orientado a la creación de páginas web, con la diferencia que los sitios web desarrollados con este lenguaje son para mostrar contenido dinámico además de permitir conexiones con bases de datos.

³<https://santandersmartbank.es/empleo/lenguajes-de-programacion/>

⁴https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Learn/Getting_started_with_the_web/HTML_basics

⁵<https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/CSS>

⁶<https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript>

⁷<https://aws.amazon.com/es/what-is/sql/>

⁸<https://www.oracle.com/mx/database/what-is-a-relational-database/>

⁹<https://www.php.net/manual/en/index.php>

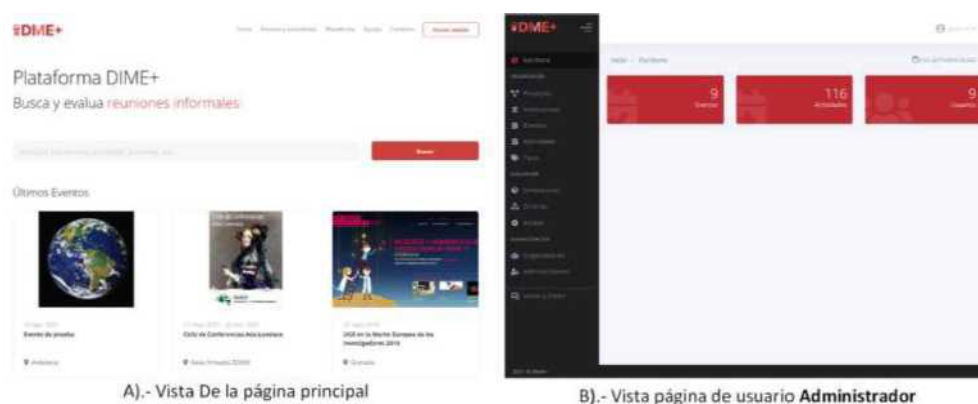


Figura 6.2: Diseño de interfaz de usuario en el sitio dimemas-ugr.es

6.3 Interfaz web de DIME+

Para el diseño de las interfaces se pensó que fueran sencillas, y que las opciones disponibles tengan un fácil y rápido acceso. Al ingresar en el sitio <https://dimemas-ugr.es/> el primer contenido dinámico que se tiene a la vista es el carrusel de *últimos eventos*. Los últimos eventos pueden ir cambiando en cada visita, ya que conforme se vayan agregando, se estará actualizando el carrusel, mostrando en orden descendente a la fecha de creación. Bajo ese apartado podemos encontrar *últimas actividades*, el comportamiento de este elemento es igual que el de la parte superior, pero con actividades. En la Figura. 6.3 se puede observar las ventanas que aparecen cuando un usuario consulta un evento y una actividad en específico. En la página del evento y la actividad, se muestran datos informativos como la fecha, hora, ubicación, contacto y redes sociales.

La Figura. 6.2 muestra la transición que se tiene desde la página de inicio a la página de usuario. En el momento que un usuario registrado ingresa con su cuenta, se tiene acceso a un menú que le permite administrar sus eventos y actividades.

La Figura. 6.4 muestra las opciones del menú *DIMENSIONES*. Éste menú está disponible para la mayoría de los usuarios registrados. El diseño es similar para todas las opciones, el único cambio son los campos que se deben de llenar cuando se quiera crear o modificar elementos (dimensión, criterio o escala). Como observación, los elementos creados por los usuarios se vuelven públicos, es decir que al momento en que se crea un nuevo elemento este puede ser utilizado por cualquier otro usuario cuando agregue una nueva evaluación. Uno de los objetivos de la herramienta es ser un banco de conocimiento, que albergue elementos diversos aplicables en la evaluación de eventos y actividades. Esta información puede servir de guía para aquellos organizadores que quieren evaluar una actividad pero no cuentan con la experiencia para determinar cuáles son las dimensiones, criterios o escalas apropiados.

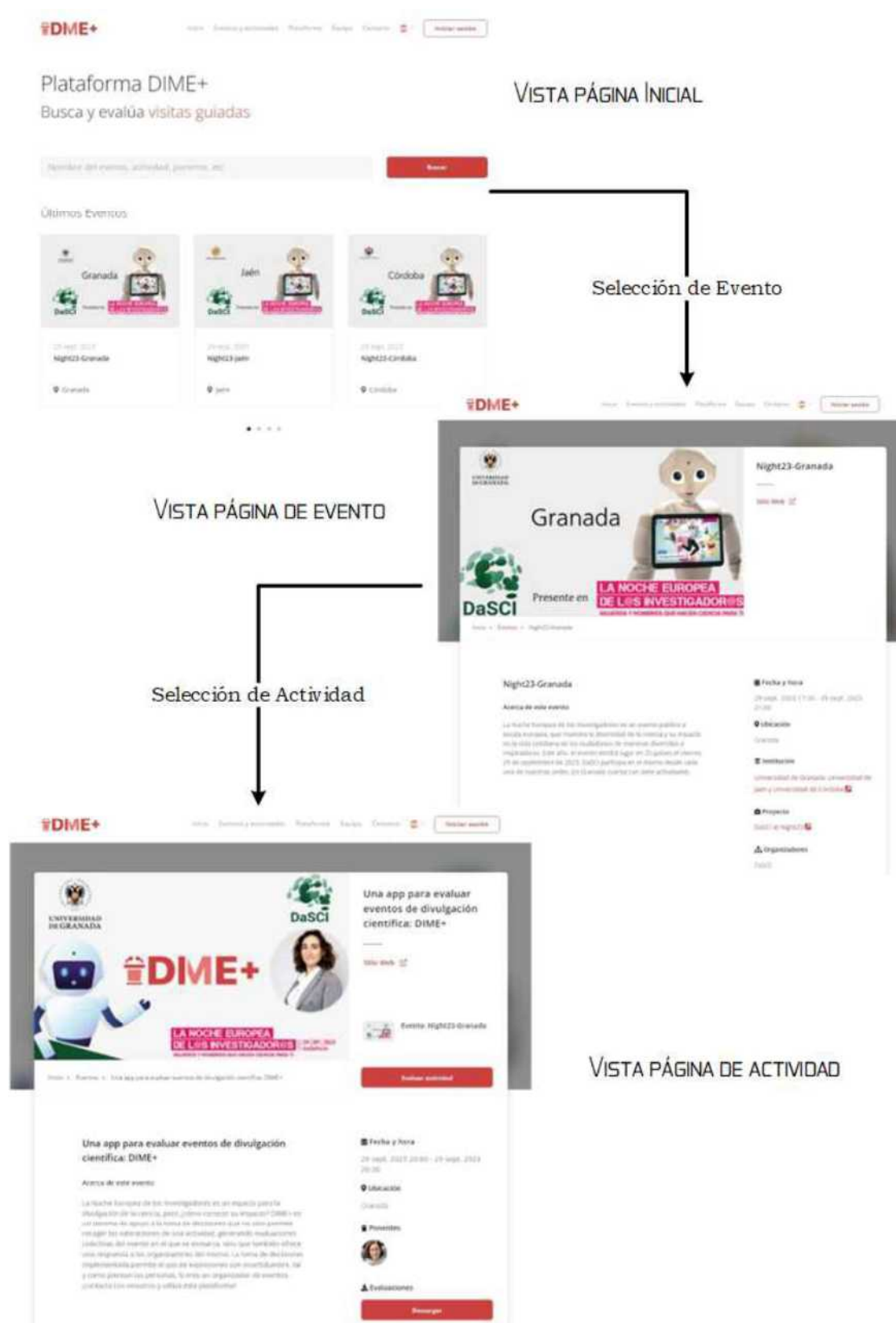


Figura 6.3: Vista de las páginas inicio, evento y actividad de DIME+

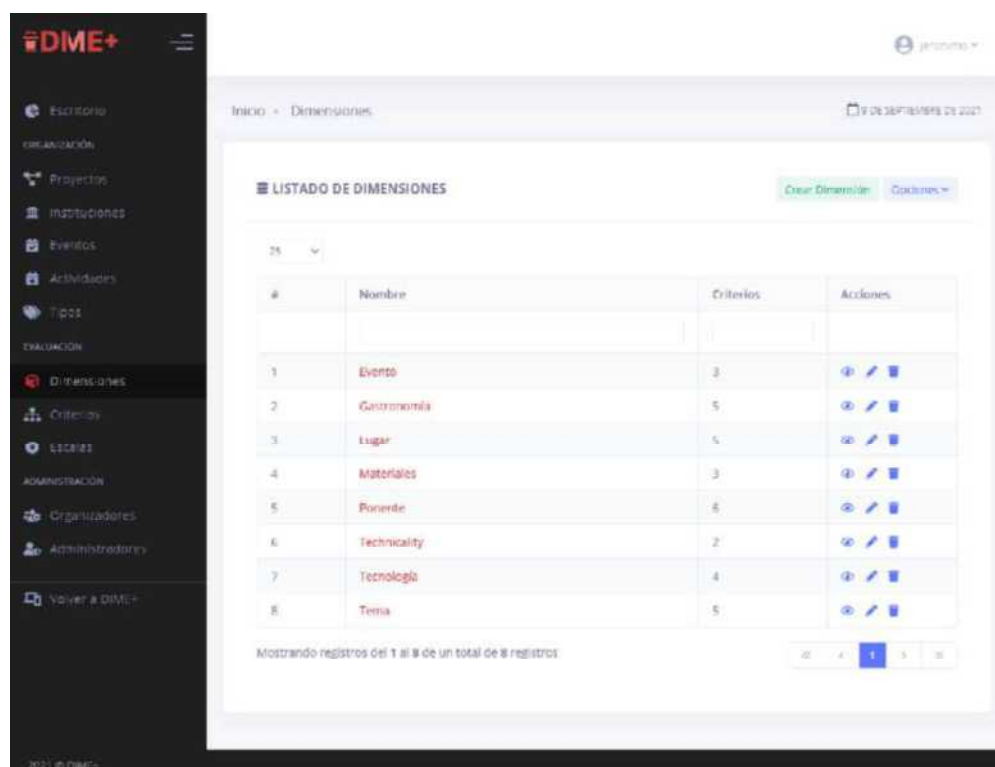
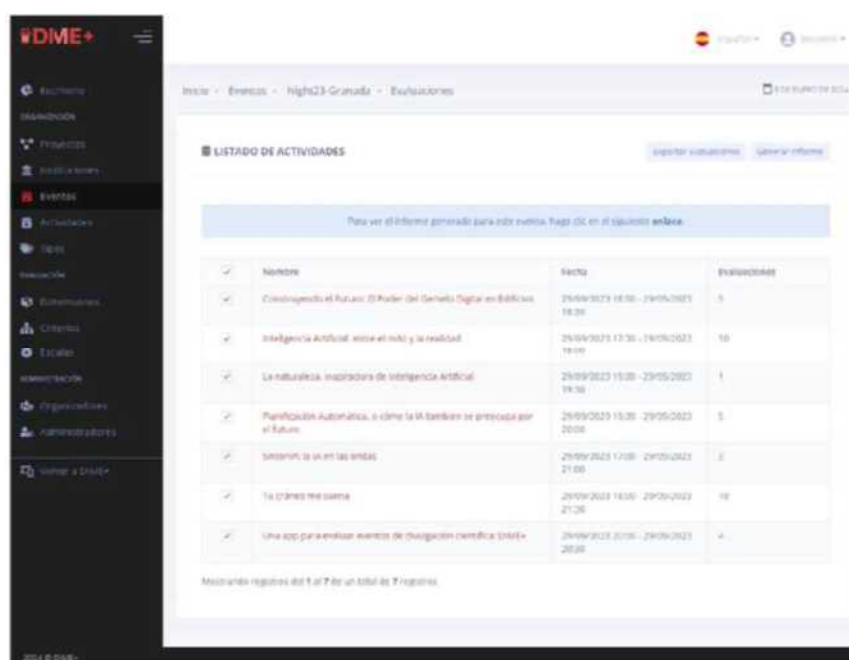


Figura 6.4: Distribución de menús y contenido en el sitio dimemas-ugr.es



Figura 6.5: Diseño de interfaz de usuario en aplicaciones móviles



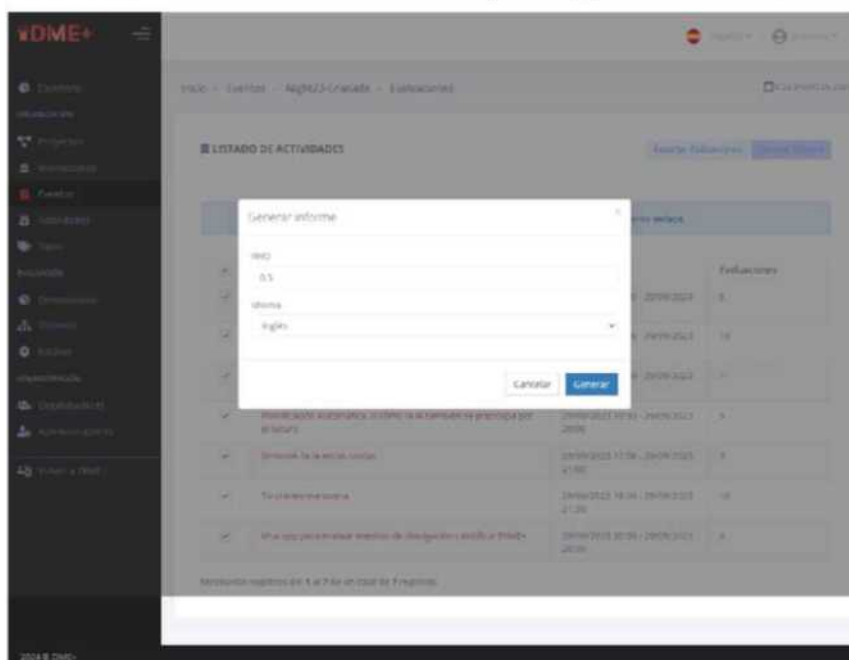
LISTADO DE ACTIVIDADES

Para ver el informe generado para este evento, haga clic en el siguiente enlace.

✓	Nombre	Fecha	Evaluaciones
✓	Conociendo el Futuro: El Poder del Genoma Digital en Bibliotecas	29/09/2023 16:00 - 29/09/2023 18:30	5
✓	Inteligencia Artificial: entre el mito y la realidad	29/09/2023 17:30 - 29/09/2023 18:00	10
✓	La naturaleza: inspiradora de Inteligencia Artificial	29/09/2023 19:00 - 29/09/2023 19:30	1
✓	Planificación Autónoma: ¿cómo la IA también se preocupa por el futuro?	29/09/2023 19:30 - 29/09/2023 20:00	5
✓	Swarm, la IA en las ondas	29/09/2023 17:00 - 29/09/2023 21:00	3
✓	Tu primer mes de vida	29/09/2023 18:00 - 29/09/2023 21:30	10
✓	Una app para evaluar eventos de divulgación científica DIME+	29/09/2023 20:00 - 29/09/2023 20:30	4

Mostrando registros del 1 al 7 de un total de 7 registros.

Vista listado de actividades para generar Informe



LISTADO DE ACTIVIDADES

Generar informe

ID:

ID:

Idioma:

Idioma:

Cancelar Generar

Detalle de configuración

Figura 6.6: Presentación de los pasos a seguir para generar un informe

Como se mencionó algunos elementos son públicos y de libre acceso, entre estos elementos se encuentran las evaluaciones de cada evento o actividad. Este archivo que se puede descargar es

un CSV¹⁰ no tiene formato de presentación. Como se puede observar en la Figura. 6.5 al final de los datos de cada evento, o actividad, se encuentra un boton que permite a cualquier usuario descargar el archivo con las evaluaciones. La finalidad de que estos datos sean de libre acceso es para que cualquier persona, investigador o ciudadano investigador, pueda utilizar esos datos en un modelo o investigación propia.

Para poder generar el informe detallado, se requiere que el evento este conformado por más de dos actividades. El proceso para generar este infome se puede observar en la Figura. 6.6 el cual sigue el siguiente proceso:

1. Selección de Actividades: Se seleccionan las actividades que integrarán el informe, se recomienda que sean aquellas que fueron evaluadas al menos una vez.
2. Seleccionar el valor de la variable ρ (rho): Este valor, entre 0 y 1 determina el tipo de escenario en el que estará orientado el informe, pesimista (valores menores a 0.5), optimista (valores mayores a 0.5).
3. Seleccionar idioma: El informe puede ser generado en dos idiomas, en inglés y español.
4. Consultar el Informe: Se puede consultar con un enlace que abre el informe en una ventana nueva.

La Figura. 6.7 nos muestra el diseño del informe por evento, donde se concentra información detallada de las valoraciones obtenidas. Este informe es un instrumento de gran utilidad para los organizadores de eventos, pues muestran la opinion colectiva de los asistentes expresado en lenguaje natural (etiqueta lingüística) y un ranking numérico con las posiciones de cada una de las actividades ordenadas de mejor a peor valoradas. Los datos que se presentan son:

- Tarjeta de Identificación: En esta sección se encuentran los datos descriptivos del evento, como lo es el nombre del proyecto al que pertenece, una reseña del evento, la ubicación geográfica del evento, dirección de correo electrónico, enlace a la página oficial del evento y enlaces a sus redes sociales.
- Listado de Actividades: Se muestra la lista de las actividades a evaluar por CCDM, pueden ser las actuales o se puede realizar con actividades del mismo evento pero en ediciones pasadas. Existe la posibilidad de realizar un informe con las actividades que ya han finalizado, cuando se tienen algunas que están activas y próximas a finalizar.
- Datos Estadísticos: Muestra los datos como número asistentes, asistentes por actividad, rangos de edad y el género en caso de que éste dato haya sido proporcionado por los expertos ciudadanos evaluadores.

¹⁰<https://support.google.com/google-ads/answer/9004364?hl=es-419>

- Valoraciones lingüísticas: En este apartado muestra los resultados de la valoración general del evento y las valoraciones en los tres diferentes escenarios, pesimista, optimista y combinado, de cada una de las actividades. Estas valoraciones son el resultado del procesamiento con CCDM a partir de las valoraciones recolectadas para cada actividad con la aplicación móvil de DIME+. Estas valoraciones están expresadas con etiquetas lingüísticas unificadas, a partir de los conjuntos de etiquetas S^3 , S^5 y S^7 , el conjunto de etiquetas mostrado en el informe será S^{13} .
- Ranking: En esta sección presenta las actividades ordenadas de mejor a peor valoradas. Este ranking también está presentado bajo los escenarios pesimista, optimista y combinado.
- Anexo: Ofrece las respuestas de una encuesta que el usuario debe contestar al finalizar la valoración. Este cuestionario es una evaluación sumativa y se describe en la Sección 2.5.1.

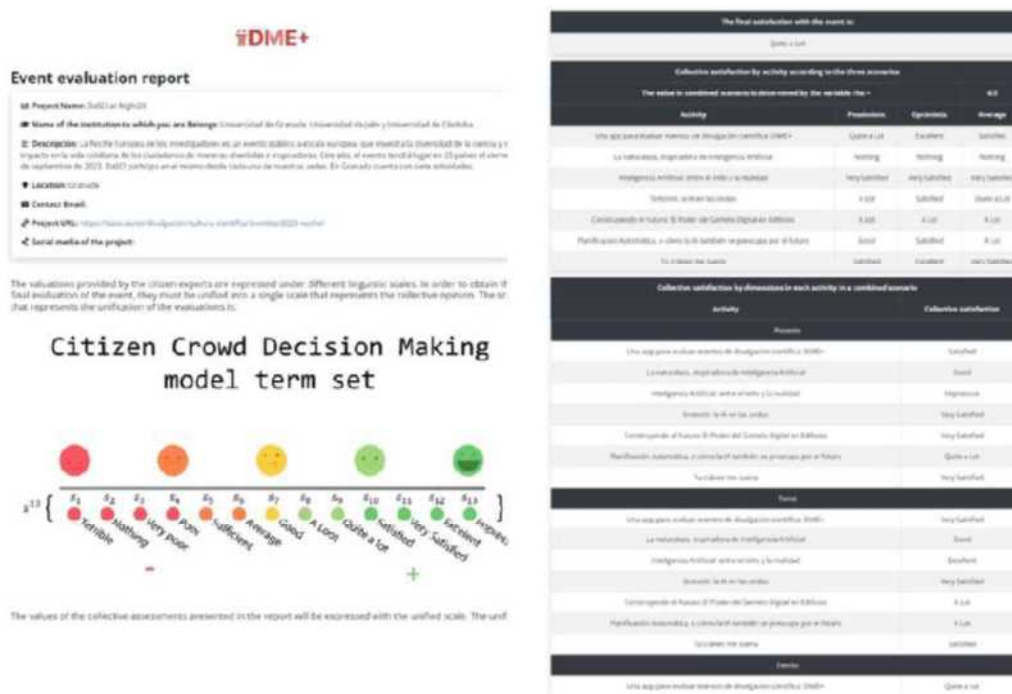


Figura 6.7: Proceso de petición del informe de CCDM

6.4 Interfaz de la app DIME+

La Figura. 6.8 muestra la pantalla de inicio que tiene la aplicación en Android e iOS. Los elementos que se muestran en ellos son los mismos, como las actividades recientes y el icono de buscar, lo único que cambia es la distribución de los mismos en cada pantalla. Se debe hacer la observación, que en los dispositivos móviles con Android, la pantalla de inicio puede presentarse con pequeñas variantes, ya que va a depender en gran medida del fabricante del dispositivo móvil y si este tiene o no una capa de personalización del ambiente Android¹¹¹². Esto no sucede con los dispositivos con iOS, ya que las aplicaciones están optimizadas para presentarse de la misma forma en la mayor parte de los dispositivos. La información que se presenta en la aplicación son los eventos activos, al momento de ser seleccionados mostrarán la descripción del evento o actividad y un botón que los llevara la función con la cual emitirán su valoración. Dentro de las funcionalidades que tiene la aplicación es el uso de la cámara del dispositivo móvil para escanear un código QR.

Como se observa en la Figura. 6.9, este sirve para dirigirse a la actividad deseada sin necesidad de buscarlo en la página web de DIME+.

La figura. 6.10 nos muestra la secuencia de pasos que se deben seguir para valorar un evento o actividad. El diseño de los menús y botones busco que su uso no fuera complicado ya que la aplicación esta pensada para ser usada por usuarios diversos, con poca o mucha habilidad tecnológica. Este proceso es iterativo, el usuario lo realizará cada vez que quiera evaluar una actividad diferente. Los datos recabados por la aplicación se envían directamente al servidor donde está hospedado el sitio web.

¹¹<https://eu.community.samsung.com/t5/samsung-fun-community/evoluci%C3%B3n-de-la-capa-de-personalizaci%C3%B3n-samsung-de-touchwiz-3-0/td-p/6675369>

¹²<https://andro4all.com/android/las-mejores-capas-de-personalizacion-android>

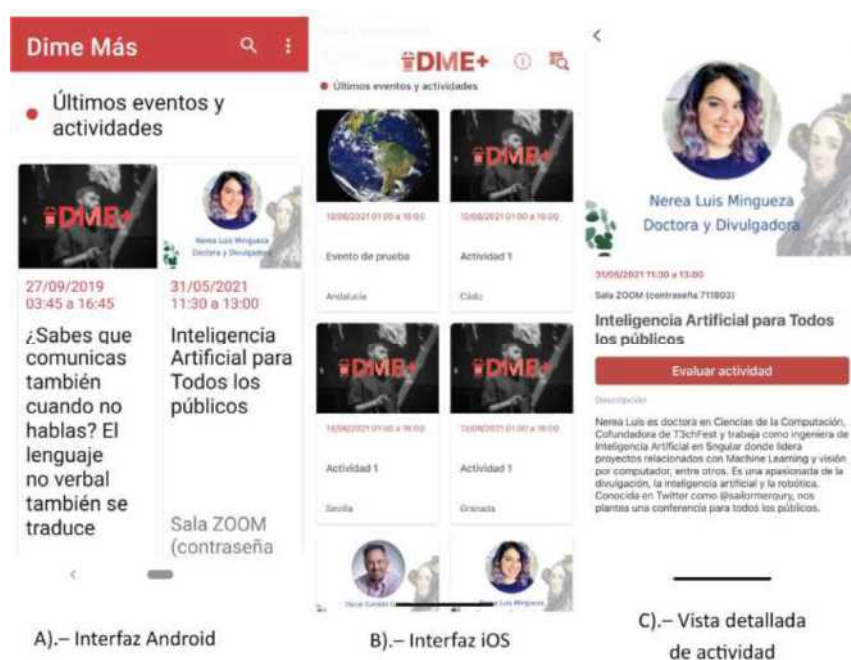


Figura 6.8: Interfaz de usuario de la APP DIME+

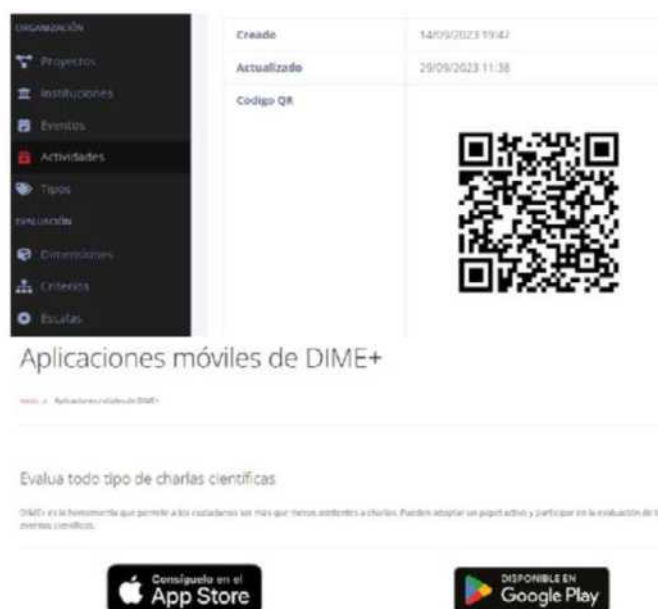


Figura 6.9: Código QR generado por el servidor para evaluar la actividad

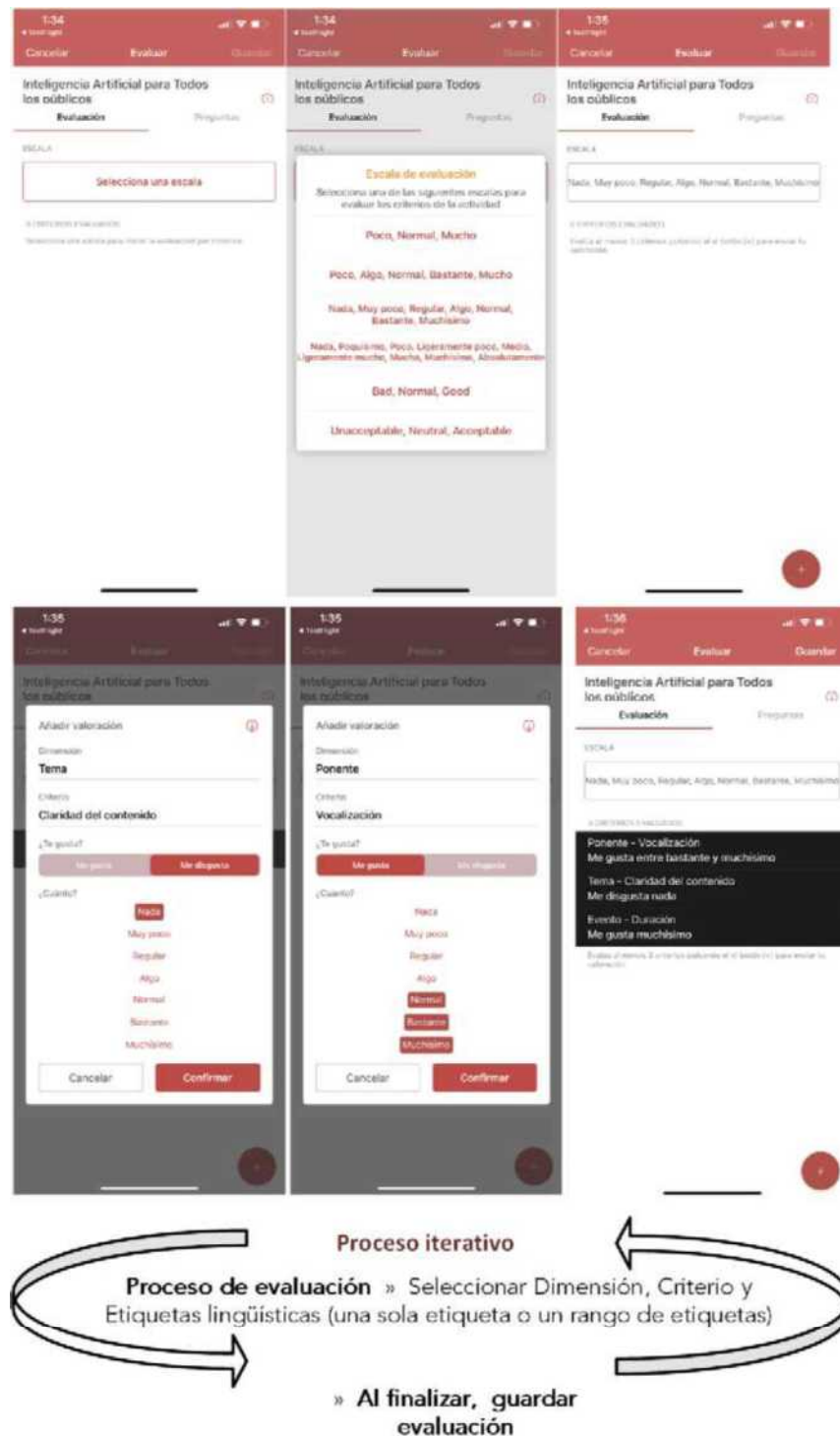


Figura 6.10: Secuencia del proceso de evaluación en aplicaciones móviles

El proceso que sigue el usuario desde que ingresa a la aplicación hasta que envía su evaluación es

el siguiente:

1. El primer paso es entrar al apartado de evaluación de la actividad seleccionada.
2. El siguiente paso consiste en elegir una escala con las etiquetas lingüísticas que mejor representen su punto de vista o valoración al momento de opinar. En esta sección aparecerán las escalas disponibles para la evaluación, las escalas mas comunes son S^3 , S^5 y S^7 . Este parámetro es proporcionado por el organizador del evento, el cual puede decidir si solo deja una escala o las tres para ser elegidas. Otra característica es que la elección de la escala es diferente para cada actividad, aún cuando sea el mismo usuario desde la aplicación con su perfil.
3. Después del paso anterior, el usuario elige la dimensión y el criterio que quiere valorar. Los criterios que el experto elija valorar pueden o no pertenecer a una misma dimensión. El orden de elección puede ser diferente, es decir, la evaluación no tiene que ser lineal, se puede elegir los criterios de cualquier dimensión de forma indistinta.
4. Una vez elegido el criterio, el experto ciudadano debe elegir si su valoración tendrá una connotación de *Gusto* o *Disgusto*. Este marcador en la valoración permite asignar una percepción positiva o negativa de algunos de los criterios de una actividad, por ejemplo: "*Me gusta*" bastante la vocalización del ponente, "*Me disgusta*" Muchísimo el ruido del lugar.
5. El siguiente paso es elegir la etiqueta lingüística que mejor represente la valoración del criterio. La herramienta permite ingresos de valoraciones con incertidumbre, es decir, si el usuario no duda ante la elección de una etiqueta, tiene la opción de elegir un rango. Por ejemplo ante una escala S^5 donde no se sabe si un criterio *Me gusta* Poco o Bastante, puede elegir ambas etiquetas y la valoración estará compuesta por el rango que cubre desde Poco hasta Bastante. Este proceso es iterativo y se realizará tantas veces como criterios elegidos para valorar.
6. Cuando se hayan valorado todos los criterios, el último paso es contestar un cuestionario de evaluación sumativa (consulte Sección 2.5.1). Una vez contestado el cuestionario se guarda la valoración. El usuario puede valorar cualquier número de actividades, siempre y cuando sigan activos.

6.5 Distribución

La herramienta que se desarrolló fue pensada para ser utilizada de forma libre y sin restricciones, porque recordemos que el foco principal de su implementación son proyectos de CC. En este sentido, creo un repositorio en la plataforma de GitHub donde se albergan diferentes archivos

que pueden ser consultados por cualquier persona interesada. Para la distribución de la aplicación para dispositivo móvil DIME+, se utilizaron las tiendas virtuales *Google Play* para los móviles con *Android*¹³ y *Apple Store*¹⁴ para aquellos dispositivos con *iOS*. Las aplicaciones alojadas en estas tiendas no requieren de ningún pago por parte del usuario para su descarga, son totalmente gratuitas y pueden usarlas libremente sin ninguna restricción.

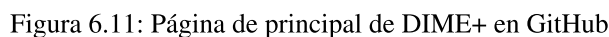
6.5.1 Repositorio

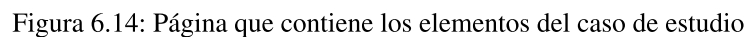
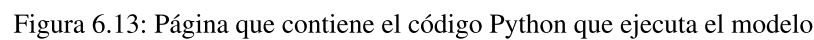
Dentro del repositorio <https://github.com/ari-dasci/S-dimemas> se pone a disposición para su consulta diversos elementos que ayudan a entender mejor la herramienta, así como algunos ejemplos de código que pueden servir como referencia para futuros proyectos. Las carpetas con contenido relevante son las siguientes:

- En la página principal se puede observar el contenido del repositorio distribuido en diferentes carpetas. Estas son la *idea*, el *diseño* y el *prototipo*, *software*, *Test del modelo* y por último el *Caso de uso*. (Véase Figura 6.11).
- En la Figura 6.12 Se muestra el contenido de la carpeta *Diseño y Prototipos*, en ella se albergan algunos módulos del programa principal y el diseño preliminar de los archivos de entrada y salida del sistema.
- En la Figura 6.13 se puede observar el código en lenguaje Python que se encuentra dentro de la carpeta *Tes Model*. Este código es el que ejecuta el modelo y que se encuentra instalado como ejecutable en el servidor de DIME+. El código tiene comentarios en diferentes funciones para que aquellos que lo consulten puedan identificar los pasos del modelo dentro de las funciones del programa.
- Por último, en la Figura 6.14 Se encuentran los elementos que se obtuvieron del caso de estudio de DaSCI en la noche de los investigadores 2023 (descrito en el Capítulo 5) Dentro de la carpeta se muestra un archivo que describe el caso de estudio como las escalas lingüísticas utilizadas, los eventos que se evaluaron y el informe final generado a partir de las valoraciones colectivas.

¹³play.google.com/store/apps

¹⁴www.apple.com/app-store/





Para realizar las pruebas de funcionalidad del código desarrollado en Python, se creó un entorno en donde se ejecutaban las versiones con cambios. Cada vez que se realizaba alguna modificación en el código, se probaba en esta plataforma, esto con la finalidad de detectar errores antes de que el programa se pusiera en el servidor principal de DIME+. La página de pruebas está albergada en la dirección <https://lionware.dev/dime+/> y la presentación de la página se puede observar en la Figura. 6.15. Este entorno de pruebas solo contiene módulos pequeños para ingresar los datos y archivos de entrada. Al procesar la información, genera un informe cuyo diseño es de prueba y que sirve para dar la forma final al que se origina en la página de DIME+.

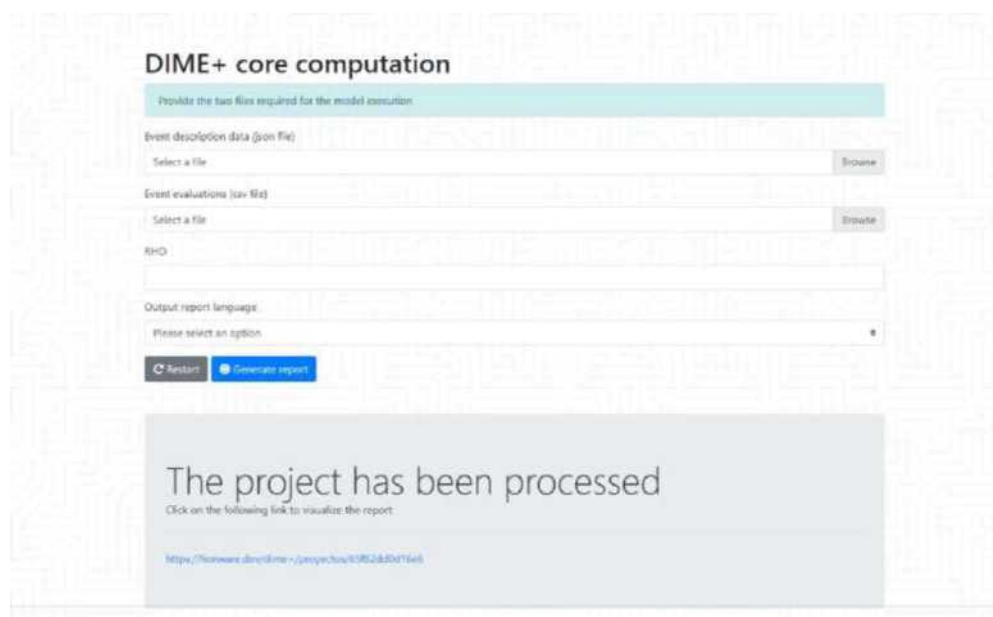


Figura 6.15: Página que contiene los elementos del caso de estudio

6.5.2 Presencia en tiendas virtuales de aplicaciones

Los ciudadanos que quieran utilizar la aplicación de DIME+ en su dispositivo pueden dirigirse (desde su móvil) a las tiendas de *Google* <https://play.google.com/store/apps/details?id=es.everyware.dimemas> (Figura 6.16) o *Apple* <https://apps.apple.com/es/app/dime/id1447947914> (Figura 6.17) y buscarla como "DIME+". Ambas aplicaciones son gratuitas, no se requiere de ninguna compra ni suscripción. Es de suma importancia mencionar la **seguridad de los datos**, ya que ambas aplicaciones no recopilan ni comparten datos del usuario con otras organizaciones o empresas.

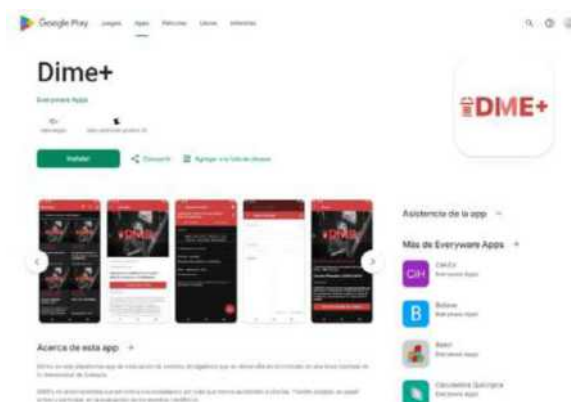


Figura 6.16: Vista de DIME+ en Google Store

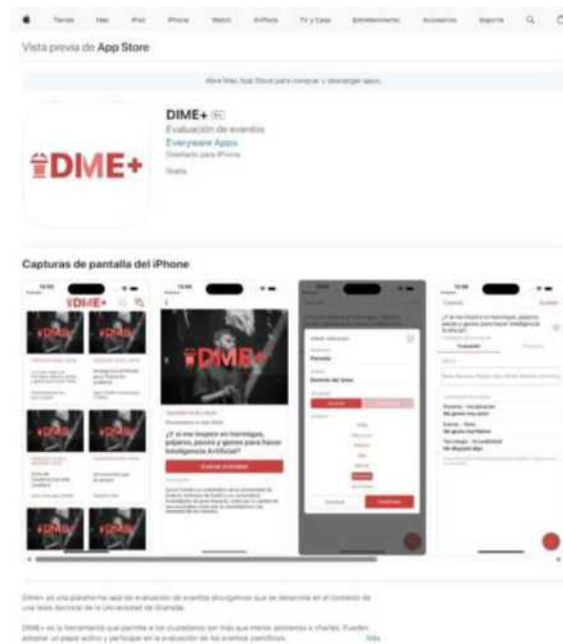


Figura 6.17: Vista de DIME+ en Apple Store

Otra forma en que los ciudadanos pueden encontrar las aplicaciones es a través de la página web de DIME+ (<https://dimemas-ugr.es/>). Existe un apartado en la página principal (véase Figura 6.18) que muestra dos íconos, que al seleccionarlos se direccionará a las tiendas antes mencionadas. Esta forma es la mas segura para aquellos ciudadanos que no cuentan con la suficiente habilidad para realizar búsquedas en las tiendas.



Figura 6.18: Vista de enlaces a las tiendas desde la web DIME+

Con cualquiera de las formas antes mencionadas, los usuarios pueden tener acceso a DIME+ y de forma individual, organizadores y asistentes, pueden recomendar su uso para que tenga un gran

alcance. Los organizadores pueden incorporar los enlaces antes mencionados en las páginas web de sus proyectos para que los asistentes a sus eventos conozcan la herramienta y puedan utilizarla.

6.6 Conclusiones

Es de suma importancia que las propuestas de temas de investigación tengan una parte practica, que sirva como elemento para aplicar el modelo en un entorno real. Las herramientas informáticas como los sitios web y las aplicaciones para dispositivos móviles están presentes en la vida cotidiana. Esta característica permite cierto grado de familiaridad de los usuarios con estas herramientas. Si se desarrollan programas o aplicaciones con fines científicos, es factible que puedan ser utilizadas por un gran número de personas. El alcance que puede tener una aplicación móvil es muy amplio, ya que hoy en día se ha vuelto un elemento indispensable para estar comunicados. Es difícil encontrar una persona que no cuente con un dispositivo móvil por lo que estas plataformas pueden ser un área de oportunidad para implementar modelos como nuestra propuesta. El desarrollo Agile es el más usado para crear aplicaciones para dispositivos móviles, pero no solo puede aplicarse en este sentido. Los pasos y procesos que se siguen en Agile pueden ser adaptados a ciertas fases del proceso de investigación científica. El desarrollo Agile cuenta con ciertas características que pueden adaptarse muy bien a proyectos de ciencia ciudadana. Sería interesante tener un caso de estudio donde la metodología Agile esté presente dentro de un proyecto de ciencia ciudadana, donde no haya un desarrollo de software si no que se adapte en alguno de los procesos. En ocasiones dada la naturaleza del software hay procesos que se pueden realizar de forma paralela sin que se vean afectados. Por lo general las interfaces son de los últimos procesos de desarrollo ya que en su mayoría están construidas en su mayoría por requerimientos no funcionales. La capa de aplicación no está descrita entre los requerimientos funcionales, pues parte de modelos matemáticos. La construcción de estos módulos es diferente a los demás componentes, pues trabaja de forma diferente con los datos de entrada y de salida. Ya se mencionó que python es el lenguaje más utilizado para programar software científico, una de sus virtudes es el manejo de datos, permitiendo trabajar de forma sencilla con arreglos multidimensionales.

Capítulo 7

Conclusiones y trabajos futuros

LA finalidad de este capítulo final es proporcionar las percepciones obtenidas durante el desarrollo del trabajo. En la Sección 7.1 se explica de forma muy puntual el proceso que se siguió durante la realización de este trabajo de investigación. Y por último, en la Sección 7.2 se presentan futuras propuestas de investigación derivadas de este trabajo.

7.1 Conclusiones

Este proyecto de investigación presenta una herramienta de evaluación que tiene como base un modelo de toma de decisiones lingüístico con incertidumbre. Esta propuesta tiene como fin ser una herramienta de apoyo para los organizadores de eventos de Ciencia Ciudadana, Ferias de Ciencias y todas aquellas actividades de difusión. Con este modelo fue pensado para recopilar las opiniones de los ciudadanos que asisten y participan en las actividades de difusión de la Ciencia. Muchos trabajos relacionados con la toma de decisiones, descritos en la literatura, están orientados a ser implementados en entornos donde los participantes son profesionales expertos en una o varias áreas, pero el modelo desarrollado en esta tesis tiene otro enfoque diferente. Los principales actores en este modelo son los ciudadanos, personas comunes que comparten el gusto por hacer o aprender ciencia, y ellos son los que se convierten en expertos, los que emiten sus opiniones. Las opiniones de estos expertos ciudadanos contienen mucha información, más allá de solo proporcionar un calificativo o valoración a una actividad, que va desde una percepción positiva o negativa, hasta un nivel de importancia que va implícito en el orden con el que eligen los elementos a evaluar. El modelo CCDM tiene la característica de que puede ser replicable, escalable y adaptable al contexto. Esto se logra gracias a la generación de un banco de datos que los organizadores de eventos van alimentando conforme personalizan las evaluaciones a sus actividades. La personalización va desde la creación de nuevas dimensiones y sus criterios hasta la generación de escalas lingüísticas. El modelo de evaluación tiene como base la computación con palabras, lo que permite la recolección de las opiniones de los ciudadanos expresadas con

valores (escalas lingüísticas) cercanas al lenguaje natural. Otro componente que complementa al modelo es integrar a las valoraciones la incertidumbre que es un rasgo inherente en el pensamiento humano. Este elemento siempre se encuentra presente en la reflexión cuando empezamos a tratar de emitir un juicio, pues meditamos sobre cual es la palabra, o palabras, que mejor expresan el sentir o la percepción.

Como se mencionó en el párrafo anterior, se pueden recopilar otro tipo de datos que se encuentran de forma implícita y explícita en las opiniones. Un dato explícito es el sentimiento, ya que alguno rasgos característicos de las actividades no pueden dar la sensación de agrado o desagrado. Por ejemplo, la temática que se esta presentado en una activada nos puede estar agradando, pero puede que haya un elemento como el lugar que nos pueda estar causando un desagrado. Este tipo de información es importante para los organizadores, pues pueden presentar atención a las valoraciones colectivas con desagrado. Otro dato, que es implícito, es el grado de importancia que se le puede dar a un criterio a partir del orden de elección. Este grado de importancia se basa en el hecho de que nuestra primera elección de un elemento de un conjunto, es el que tiene mas importancia para nosotros.

Este proyecto de investigación cuenta con una solución bajo el esquema cliente-servidor llamado DIME+, el cual esta conformado de dos partes una aplicación para dispositivos móviles y un sitio web. Con la aplicación se recolectan las opiniones de los ciudadanos y en el sitio web se configuran los eventos y sus actividades, además de contar con un apartado para generar informes que plasmen los datos principales de salida del modelo. Cómo esta investigación tiene como objetivo que sea aplicado en proyectos de ciencia ciudadana principalmente, los datos obtenidos de las valoraciones están disponibles para su descarga y posterior análisis. DIME+ no almacena datos sensibles, de tal forma que la información abierta de las valoraciones puede ser utilizada por otros investigadores para futuros modelos de evaluación que procesen de diferente forma las opiniones de los ciudadanos.

Los aspectos más destacados de la propuesta y la aplicación del CCDM son los siguientes:

- Gran flexibilidad. El administrador de proyectos puede definir las dimensiones y criterios que quiere evaluar, y a partir de las cuales se genera una evaluación lingüística comprensible e interpretable.
- Satisface una necesidad. No solo el modelo, sino también el software es fundamental para aplicar de forma realista en un gran evento (congreso, feria, conferencia), ya que existen herramientas en Internet que solo aplican cuestionarios estandarizados y la gran mayoría tienen costo.
- Empodera al ciudadano. Es una solución aplicable en un ámbito tan importante como es la evaluación de los eventos de divulgación, donde el ciudadano es el actor principal que expresa libremente su opinión y proporciona datos implícitos y explícitos para llegar a la solución real.

- Las evaluaciones son sencillas y fáciles de entender. Al utilizar la computación con palabras, el ciudadano puede emitir mas fácil su valoración, porque su opinión estará expresada en lo mas cercano a lenguaje natural.
- Ajustable. El organizador tiene la facultad de personalizar sus valoraciones por completo, eligiendo las dimensiones y los criterios, así como las escalas con la que sus expertos ciudadanos valorarán sus actividades. Incluso si no encontrada una que considere adecuada, puede crear sus propias dimensiones, criterios y escalas lingüísticas que mejor se ajusten. Otro rasgo destacable es que puede ajustar un parámetro para analizar las valoraciones desde tres puntos de vista, uno pesimista, uno neutro y otro optimista .
- Extensible. Como se mencionó, se propuso una clasificación de los eventos, pensando que la propuesta puede ser utilizada a gran escala (con un gran número de usuarios, o cubriendo incluso sedes simultaneas en otras ciudades). Otra característica es que puede servir de base para evaluar otros aspectos dentro de un proyecto de ciencia ciudadana, como podría ser la opinión sobre los objetivos principales y la definición del alcance.

7.2 Trabajos futuros

Los datos obtenidos por la aplicación del modelo en un entorno real permite pensar en futuras propuestas, ademas de que se han identificado puntos de mejora los cuales beneficiarían a los usuarios de DIME+. Es por eso que en esta sección se mencionan algunos trabajos futuros que se pueden derivar de este trabajo, los cuales se mencionan a continuación:

1. Métodos de recomendación basado en la elección de criterios: Utilizando el nivel de importancia de los criterios, se pueden agrupar a los ciudadanos de acuerdo a la afinidad de criterios con similar nivel de importancia, para así cuando se genere un evento que contenga esos criterios, invitar a ese grupo de personas para que asistan.
2. Identificación y clasificación de usuario basado en el sentimiento de sus valoraciones: Se puede crear un modelo de clasificación que identique usuarios cuyo propósito es valorar de forma negativa eventos y actividades. También esa información puede servir para generar un sistema de mejora continua de los eventos, esto se podría realizar mandar mensajes de alerta a los organizadores de eventos MACRO o MESO cuando una dimensión o criterio esta siendo valorado de forma negativa, por ejemplo el criterio lugar, que puede ser valorado de forma negativa por alguna cuestión de comodidad.
3. Extensión de la herramienta DIME+ tener mayor alcance en los proyectos de ciencia ciudadana: Se puede utilizar el modelo realizando ajustes para que pueda aplicarse en aspectos como la medición del aprendizaje de los asistentes, donde las dimensiones y criterios están orientados para determinar el grado de captación de conocimiento nuevo.

Apéndice A

Anexos

A.1 Ciencia Ciudadana

Tabla A.1: Términos que describen a los científicos que trabajan con los ciudadanos en la Ciencia Ciudadana.

Fuente: [37].

Término científico	Definición	Consideraciones
Ciudadano científico, científico ciudadano, científico público, científico de la comunidad.	Individuos con formación científica formal que participan activamente en la esfera cívica y quieren que su trabajo sirva al bien común y lo haga de forma transparente.	Ciudadano Científico se confunde fácilmente con el significado más común de la participación pública en la ciencia.
Educadores cívicos	Individuo que proporciona información y/o crea oportunidades educativas para otros con el propósito de construir un camino para un mayor compromiso cívico.	Estrechamente asociado con los valores democráticos, inherentemente cargado políticamente.
Comercial	Individuo entrenado en la ciencia con el objetivo de crear productos con fines de lucro.	Incentivado por el beneficio financiero, más que por el conocimiento por el conocimiento".
Acreditado, entrenado, educado	Individuos con títulos y formación científica formal.	Refuerza el valor de la educación científica formal.

(Viene de la página anterior)

Élite	Individuos con experiencia y/o privilegios no compartidos por el público en general	Típicamente excluye al público en general, a los científicos que inician su carrera y a las minorías; muchos científicos se esfuerzan por no ser elitistas.
Institucional, Académico, Laboratorio	Individuo empleado o afiliado a una institución académica, agencia, compañía u organización no gubernamental.	Los científicos pueden no estar afiliados a una institución o no trabajar en un laboratorio.
Profesional, pagado, empleado	Individuos que trabajan en una ocupación o profesión científica, o que tienen un puesto por el que se les paga.	Algunos científicos pueden llevar a cabo proyectos participativos fuera del tiempo remunerado.
Investigador	Individuo que investiga una cuestión científica específica e identificada.	Los investigadores suelen ser interpretados estrictamente como académicos.
Científico-activista	Individuos con formación científica formal que aplican sus conocimientos a las agendas políticas.	Se puede percibir que se ha despojado de la "objetividad" de la ciencia.
Científico voluntario	Una persona a la que no se le paga por su participación en actividades científicas	Una persona a la que no se le paga por su participación en actividades científicas.

(Fin de la tabla)

Tabla A.2: Términos que describen a los ciudadanos en la Ciencia Ciudadana.

Fuente: [37].

Término científico	Definición	Consideraciones
Aficionado, Hobbyista	Individuos que participan en la ciencia para obtener beneficios personales no fiscales.	Implica que un individuo no es un profesional o un experto.
Anónimo, no identificado	Un individuo que participa en la ciencia ciudadana que no se identifica por su nombre.	No acredita a los participantes.
Ciudadano	Un habitante de un pueblo o ciudad en particular; un miembro del público en general en un lugar geográfico definido.	También puede definirse como "un sujeto legalmente reconocido o nacional de un estado, ya sea nativo o naturalizado", lo cual es engañoso y potencialmente exclusivo en el contexto de la ciencia ciudadana.
Investigador ciudadano, científico ciudadano individual	Un individuo que dirige una actividad o realiza una investigación independiente o en colaboración como investigador principal.	Inherentemente separa los proyectos de ser considerados investigación científica tradicional.
Colaborador	Un individuo que trabaja junto con un líder de proyecto.	No especifica el nivel de colaboración (es decir, qué parte de la investigación científica).
Comunidad, investigador comunitario	Individuos que se han unido a una comunidad, en línea o en persona, para trabajar hacia un objetivo de investigación común; miembros de una comunidad preexistente.	Implica un interés local; implica una familiaridad entre los participantes que puede o no existir; la "comunidad" puede ser difícil de definir.
Contribuyente, donante	Un benefactor o contribuyente de dinero, bienes u otros productos intelectuales o físicos con valor.	La mayoría de las veces se refiere a personas que donan dinero o materiales, y no a información; connota un modelo de contribución de la ciudadanía con una participación limitada de los participantes.

(Viene de la página anterior)

Sensor humano	Individuo que forma parte de una red enviando datos y observaciones que a menudo se toman y transmiten a través de herramientas de comunicación modernas, como teléfonos inteligentes, a una base de datos central.	Tiene el estigma histórico de que los científicos utilizan datos sobre las personas (por ejemplo, la salud, el comportamiento, la historia de la web) sin consentimiento explícito.
Experto o poseedor de conocimiento indígena / tradicional / local	Una persona con conocimientos basados en el lugar, adquiridos a través de la experiencia vivida o la tradición oral.	El término exacto utilizado puede ser específico del proyecto y basado en la experiencia de las personas involucradas, sin embargo, "tradicional" es menos favorecido porque el conocimiento es dinámico; el conocimiento indígena es visto como diferente de la ciencia tanto por los poseedores de este conocimiento como por los científicos formalmente capacitados.
Titular del conocimiento laico, público en general	Un individuo que no está afiliado a un establecimiento científico, pero que puede poseer conocimientos especializados.	El "conocimiento laico" es amplio y sugiere que todo el mundo tiene este.
Layman	Una persona sin conocimientos o formación especializada en un tema específico.	Término desactualizado; se usó más comúnmente durante el siglo XIX que en los últimos 100 años.
Participante	Un individuo involucrado en la investigación.	Este término es utilizado por quienes dirigen un proyecto; el término proviene de la investigación participativa y en su lugar puede preferirse el término "voluntario".
Socio	Un individuo u organización que trabaja con un científico; el término a menudo se usa en investigación participativa basada en la comunidad.	La dinámica de poder rara vez es igual; el término "aliado" puede ser favorable.

(Viene de la página anterior)

Estudiante, Alumno		Una persona comprometida porque su salón de clases / escuela está participando en un proyecto de ciencia ciudadana.	Estas personas son una audiencia cautiva y no verdaderamente voluntarios en el sentido democratizador de la ciencia ciudadana..
Investigador acreditado, académico, científico	no no no	Un individuo que participa en un proyecto de ciencia ciudadana que carece de credenciales científicas.	Definición basada en lo que la gente no es o no tiene y se fundamenta en la credencial, afiliación, o científico como una característica definitoria.
VolunPeer		Un voluntario, organización o institución que representa actividades de fomento del conocimiento y empresas colaborativas..	Actualmente no se considera una palabra en ningún diccionario oficial.
Voluntario		Un individuo que contribuye con trabajo o servicio no remunerado a una empresa, por ejemplo, una actividad científica.	Un término general sin estar explícitamente vinculado a la ciencia; algunos participantes pueden ser remunerados.
Términos específicos del proyecto		Los términos específicos pueden ser apropiados o preferidos para proyectos específicos o por participantes específicos, ejemplos: 'eBirder' (eBird), 'Zooites' (Zooniverse), 'Crafters' (CrowdCrafting).	Generalizabilidad limitada (pero es posible que no se desee generalizar).

(Fin de la tabla)

Tabla A.3: Representantes de la política, actividades y roles.

Fuente: [51].

Actores	Actividades	Roles
Gobiernos y oficinas, ministerios y autoridades conexas, organismos y encargados de la formulación de políticas individuales	Proporcionar orientación para la aplicación y acceso a plataformas en línea. Proporcionar asesoramiento y asistencia al personal. Apoyar y patrocinar las iniciativas de la CS. Apoyar la creación de infraestructura. Apoyo general	Promotores de CS; Usuarios finales de CS
Instituciones políticas	Ampliar e intensificar el diálogo con los actores. Proporcionar consejos y recomendaciones. Tomar acciones conjuntas con proyectos, organizaciones y redes de colaboración. Reconocer el valor de CS y sentar los conocimientos para la investigación ambiental. Desarrollar un entendimiento mutuo entre los participantes de la sociedad civil, las instituciones de investigación y el sector público. Hacer disponible un informe de las mejores prácticas para el CS (ambiental). Establecer estándares de intercambio de datos e interoperabilidad para CS. Mejorar la posible reutilización de herramientas en CS. Proporcionar repositorios para los datos generados en CS.	Apoyo para proyectos de CS. Proveedores de infraestructura práctica.

Tabla A.4: Actores de la sociedad, actividades y roles.

Fuente: [51].

Actores	Actividades	Roles
Organizaciones no gubernamentales.	Utilizar los conocimientos de los ciudadanos voluntarios para vigilar y gestionar los recursos naturales, rastrear las especies en riesgo y conservar las áreas protegidas. Dirigir los proyectos de CS. involucrar al público en la atención de las necesidades de la sociedad y acelerar la ciencia, la tecnología y la innovación.	Líderes de proyectos; Usuarios de CS.
Grupos de partes interesadas.	Cuidar de la naturaleza. Participar en los debates de la política local. Aprender a usar la tecnología GPS. Documentar los efectos de la tala.	Agentes locales de aprendizaje.
Las comunidades / El público.	Documentar los problemas de Plagas. Registrar información. Participar en programas de gestión. Presionar al gobierno para evitar la fragmentación local. Participar en el desarrollo y diseño de proyectos que aborden problemas del mundo real.	Observadores; Grabadores; Participantes; Grupos de presión.

(Viene de la página anterior)

Ciudadanos.	Proporcionar información. Notificar a las autoridades. Vigilar, recopilar, enviar y analizar datos de monitoreo. clasificar cientos de millones de galaxias analizando imágenes. Guardianes y facilitadores. Seguir los principios de la investigación científica. Contribuir con la investigación del medio ambiente. Abordar los problemas ambientales. Contribuir en los procesos de planificación de acciones de biodiversidad. Aumentar sus conocimientos. Participar en la planificación y evaluación de las investigaciones. Colaborar, ayudar, ser voluntario en proyectos de investigación científica. Ser recluta para tareas científicas. Experimentar su entorno. Ser la fuerza impulsora de la investigación científica y del debate político, así como para los científicos. Experimentar los beneficios educativos de CS.	Proveedores de información; Guardianes y facilitadores; Fuerza motriz de la investigación científica y el debate político; Procesadores y recolectores de datos; ejército para la conservación; Comunicadores y difusores.
Organizaciones públicas.	Estar involucrados en proyectos de ciencia ciudadana. Organizar programas de monitoreo.	Organizadores.
Economía.	Desarrollar software para la verificación de datos generados en CS.	Desarrolladores.
Asociaciones y grupos de presión.	Utilizar redes profesionales y de CS establecidas para registrar cambios en el entorno	Registradores.

(Fin de la tabla)

Tabla A.5: Actores desde la ciencia, actividades y roles.

Fuente:[51].

Actores	Actividades	Roles
Científicos	Proporcionar información o apoyo a los ciudadanos científicos en proyectos complejos. Mapear los cambios en la distribución de las especies. Impulsar el desarrollo de enfoques innovadores para la interpretación de datos a fin de aumentar el valor científico. Desarrollar nuevos proyectos. Difundir los datos y resultados al público. Puede ser la fuerza impulsora de la investigación científica y el debate político, así como de los ciudadanos.	Ser la fuerza motriz para la investigación y el debate político.
Instituciones científicas, centros de investigación, grupos y colaboraciones científicas.	Dirigir los proyectos de CS.	Director de proyecto.
Red científica.	Tener secciones dedicadas solamente para proyectos de CS. Reconocer el potencial de CS para la investigación y su papel en el movimiento de ciencia abierta. Mantener y desarrollar Zooniverse.	Multiplicador de CS.

Tabla A.6: Ciencia-Política-Sociedad, redes y organizaciones; actividades y roles.

Fuente: [51].

Actores	Actividades	Roles
Asociaciones de Ciencia Ciudadana.	Desempeñar un papel de liderazgo en la coordinación del crecimiento y establecimiento de CS a nivel internacional, preparar un informe de política sobre CS y la ciencia abierta. Tomar acciones concretas [...] para investigar la aplicabilidad del kit de herramientas de SC de EE.UU. para Europa. Organizar comunidades de BioBlitz en Europa. Cubrir una amplia gama de aspectos en CS a través de grupos de trabajo. Desarrollar una ciudadanía europea y un compromiso público con la ciencia. Proporcionar marcos para compartir metodologías y conocimientos entre proyectos de CS. Promover el valor y el impacto de CS. Compartir conocimientos y habilidades sobre CS. Identificar, desarrollar y promover mejores prácticas y la excelencia en CS. Apoyar los servicios de comunicación y desarrollo profesional. Fomentar la diversidad y la inclusión dentro del campo.	Desarrollador y partidiario de CS; proveedor de conocimientos; Colaborador de CS
Organismos de financiación.	Patrocinar las iniciativas de CS. Promover la participación activa de los ciudadanos en la investigación científica en los procesos de adquisición de conocimientos.	Patrocinador; Promotor

Tabla A.7: Clasificación de los proyectos de ciencia ciudadana por autores.

AUTORES	ARTÍCULO	AÑO	CLASIFICACIÓN
Bonney, R., Ballard, H., Jordan, R., McCallie, E., Phillips, T., Shirk, J., and Wilderman, C.C.	Public Participation in Scientific Research: Defining the Field and Assessing Its Potential for Informal Science Education. A CAISE Inquiry Group Report. [16]	2009	• Proyectos contributivos: Generalmente son diseñados por científicos, y los miembros del público contribuyen principalmente con datos. • Proyectos Colaborativos: Generalmente son diseñados por científicos, y los miembros del público contribuyen con datos, ayudan con el perfeccionamiento del diseño del proyecto, analizar datos o difundir los hallazgos. • Proyectos Co-creados: Son aquellos diseñados por científicos y miembros del público trabajando juntos y en donde al menos algunos de los participantes del público participan activamente en la mayoría o en todas las etapas del proceso científico.
A.Wiggins and K.Crowston	From Conservation to Crowdsourcing: A Typology of Citizen Science. [101]	2011	• Proyectos de acción: Son desarrollados por los ciudadanos, fomentan la participación en problemas locales que implican un compromiso a largo plazo, y utilizan la investigación científica como herramienta. • Proyectos de conservación: Tienen afiliaciones con organismos estatales o federales, tienen objetivos o contenidos educativos explícitos, y las actividades de los voluntarios se centran en la recolección de datos. Su alcance es regional y apoyan metas de administración y gestión de recursos naturales.

(Viene de la página anterior)

A.Wiggins and K.Crowston			• Proyectos de investigación: Se centran en objetivos de investigación científica, su alcance puede ser internacional y puede tener un gran número de participantes, la recopilación de datos se origina de un entorno físico, proporciona estructuras que generan un aprendizaje continuo. • Proyectos virtuales: Éstos están mediados por las TIC y tienen objetivos similares a proyectos de investigación, la participación de los ciudadanos no siempre es considerada como colaboración y se realiza de manera virtual, pero tiene otros aspectos relacionados con la ciencia ciudadana, en particular, proyectos de psicología. • Proyectos de educación: La educación y la divulgación son objetivos primordiales, contienen tareas diseñadas para un aprendizaje acumulativo, permiten un aprendizaje formal e informal.
Jennifer L. Shirk , Heidi L. Ballard, Candie C. Wilderman, Tina Phillips, Andrea Wiggins, Rebecca Jordan, Ellen McCallie, Matthew Minarchek,	Public Participation in Scientific Research: a Framework for Deliberate Design. [95]	2012	• Proyectos contractuales: Las comunidades solicitan a los investigadores realicen una investigación científica sobre un problema o tema específico y que informen los resultados obtenidos. • Proyectos contributivos: Generalmente son diseñados por científicos y la participación del público es con la contribución de datos

(Viene de la página anterior)

Bruce V. Lewenstein, Marianne E. Krasny, and Rick Bonney.			• Proyectos colaborativos: Generalmente son diseñados por científicos y la contribución del público es en refinar el diseño de la investigación, generar y analizar datos, difundir los resultados. • Proyectos co-creados: Son diseñados por científicos y participantes públicos, quienes están involucrados de manera activa en todos o la mayoría de los procesos de investigación. • Contribuciones colegiales: Son investigaciones independientes, realizadas por ciudadanos sin ninguna credencial científica y que esperan un reconocimiento de la ciencia y/o profesionales institucionalizados.
Roy, H.E., Pocock, M.J.O., Preston, C.D., Roy, D.B., Savage, J., Tweddle, J.C., Robinson, L.D.	Understanding Citizen Science and Environmental Monitoring. [90]	2012	* Proyectos dirigidos por la comunidad: Los miembros del público trabajan en todas las etapas del proyecto de investigación sin la intervención de científicos profesionales. • Proyectos locales sencillos • Proyectos locales exhaustivo • Proyectos simples de participación masiva • Proyectos exhaustivos de participación masiva
Muki Haklay.	Citizen Science and Volunteered Geographic Information: Overview and Typology of Participation. [49]	2013	• Nivel 4 Ciencia Ciudadana extrema": Ciencia colaborativa - definición de problemas, recopilación y análisis de datos. • Nivel 3 Ciencia participativa": Participación en la definición de problemas y recolección de datos.

(Viene de la página anterior)

Muki Haklay			• Nivel 2 "Inteligencia distribuida": Los ciudadanos como intérpretes básicos. Pensamiento voluntario. • Nivel 1 "Crowdsourcing": Los ciudadanos como sensores. Computación voluntaria.
-------------	--	--	---

(Fin de la tabla)

Tabla A.8: Estrategia general de evaluación. Fuente: [85].

PROCESO DE EVALUACIÓN		
PLANEAR		
Actividad	Descripción	Tareas a realizar
Inventario	Recopilar información detallada sobre los antecedentes del proyecto y su contexto.	Describir audiencia, socios, partes interesadas, entregables, fuentes de financiación. Describir contexto político, cultural histórico y organizativo. Describir detalladamente objetivos y resultados del proyecto. Definir el modelo lógico del programa en donde se muestren las entradas, actividades, productos, resultados e impactos.
Definir	Se debe definir lo que se evaluará con exactitud, alcance, cronograma y recursos necesarios.	Definir el propósito de la evaluación, el alcance y limitaciones. Desarrollar las preguntas clave dentro del contexto de los resultados esperados. Definir los indicadores o criterios para cada metas y resultado esperado. Definir el cronograma del plan de evaluación, indicando tareas y hitos establecidos. Definir un presupuesto aproximado destinado para la evaluación.
Diseñar	Diseñar la estrategia de recopilación de datos.	Determinar la estrategia para diseñar la evaluación general, y definir si será cuantitativa, cualitativa o mixta. Definir para cada evaluación el tipo de población y el tamaño de la muestra mas apropiado. Indicar el método de recolección de datos , la muestra(si será antes, durante o después del proyecto) y la fuente de los datos.
IMPLEMENTAR		
Actividad	Descripción	Tareas a realizar

(Viene de la página anterior)

Desarrollar	Puesta en marcha del plan de evaluación.	Definir el instrumento a utilizar, se recomienda utilizar aquellos instrumentos con validez y confiabilidad probados. Mantener el instrumento lo mas breve posible que incluyan elementos demográficos y recopilar únicamente los datos necesarios.
Probar	Probar el instrumento antes de su aplicación, tomando en cuenta su entorno y contexto en el que se va a emplear.	Realizar pruebas de campo con borradores de los instrumentos y obtenga retroalimentación de la población piloto. Crear un plan de gestión y protección de datos.
Administrar	Administrar los instrumentos aplicados y los datos obtenidos, para generar la evidencia de la efectividad del proyecto.	Reclutar participantes para la evaluación, considerando los requisitos legales que se pudieran necesitar como documentos de consentimiento y avisos de confidencialidad.
COMPARTIR		
Actividad	Descripción	Tareas a realizar
Analizar	Analizar los datos obtenidos de la evaluación, tomando en cuenta el tipo de herramienta utilizado.	Crear respaldos de los datos recopilados sin procesar. Trabajar con los datos cuantitativos. Trabajar con los datos cualitativos. Trabajar con los datos mixtos.
Reportar	Crear un informe de evaluación acorde a las partes interesadas en el proyecto.	El informe de evaluación debe contener las siguientes secciones: Resumen ejecutivo, Descripción del programa, Metodología de evaluación, Discusión e interpretación, Recomendaciones, Referencias y Apéndices.

(Viene de la página anterior)

Diseminar	Difundir los resultados positivos y negativos del proyecto en lugares tradicionales y no tradicionales.	Compartir el informe con los interesados. Publicar los resultados obtenidos. Considerar la publicación de los resultados en medios no tradicionales como sitios web, medios de comunicación escrita, bibliotecas, centros comunitarios, etc. Informar al personal involucrado en el proyecto.
-----------	---	---

(Fin de la tabla)

A.2 Evaluación

Tabla A.9: Preguntas guía para los criterios de evaluación en proyectos de ciencia ciudadana.

Fuente: [93]

DIMENSIÓN CIENTÍFICA	
PROCESO Y VIABILIDAD	
Objetivos científicos	
Criterios	Preguntas guía
Relevancia del problema científico	¿Se adhiere el proyecto a la definición de ciencia ciudadana? Por ejemplo, ¿incluye a los ciudadanos en el proceso científico? ¿Es el objetivo científico adecuado como proyecto de ciencia ciudadana y por qué? ¿Se orienta el objetivo científico a un problema socialmente relevante? ¿Son los objetivos científicos lo suficientemente claros y auténticos? ¿Cuáles son los logros científicos del proyecto y cómo se definen?
Datos y sistemas	
Ética, protección de datos, derechos de propiedad intelectual	¿Tiene el proyecto un plan de gestión de datos, una estrategia de derechos de propiedad intelectual y una guía de conducta ética? ¿Es transparente el proceso de gestión de datos? Por ejemplo, ¿saben los ciudadanos para qué se usan los datos, dónde se almacenan y comparten? ¿Son claros y transparentes los derechos de propiedad y de acceso de datos?. ¿Cómo se gestiona la publicación de los datos?
Apertura, estándares, interfaces	¿Tiene el proyecto interfaces abiertas para conectar con otros sistemas y plataformas? ¿Son compartidos públicamente los datos generados y bajo qué condiciones? (P.ej. anonimizados, metadatos, propiedad, con consentimiento, etc.)
Evaluación y adaptación	
Evaluación y validación de datos	¿Tiene el proyecto un concepto robusto de evaluación que considera resultados tanto científicos como sociales? ¿Se planea la evaluación en puntos estratégicos del proyecto? ¿Se ajusta la validación de los datos con la pregunta científica y la experiencia en el proyecto? ¿Se han definido indicadores y métodos de evaluación? ¿Se consideran todas las partes interesadas?

(Viene de la página anterior)

	¿Qué procesos están definidos para garantizar una alta calidad de los datos?
Adaptación del proceso	¿Incluye el proyecto una fase de evaluación? ¿Tiene el proyecto un plan apropiado de gestión de riesgos? ¿Son estructuras del proyecto adaptativas y reactivas? ¿Incluye el proyecto cauces de retroalimentación para la adaptación?
Colaboración y sinergias	
Colaboración y sinergias	¿Colabora el proyecto con otras iniciativas a nivel nacional o internacional para mejorar el aprendizaje mutuo y adaptación? ¿Establece el proyecto vínculos con expertos de otras disciplinas? ¿Se construye el proyecto sobre conocimientos de ciencia ciudadana existentes en el campo específico de la investigación? ¿Existen planes para fortalecer la colaboración entre científicos y ciudadanos?
RESULTADOS E IMPACTOS	
impacto científico	
Conocimiento científico y publicaciones	¿Tiene el proyecto una estrategia de difusión apropiada? ¿Participan los ciudadanos científicos en las publicaciones o se reconoce de algún modo su compromiso? ¿Contribuyó el proyecto a la educación de adultos y al aprendizaje continuo?
Nuevos campos y estructuras de investigación	¿Generó el proyecto nuevas preguntas de investigación, nuevos proyectos o propuestas? ¿Dio lugar a algún intercambio de ideas entre proyectos? ¿Contribuyó el proyecto a cambios estructurales o institucionales?
Nuevas fuentes de conocimiento	¿Facilita el proyecto el acceso a los recursos de conocimiento tradicional y local? ¿Promueve el proyecto nuevas colaboraciones entre grupos y actores sociales? ¿Contribuye el proyecto a una comprensión mutua entre ciencia y sociedad?
DIMENSIÓN DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL CIUDADANO	
PROCESO Y VIABILIDAD	
Implicación y apoyo	
Adecuación del grupo objetivo	¿Tiene el proyecto planes de comunicación específicos para grupos destinatarios?

(Viene de la página anterior)

	¿Qué estrategias de participación tiene el proyecto (por ejemplo, gamificación)? ¿Se diversifican las opciones de participación y el grado de participación?
Nivel de intensidad	¿En qué fases del proyecto participan los ciudadanos? ¿Son los ciudadanos y los científicos socios iguales en el proceso de generación de conocimiento?
Facilitación y comunicación	¿Están adaptadas las medidas de apoyo y capacitación a los diferentes grupos de participantes? ¿Se comunican los objetivos de forma clara y transparente? ¿Cómo es de interactiva la comunicación y colaboración organizada entre científicos y ciudadanos?
Colaboración y sinergias	¿Involucra el proyecto a las organizaciones que ofrecen relaciones y estructuras de comunicación con los ciudadanos?
RESULTADOS E IMPACTOS	
Desarrollo personal	
Conocimiento, habilidades, competencias	¿Cuáles son los objetivos específicos que deben alcanzar los participantes? ¿Cuáles son los resultados de aprendizaje para las personas? ¿Adquieren las personas nuevos conocimientos, habilidades y competencias? ¿El proyecto contribuye a una mejor comprensión de la ciencia?
Actitudes y valores	¿Tiene el proyecto alguna influencia en los valores y actitudes de los participantes con respecto de la ciencia?
Comportamiento y propiedad	¿Cuánta participación y responsabilidad se les ofrece a los participantes? ¿Fomenta el proyecto la propiedad entre los participantes? ¿Contribuye el proyecto al cambio personal en el comportamiento?
Motivación y compromiso	¿Aumenta el proyecto la motivación y la autoestima entre los participantes? ¿Están motivados los participantes para continuar el proyecto o involucrarse en actividades similares? En el caso de estudiantes más jóvenes, ¿consideran una carrera científica?
DIMENSIÓN SOCIAL-AMBIENTAL-ECONÓMICA	
PROCESO Y VIABILIDAD	
Difusión y comunicación	
Grupo objetivo y adecuación al contexto	¿Tiene el proyecto una estrategia de difusión y comunicación específica? ¿Incluye el proyecto medios innovadores de comunicación científica y medios de comunicación populares (por ejemplo, arte)?

(Viene de la página anterior)

Implicación activa y comunicación bidireccional	¿Incluye la estrategia de comunicación experiencias prácticas y comunicación bidireccional? ¿Se comunica la estrategia de participación de modo claro y transparente? ¿Se comunican los objetivos y los resultados del proyecto de modo claro y transparente?
Colaboración y sinergias	¿Busca el proyecto la colaboración con profesionales de la comunicación científica? ¿Aprovecha el proyecto las organizaciones de la sociedad civil para la comunicación y las sinergias?
RESULTADOS E IMPACTOS	
Impacto social	
Capacidad colectiva, capital social	¿Cuáles son las metas sociales del proyecto y cómo se comunican? ¿Fomenta el proyecto la resiliencia y la capacidad colectiva de aprendizaje y adaptación? ¿Fomenta el proyecto el capital social?
Participación política	¿Promueve el proyecto la participación política? ¿Tiene el proyecto algún impacto en las decisiones políticas?
Impacto ambiental	
Intervenciones específicas, función de control	¿Incluye el proyecto objetivos que protegen y mejoran los recursos naturales? ¿Contribuye el proyecto a una mayor conciencia y responsabilidad ambiental?
Amplio potencial de innovación	
Nuevas tecnologías	¿Fomenta el proyecto el uso de las nuevas tecnologías? ¿Contribuye el proyecto al desarrollo de las nuevas tecnologías?
Sostenibilidad, práctica de innovación social	¿Tiene el proyecto un plan de sostenibilidad? ¿Son transferibles los resultados del proyecto? ¿Contribuye el proyecto a la innovación social?
Potencial económico y oportunidades de mercado	¿Tiene el proyecto algún potencial económico para ser explotado en el futuro? ¿Tiene el proyecto alguna ventaja competitiva? ¿Incluye el proyecto algún modo de colaboración, por ejemplo con emprendedores sociales? ¿Genera el proyecto algún impacto económico, por ejemplo reducción de costes, creación de nuevos empleos, nuevo modelo de negocio, etc.?

(Fin de la tabla)

Tabla A.10: Herramientas de evaluación, ventajas y desventajas. Fuente: [85] y [41].

Herramientas	Descripción	Ventajas	Desventajas
Cuestionarios	Son un conjunto de preguntas por lo general estandarizadas que permiten obtener información de los individuos como habilidades o nivel de conocimiento, pueden ser abiertos, en donde las respuestas son la respuesta literal de la persona, o cerrados, en donde la respuesta se debe elegir de un conjunto de opciones	Proporcionan información cuantitativa y se puede comparar con otros resultados, se pueden aplicar un gran volumen de personas, y su aplicación puede darse por diferentes medios, como herramientas en línea.	No se puede obtener información nueva no considerada, en los cuestionarios abiertos, el análisis de las respuestas requiere de mas tiempo, los resultados pueden ser sobre el aprendizaje superficial y el lenguaje o vocabulario puede no ser el adecuado al grupo al que va dirigido.
Entrevistas	Son conversaciones directas que implican discusión entre los involucrados, pueden ser abiertas estandarizadas, donde las preguntas son predefinidas para todos participantes, semiestructuradas, donde las preguntas son flexibles durante la entrevista e informales, cuya entrevista se adapta a las características de cada entrevistado	Las entrevistas son adaptables y proporcionan una gran cantidad de información detallada, No requiere de un análisis de datos exhaustivo, proporciona información diferente a la contemplada	No se pueden obtener datos cuantitativos y su análisis puede llegar a ser complicado, costos y puede llevar mucho tiempo.
Grupos Focales	Son entrevista grupales, cuyo número de participantes es reducido, estos participantes deben tener varias características similares entre si.	La dinámica es interactiva entre los participantes, permite la discusión profunda de un tema, promueve la participación y el intercambio de ideas	Se puede influir en las opiniones, se pueden dar situaciones en donde algunos de los integrantes no participen o haya disputas por el dominio de la conversación, su complementación puede llegar a ser costoso.

(Viene de la página anterior)

Observaciones	Los investigadores realizan observaciones sobre el evento, la actividad y el comportamiento de los participantes, se toman nota para ser analizadas después.	Permite identificar contextos, relaciones, comportamientos y actitudes entre los participantes, así como la relación que tienen con el proyecto. Algunos de los aspectos identificables pueden servir de referencia para formular una encuesta o entrevista.	Las observaciones requieren de la participación directa de los investigadores, la calidad de los datos depende del registro que se de por parte del investigador, el análisis e interpretación de los datos puede llevar mucho tiempo y su ejecución puede llegar a ser costosa.
Métricas de sitios web, redes sociales y juegos/apps	Son elementos que utilizan canales de comunicación digitales para la recopilación de información.	Se puede llegar a un público muy extenso, se pueden recopilar datos como comentarios o sugerencias.	Se puede limitar solo al público que tenga acceso a recursos tecnológicos o con cierto nivel de conocimiento en tecnologías de la información.

(Fin de la tabla)

Tabla A.11: Cuestionarios prediseñados en questionpro.com Fuente: www.questionpro.com/es/survey-templates/

Evaluación	Preguntas base	Tipo de respuestas
Reuniones y eventos	Teniendo en cuenta su experiencia completa en el evento, ¿qué tan probable sería recomendarlo a un amigo o colega?	Elegir un valor del siguiente rango: 0 Muy improbable o 10 Muy probable
	¿Qué tan satisfecho está usted: >con la calidad del evento global? >con el alcance de la información que se presenta? >con la utilidad de la información? >con la calidad de las presentaciones en las sesiones generales? >con el énfasis del formato de la reunión general de la formación? >que tenía tiempo suficiente para establecer contactos y compartir ideas con sus compañeros? >con la cantidad de tiempo dedicado a la formación? >con el valor total de las reuniones para ayudar a mejorar su eficacia profesional? Usted y sus compañeros recibieron el reconocimiento y el aprecio apropiados en el evento por sus contribuciones el año pasado.	Para cada pregunta solo se puede seleccionar una opción de las siguientes: Muy satisfecho, Satisfecho, Neutral, Insatisfecho, Muy Insatisfecho
Conferencias	Teniendo en cuenta su experiencia en nuestra conferencia, ¿con qué probabilidad recomendaría este evento a un amigo o colega?	Elegir un valor del siguiente rango: 0 Muy improbable o 10 Muy probable
	Califíquenos por la organización general de esta conferencia	Valoración seleccionando nivel de estrellas

(Viene de la página anterior)

Conferencias	Por favor, indique su satisfacción general con los siguientes aspectos de la conferencia: Facilidad en el registro Sede Contenido/Temas de la conferencia Ponentes Comida y bebida Tiempo asignado a los debates Experiencia general de la conferencia	Para cada pregunta solo se puede seleccionar una opción de las siguientes: Muy satisfecho, Satisfecho, Neutral, Insatisfecho, Muy Insatisfecho
	Por favor, seleccione su ponente favorito de la conferencia:	Elegir un ponente de la lista disponible
	Elija las principales razones para asistir a esta conferencia	Se puede elegir mas de una de las siguientes opciones: Conferencias magistrales y panel de discusión, Perfiles de los asistentes, Perfiles de los ponentes, Exposición del producto, Organización de la conferencia, Localización de la conferencia
	¿Cómo se enteró de esta conferencia:	Se puede elegir más de una de las siguientes opciones: Correo electrónico, Medios impresos, Medios de comunicación, otro
	¿Cuál fué su principal objetivo al asistir a la conferencia	Se puede elegir más de una de las siguientes opciones: Obtener experiencia en el tema, Redes de negocios, Descubrimiento de nuevos productos/servicios, Descubrimiento de nuevos vendedores/proveedores, otro.
	¿A cuántas conferencias/seminarios asiste en promedio por año	Se elige una opción de un menú desplegable con las siguientes opciones: 1-2, 3-5, 6 o más

(Viene de la página anterior)

Comentarios del evento	Teniendo en cuenta su experiencia completa en el evento, ¿qué posibilidades hay de que recomiende nuestros futuros eventos a sus amigos o colegas?	Elegir un valor del siguiente rango: 0 Muy improbable o 10 Muy probable
	Por favor, indique 3 cosas que más le gustaron del evento.	Para responder tiene un campo de texto
	Por favor, indique 3 cosas que no le gustaron del evento.	Para responder tiene un campo de texto
	¿Cuál fue la razón por la que elegiste asistir a este evento?	Puede elegir mas de una de las siguientes opciones: Adquirir mas experiencia en la materia. Redes de negocio. Investigación de nuevos productos. Investigación de nuevos proveedores. Conocimiento de la marca. Otro
	¿Cómo supiste del evento	Puede elegir mas de una de las siguientes opciones: Correo Electrónico. Anuncio en línea. Publicidad al aire libre. Llamada telefónica. Medios impresos. Otros
	¿Qué tan satisfecho estuvo con la organización del evento?	Elegir una de las siguientes opciones: Muy insatisfecho. Insatisfecho. Neutral. Satisfecho. Muy Satisfecho.
	¿Qué tan satisfecho estuvo con lo siguiente? Amabilidad del personal Apoyo del personal higiene general Ubicación del evento Fecha de realización del evento Evento en general	Para cada pregunta solo se puede seleccionar una opción de las siguientes: Muy satisfecho, Satisfecho, Neutral, Insatisfecho, Muy Insatisfecho
	En una escala del 1 al 7, siendo 7 el más alto, ¿qué tan útil fue el personal del evento?	Se elige un valor entre 1 y 7

(Viene de la página anterior)

Comentarios del evento	¿Cuánta información previa al evento se le proporcionó para ayudarlo a comprender mejor el evento?	Elegir una de las siguientes opciones: Toda la información. La mayoría de la información. Un poco de información. Poca información. Ninguna información
	Indique que tan de acuerdo esta con lo siguiente: El evento cumplió mis expectativas. Cada sesión recibió la cantidad de tiempo correcta El evento fue muy interactivo. El evento proporcionó muchos nuevos aprendizajes Los oradores fueron muy conocedores El evento tuvo el tipo correcto de audiencia El evento proporcionó buenas opciones de redes	Para cada pregunta solo se puede seleccionar una opción de las siguientes: Muy en desacuerdo. En desacuerdo. Neutral. De acuerdo. Muy de acuerdo
	En una escala del 1 al 7, siendo 7 el más alto, ¿califica a cada orador en el evento?	Se elije un valor entre el rango de 1 a 7 para cada orador
	¿Has asistido a alguno de nuestros eventos anteriores?	Solo se puede elegir entre dos opciones: Si. No.
	¿Cómo prefiere recibir material sobre el evento?	Se puede elegir mas de una de las siguientes opciones: Correo Electrónico. Medios impresos, Sitios web, Llamada telefónica. Redes sociales. Otro.
	¿Tiene algún comentario / sugerencia que nos ayude a mejorar los eventos futuros?	Se responde en un campo de texto libre

(Fin de la tabla)

A.3 Software

Tabla A.12: Requerimientos Funcionales y No Funcionales de DIME+

Tipo de Requerimiento
Requerimientos Funcionales sitio web DIME+ Tendrá un área de autenticación, en donde aquellos usuarios que cuenten con credenciales válidas podrán acceder a datos de eventos y/o actividades asociados a su cuenta o perfil. - El sistema tendrá dos tipos de registro: usuario organizador de eventos y usuario organizador de actividades. - El sistema solicitará los siguientes datos para registrar un organizador de actividades: Nombre. Asociación o institución a la que pertenece. Correo electrónico. - El sistema solicitará los siguientes datos para registrar un usuario organizador de eventos: Nombre y Logo (si es que cuenta con uno). Asociación o institución a la que pertenece. Cuenta de RRSS. Página web. Tipo: Proyecto de ciencia ciudadano / institución / organismo. Descripción general del proyecto. Fecha de inicio y fin del proyecto. Ubicación - región y país. - El usuario organizador de eventos podrá crear, modificar o eliminar un proyecto y/o institución. Cada elemento creado generará un identificador único e irrepetible que servirá para asociar eventos y actividades dependientes. El sistema tendrá la siguiente jerarquía: El nivel superior son proyectos denominados <i>MACRO</i>. El nivel intermedio son Eventos denominados <i>MESO</i>. El nivel inferior son Actividades denominados <i>MICRO</i>. - El usuario organizador de eventos podrá crear, modificar o eliminar objetos <i>MACRO</i>, <i>MESO</i> y <i>MICRO</i>. El usuario organizador de actividades podrá crear, modificar o eliminar objetos <i>MICRO</i>. Cada elemento creado generará un identificador único e irrepetible - Los objetos <i>MESO</i> tendrán los siguientes datos: Nombre del evento. Tipo de Evento. Lugar. Motivo del evento. Organizadores del evento. Página web del evento. Objeto <i>MACRO</i> al que pertenecen (Es opcional) - Los objetos <i>MICRO</i> tendrán los siguientes datos: Nombre de la actividad. Tipo de actividad. Lugar. Motivo de la actividad. Página web. Datos de ponentes. Objeto <i>MESO</i> al que pertenecen (Es opcional) - El Sistema tendrá la opción de descargar los datos de las evaluaciones como un archivo CSV. - El sistema generará para cada objeto un código QR. El código se generará a partir del identificador. - El Sistema tendrá la opción de generar y descargar un informe con un formato prediseñado de los datos de las evaluaciones hechas a objetos <i>MESO</i> y <i>MICRO</i>. Requerimientos No Funcionales sitio web DIME+

- Estará compuesta por diversas área o módulos en donde se mostrará información estática con textos informativos, elementos multimedia (imágenes y/o videos cortos) y enlaces a las cuentas oficiales en redes sociales. Ésta información será proporcionada por los administradores del portal.
- La interfaz contará con un menú desplegable donde las opciones serán diferentes para usuarios registrados o visitantes.
- La página utilizará los logotipos de la Universidad de Granada y del Instituto DaSCI.
- La distribución de los elementos de la página se debe adaptar a diferentes resoluciones de pantalla.
- Los colores utilizados no debe provocar fatiga visual con el uso prolongado de la herramienta.
- El servidor debe estar conectado siempre a un enlace de internet.
- El servido debe contar con un respaldo de energía para cuando ocurra un corte en la electricidad.

Requerimientos Funcionales APP DIME+

- Si es usuario nuevo, deberá registrarse con un correo electrónico y proporcionando los siguientes datos: Nombre. Edad. Genero Provincia.
- La aplicación guardará los datos de registro para no solicitarlo nuevamente.
- La aplicación tendrá acceso a la cámara del dispositivo para que le permita escanear un código QR y descargar la información asociada a ese código.
- El usuario podrá seleccionar un objeto MESO o MICRO para poder emitir su opinión. Podrá valorar cualquier objeto siempre y cuando tenga la fecha actual. No podrá valorar un evento con fecha posterior o anterior a la actual.
- El usuario podrá elegir dimensiones y criterios para emitir su valoración. La restricción es que mínimo sea al menos 5 criterios de cualquier dimensión
- El usuario podrá elegir al menos un conjunto de etiquetas lingüísticas con las que emitirá su valoración.
- El usuario deberá elegir al menos una etiqueta para valorar un criterio, pero también debe tener la opción de elegir un rango de ellas. Si selecciona un rango, el orden de elección debe ser primero el valor inferior y después el valor superior.
- El usuario podrá elegir una etiqueta de sentimiento, el cual servirá para catalogar su valoración como positiva o negativa.
- El formato de los datos generados por de la valoración debe de constar de los siguientes elementos: [valor numérico consecutivo de elección][Etiqueta de Sentimiento][Etiquetas lingüísticas]

Requerimientos No Funcionales APP DIME+

- La aplicación debe funcionar en ambientes Android e iOS.
- Se desea que el método de elección de elementos sea: Seleccionar, Arrastrar y Soltar.
- Se desea que la presentación de elementos como la etiqueta de sentimiento, sea como tipo carrusel.
- La pantalla de inicio debe mostrar información de los eventos disponibles para evaluar y las valoraciones al momento de aquellos que están siendo evaluados.
- Se debe mostrar un apartado donde esté el aviso de privacidad, legible y que pueda ser consultado en cualquier momento.

- La aplicación debe adaptarse a las resoluciones de pantalla mas comunes en los dispositivos móviles del mercado.
- Los datos de identificación como el correo electrónico deben estar cifrados y protegidos.

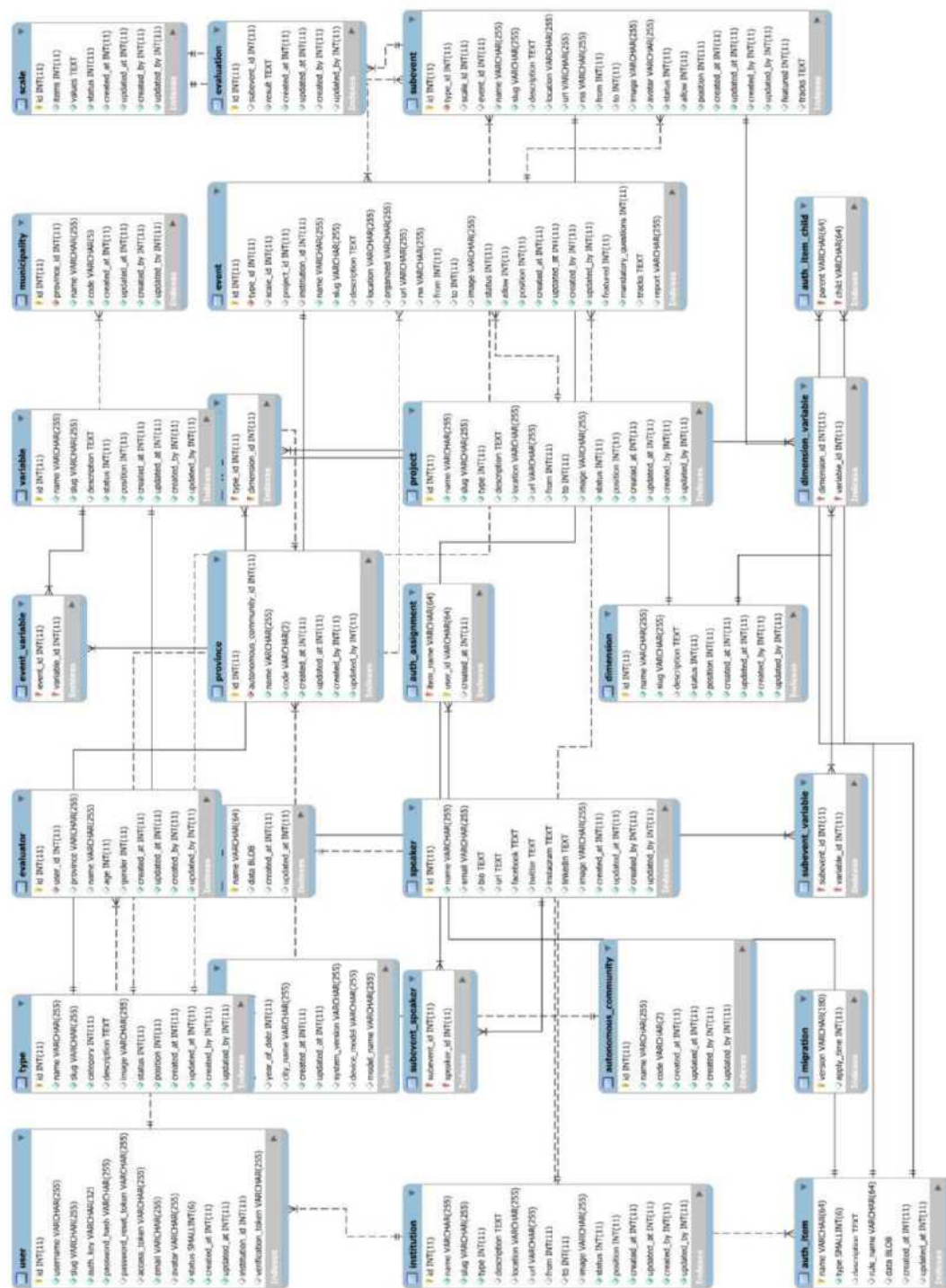


Figura A.1: Diagrama entidad-relación de DIME+ donde se observan las relaciones de los objetos en la base de datos

Bibliografía

- [1] Informe de evaluación de la noche europea de l@s investigador@s 2017, andalucía. <https://lanochedelosinvestigadores.fundaciondescubre.es/files/2018/05/WP3-Impact-Assessment-2017.pdf>. Consultado: 2021-04-12.
- [2] A consensus model for linguistic group decision making considering emotion analysis. *Procedia Computer Science*, 221:1235–1241, 2023.
- [3] L. A. Zadeh. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning—i. *Information Sciences*, 8(3):199–249, 1975.
- [4] L. A. Zadeh. Fuzzy logic = computing with words. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 4(2):103–111, 1996.
- [5] D. Abad and A. Lafuente. *Informe del OBSERVATORIO de la CIENCIA CIUDADANA en España Cap. 4: Popularización, socialización y liberación de conocimiento, tres formas históricas de participación de los públicos en ciencia*. 01 2017.
- [6] J. Aczél and C. Alsina. On synthesis of judgements. *Socio-Economic Planning Sciences*, 20(6):333–339, 1986. Special Issue The Analytic Hierarchy Process.
- [7] Akram, Muhammad and Khan, Ayesha and Ahmad, Uzma. Extended MULTIMOORA method based on 2-tuple linguistic Pythagorean fuzzy sets for multi-attribute group decision-making. *Granular Computing*, 8(2):311 – 332, 2023.
- [8] I. E. Allen and C. A. Seaman. Likert scales and data analyses. *Quality progress*, 40(7):64–65, 2007.
- [9] S. Altuntas, T. Dereli, and M. Yilmaz. Evaluation of excavator technologies: Application of data fusion based multimooora methods. *Journal of Civil Engineering and Management*, 21(8):977–997, 2015.
- [10] M. Andersen and B. Wahlgren. Conference evaluation focusing on learning and transfer. *Journal of Multidisciplinary Evaluation*, 11(25):34–50, 2015. Consultado: 2021-04-07.
- [11] L. A. Zadeh. Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3):338–353, 1965.

- [12] A. Baležentis, T. Baležentis, and W. K. Brauers. Personnel selection based on computing with words and fuzzy multimooora. *Expert Systems with Applications*, 39(9):7961 – 7967, 2012.
- [13] T. Baležentis and A. Baležentis. A survey on development and applications of the multi-criteria decision making method multimooora. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 21(3-4):209–222, 2014.
- [14] Baležentis, Alvydas and Baležentis, Tomas and Brauers, Willem K.M. MULTIMOORA-FG: A multi-objective decision making method for linguistic reasoning with an application to personnel selection. *Informatica (Netherlands)*, 23(2):173 – 190, 2012.
- [15] A. Bonn, A. Richter, K. Vohland, L. Pettibone, M. Brandt, R. Feldmann, C. Göbel, C. Grefe, S. Hecker, L. Hennen, H. Hofer, S. Kiefer, S. Klotz, T. Kluttig, J. Krause, K. Küsel, C. Liedtke, A. Mahla, V. A. Neumeier, and D. Ziegler. Green paper citizen science strategy 2020 for germany, 01 2016.
- [16] R. Bonney, H. Ballard, R. Jordan, E. McCallie, T. Phillips, J. Shirk, and C. C. Wilderman. Public participation in scientific research: Defining the field and assessing its potential for informal science education. a caise inquiry group report. *Online Submission*, 2009.
- [17] R. Bonney, C. Cooper, J. Dickinson, S. Kelling, T. Phillips, K. Rosenberg, and J. Shirk. Citizen science: A developing tool for expanding science knowledge and scientific literacy. *BioScience*, 59:977–984, 12 2009.
- [18] Bourque, Pierre and Fairley, Richard E., editor. *Guide to the Software Engineering Body of Knowledge (SWEBOK Guide): Version 3.0*. IEEE Computer Society, 2014.
- [19] W. Brauers and R. Ginevičius. Robustness in regional development studies. the case of lithuania. *Journal of Business Economics and Management*, 10(2):121–140, 2009.
- [20] W. Brauers and E. Zavadskas. The moora method and its application to privatization in a transition economy. *Control and Cybernetics*, 35(2):445–469, 2006.
- [21] W. Brauers and E. Zavadskas. Multimooora optimization used to decide on a bank loan to buy property. *Technological and Economic Development of Economy*, 17(1):174–188, 2011.
- [22] W. Brauers and E. Zavadskas. Robustness of multimooora: A method for multi-objective optimization. *Informatica*, 23(1):1–25, 2012.
- [23] W. K. Brauers and E. K. Zavadskas. Robustness of the multi-objective moora method with a test for the facilities sector. *Ukio Technologinis ir Ekonominis Vystymas*, 15(2):352–375, 2009.

- [24] W. K. M. Brauers. Multi-objective decision making by reference point theory for a wellbeing economy. *Operational Research*, 8(1):89–104, 2008.
- [25] W. K. M. Brauers and E. K. Zavadskas. Project management by multimooora as an instrument for transition economies. *Ukio Technologinis ir Ekonominis Vystymas*, 16(1):5–24, 2010.
- [26] K. Bultitude, D. McDonald, and S. Custead. The rise and rise of science festivals: An international review of organised events to celebrate science. *International Journal of Science Education, Part B*, 1(2):165–188, 2011.
- [27] G. Campanella and R. A. Ribeiro. A framework for dynamic multiple-criteria decision making. *Decision Support Systems*, 52(1):52–60, 2011.
- [28] F. Clark and D. L. Illman. Dimensions of civic science: Introductory essay. *Science Communication*, 23(1):5–27, 2001.
- [29] Conrad, Cathy C. and Hilchey, Krista G. A review of citizen science and community-based environmental monitoring: Issues and opportunities. *Environmental Monitoring and Assessment*, 176(1-4):273 – 291, 2011.
- [30] D. Consortium. Citizen science & open science: Synergies & future areas of work. 2018. <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10043574/>. Consultado: 2020-03-15.
- [31] O. Del Rio. *El proceso de investigación: Etapas y Planificación*. GEDISA, 01 2011.
- [32] M. Delgado, J. Verdegay, and M. Vila. On aggregation operations of linguistic labels. *International Journal of Intelligent Systems*, 8(3):351 – 370, 1993.
- [33] F. Departamento de Cultura Científica y de la Innovación. Libro verde ferias de la ciencia, 2018. Consultado: 2023-03-20.
- [34] R.-X. Ding, I. Palomares, X. Wang, G.-R. Yang, B. Liu, Y. Dong, E. Herrera-Viedma, and F. Herrera. Large-scale decision-making: Characterization, taxonomy, challenges and future directions from an artificial intelligence and applications perspective. *Information Fusion*, 59:84–102, 2020.
- [35] O. E. División de Programas de la Unión Europea, Ministerio de Economía y Competitividad. Guía del participante horizonte 2020, 2014.
- [36] C. H. Drew, K. G. Pettibone, L. R. O’Fallon, G. W. Collman, and L. S. Birnbaum. Measuring partnership activities: partnerships in environmental public health evaluation metrics manual, 2012.

- [37] M. Eitzel, J. Cappadonna, C. Santos-Lang, R. Duerr, A. Virapongse, S. West, and et al. Citizen science terminology matters: Exploring key terms. *Citizen Science: Theory and Practice*, 1:2, 2017.
- [38] F. Herrera, and L. Martínez. A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 8(6):746–752, 2000.
- [39] Federal Community of Practice for Crowdsourcing and Citizen Science. Basic steps for your project planning, by citizenscience.gov. <https://www.citizenscience.gov/toolkit/howto/>, 2020.
- [40] J. D. Frame. Quantitative indicators for evaluation of basic research programs/projects. *IEEE Transactions on Engineering Management*, EM-30(3):106–112, 1983.
- [41] Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología. Guía básica para la evaluación de proyectos de cultura científica de FECYT, 2018. www.fecyt.es/es/system/files/publications/attachments/2018/01/guia-basica-proyectos-cultura-cientifica-revisada.pdf. Consultado: 2020-09-30.
- [42] E. Garfield. The evolution of the science citation index. *International microbiology*, 10(1):65, 2007.
- [43] I. Gómez Caridad and M. Bordons. Limitaciones en el uso de los indicadores bibliométricos para la evaluación científica. *DIGITAL.CSIC*, 2009. <http://hdl.handle.net/10261/9813>.
- [44] M. Goodchild. Citizens as sensors: The world of volunteered geography. *GeoJournal*, 69(4):211–221, 2007.
- [45] X. Gou, H. Liao, Z. Xu, and F. Herrera. Double hierarchy hesitant fuzzy linguistic term set and multimora method: A case of study to evaluate the implementation status of haze controlling measures. *Information Fusion*, 38:22–34, 2017.
- [46] Gupta, Prashant K. Python software libraries for computing with words (CWW) methodologies. *Neurocomputing*, 559, 2023.
- [47] A. Hafezalkotob, A. Hafezalkotob, H. Liao, and F. Herrera. An overview of multimora for multi-criteria decision-making: Theory, developments, applications, and challenges. *Information Fusion*, 2018.
- [48] Hafezalkotob, Arian and Hafezalkotob, Ashkan and Liao, Huchang and Herrera, Francisco. An overview of MULTIMOORA for multi-criteria decision-making: Theory, developments, applications, and challenges. *Information Fusion*, 51:145–177, 2019.
- [49] M. Haklay. *Citizen Science and Volunteered Geographic Information: Overview and Typology of Participation*, pages 05–122. Springer Netherlands, 2013.

- [50] H. Hassani, R. Razavi-Far, M. Saif, F. Chiclana, O. Krejcar, and E. Herrera-Viedma. Classical dynamic consensus and opinion dynamics models: A survey of recent trends and methodologies. *Information Fusion*, 88:22–40, 2022.
- [51] S. Hecker and N. Wicke. *Roles of actors in citizen science in international policy documents*. 2019.
- [52] F. Herrera and E. Herrera-Viedma. Linguistic decision analysis: steps for solving decision problems under linguistic information. *Fuzzy Sets and Systems*, 115(1):67–82, 2000.
- [53] F. Herrera, E. Herrera-Viedma, and L. Martínez. A fusion approach for managing multi-granularity linguistic term sets in decision making. *Fuzzy Sets and Systems*, 114(1):43–58, 2000.
- [54] F. Herrera, E. Herrera-Viedma, and J. verdegay. A model of consensus in group decision making under linguistic assessments. *Fuzzy Sets and Systems*, 78(1):73–87, 1996.
- [55] F. Herrera and L. Martínez. An approach for combining linguistic and numerical information based on the 2-tuple fuzzy linguistic representation model in decision-making. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 8(5):539 – 562, 2000.
- [56] F. Herrera and L. Martínez. A model based on linguistic 2-tuples for dealing with multigranular hierarchical linguistic contexts in multi-expert decision-making. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 31(2):227–234, 2001.
- [57] E. Herrera-Viedma, I. Palomares, C.-C. Li, F. J. Cabrerizo, Y. Dong, F. Chiclana, and F. Herrera. Revisiting fuzzy and linguistic decision making: Scenarios and challenges for making wiser decisions in a better way. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 51(1):191–208, 2021.
- [58] A. T. Jebb, V. Ng, and L. Tay. A review of key likert scale development advances: 1995–2019. *Frontiers in psychology*, 12:637547, 2021.
- [59] E. Jensen and N. Buckley. Why people attend science festivals: Interests, motivations and self-reported benefits of public engagement with research. *Public Understanding of Science*, 23(5):557–573, 2014.
- [60] Johnson, Brian Alan and Mader, André Derek and Dasgupta, Rajarshi and Kumar, Pan-kaj. Citizen science and invasive alien species: An analysis of citizen science initiatives using information and communications technology (ICT) to collect invasive alien species observations. *Global Ecology and Conservation*, 21, 2020.

- [61] U. Jung and D. Seo. An anp approach for r&d project evaluation based on interdependencies between research objectives and evaluation criteria. *Decision Support Systems*, 49(3):335–342, 2010.
- [62] J. Kacprzyk. Group decision making with a fuzzy linguistic majority. *Fuzzy Sets and Systems*, 18(2):105–118, 1986.
- [63] J. Kacprzyk, M. Fedrizzi, and H. Nurmi. Group decision making and consensus under fuzzy preferences and fuzzy majority. *Fuzzy Sets and Systems*, 49(1):21–31, 1992.
- [64] B. Kieslinger, T. Holocher-Ertl, F. Heigl, D. Dörler, A. Richter, and A. Bonn. The challenge of evaluation: An open framework for evaluating citizen science activities, 2017.
- [65] Kizielewicz, Bartłomiej and Baczekiewicz, Aleksandra. Comparison of Fuzzy TOPSIS, Fuzzy VIKOR, Fuzzy WASPAS and Fuzzy MMOORA methods in the housing selection problem. volume 192, page 4578 – 4591. Elsevier B.V., 2021.
- [66] Á. Labella, Y. Liu, R. Rodríguez, and L. Martínez. Analyzing the performance of classical consensus models in large scale group decision making: A comparative study. *Applied Soft Computing*, 67:677 – 690, 2018.
- [67] H.-C. Liu, J.-X. You, C. Lu, and M.-M. Shan. Application of interval 2-tuple linguistic multimooora method for health-care waste treatment technology evaluation and selection. *Waste Management*, 34(11):2355 – 2364, 2014.
- [68] O.-S. Loizides and P. Koutsakis. On evaluating the quality of a computer science/computer engineering conference. *Journal of Informetrics*, 11(2):541 – 552, 2017.
- [69] J. López-Ruiz, L. Brigido, L. Izquierdo Pulido, and A. Marta. Evaluación de la noche europea de los investigadores e investigadoras 2019. https://www.madrimasd.org/uploads/informe_estudio_impacto_noche_europea_de_los_investigadores_madrid_2019.pdf. Consultado: 2021-04-12.
- [70] J. López-Ruiz, L. Brigido, L. Izquierdo Pulido, and A. Marta. Evaluación de la noche europea de los investigadores e investigadoras 2019. Available at https://www.madrimasd.org/uploads/informe_estudio_impacto_noche_europea_de_los_investigadores_madrid_2019.pdf. Consultado:2021-04-12.
- [71] T. Luukkonen-Gronow. Scientific research evaluation: a review of methods and various contexts of their application. *R&D Management*, 17(3):207–221, 1987.
- [72] E. M., L. J., and M. L. An extended hierarchical linguistic model for decision making problems. *Computational Intelligence*, 27(3):489–512, 2011.

- [73] P. Martensson, U. Fors, S.-B. Wallin, U. Zander, and G. H. Nilsson. Evaluating research: A multidisciplinary approach to assessing research practice and quality. *Research Policy*, 45(3):593–603, 2016.
- [74] Martínez, Luis and Rodriguez, Rosa M. and Herrera, Francisco. *The 2-tuple Linguistic Model: Computing with Words in Decision Making*. Springer International Publishing, 2015.
- [75] W. Martins, M. Goncalves, A. Laender, and G. Pappa. Learning to assess the quality of scientific conferences: A case study in computer science. pages 193–202, 2009.
- [76] G. Mazzitelli, S. Arnone, M. Bramato, I. Capra, G. Ciocca, A. Della Ceca, R. Giovanditti, C. Grasso, D. Maselli, G. Sanzone, and et al. 12 years of data, results and experiences in the european researchers’ night project. *INTED2018 Proceedings*, 2018.
- [77] S. L. Montolio, D. Dominguez-Sal, and J. L. Larriba-Pey. Research endogamy as an indicator of conference quality. *SIGMOD Rec.*, 42(2):11–16, 2013.
- [78] J. Morente-Molinera, I. Cabrerizo, S. Alonso, I. Pérez, and E. Herrera-Viedma. Managing changes in alternatives and criteria during a dynamic multi-criteria group decision making process. pages 1–6, 2020.
- [79] Nagpal, Abhinav and Gabrani, Goldie. Python for Data Analytics, Scientific and Technical Applications. In *2019 Amity International Conference on Artificial Intelligence (AICAI)*, pages 140–145, 2019.
- [80] J. Neves, J. Lavis, and M. Ranson. A scoping review about conference objectives and evaluative practices: how do we get more out of them? *Health research policy and systems / BioMed Central*, 10:26, 08 2012.
- [81] Paetsch, F. and Eberlein, A. and Maurer, F. *Requirements engineering and agile software development*, pages 308–313. 2003.
- [82] I. Palomares Carrascosa. *Group Decision Making and Consensual Processes*, pages 5–36. Springer International Publishing, 2018.
- [83] I. J. Perez, F. J. Cabrerizo, and E. Herrera-Viedma. A mobile decision support system for dynamic group decision-making problems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, 40(6):1244–1256, 2010.
- [84] L. Pettibone, K. Vohland, A. Bonn, A. Richter, W. Bauhus, B. Behrisch, R. Borcharding, M. Brandt, F. Bry, D. Dörler, I. Elbertse, F. Glöckler, C. Göbel, S. Hecker, F. Heigl, M. Herdick, S. Kiefer, T. Kluttig, E. Kühn, and D. Ziegler. *Citizen science for all. A guide for citizen science practitioners*. Bürger Schaffen Wissen (GEWISS) publication, 2016.

- [85] T. Phillips, M. Ferguson, M. Minarchek, N. Porticella, and R. Bonney. Evaluating learning outcomes from citizen science, 2014.
- [86] K. Poh, B. Ang, and F. Bai. A comparative analysis of r&d project evaluation methods. *R&D Management*, 31(1):63–75, 2001.
- [87] J. Roche, N. Davis, M. Chaikovsky, S. O’Boyle, and C. O’Farrelly. European researchers’ night as a learning environment. *The International Journal of Interdisciplinary Educational Studies*, 13:1–9, 2018.
- [88] R. Rodríguez, L. Martínez, and F. Herrera. Hesitant fuzzy linguistic term sets for decision making. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 20(1):109–119, 2012.
- [89] M. Roubens. Fuzzy sets and decision analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, 90(2):199–206, 1997. Fuzzy Sets: Where Do We Stand? Where Do We Go?
- [90] H. Roy, M. Pocock, C. Preston, D. Roy, J. Savage, J. Tweddle, and L. Robinson. Understanding citizen science and environmental monitoring: final report on behalf of uk environmental observation framework. Technical report, Centre for Ecology & Hydrology and Natural History Museum, 2012. <http://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/20679/>.
- [91] Schaefer, Teresa and others. *Evaluation in Citizen Science: The Art of Tracing a Moving Target*, pages 495–514. Springer International Publishing, 2021.
- [92] F. Serrano. Green paper on citizen science. citizen science for europe: Towards a better society of empowered citizens and enhanced research, 11 2013.
- [93] F. Serrano, D. Iñiguez, J. Clemente, A. Rivero, M. Ibáñez, G. Ruiz, F. Sanz, A. Ferrer, A. Taracón, M. Pelacho, L. Guardia, and P. Perla. Informe del observatorio de la ciencia ciudadana en españa. licencia abierta CC-BY-SA 4.01, 12 2017.
- [94] F. Serrano, F. Sanz, T. Schaefer, C. Silva, and B. Kieslinger. White paper on citizen science, 09 2014.
- [95] J. Shirk, H. Ballard, C. Wilderman, T. Phillips, A. Wiggins, R. Jordan, E. McCallie, M. Minarchek, B. Lewenstein, M. Krasny, and R. Bonney. Public participation in scientific research: A framework for deliberate design. *Ecology and Society*, 17:29–48, 06 2012.
- [96] A. Sidiropoulos and Y. Manolopoulos. A new perspective to automatically rank scientific conferences using digital libraries. *Information Processing & Management*, 41(2):289 – 312, 2005.
- [97] Tanczuk, Agnieszka and Tonczyk, Grzegorz. Collecting Data of Late Recordings of Dragonflies in Poland in the Period of 2013-2020, as an Example of the Citizen Science;

- [Zbieranie danych o późnych pojawach ważek w Polsce w latach 2013-2020 jako przykład nauki obywatelskiej]. *Studia Ecologiae et Bioethicae*, 21(1):89 – 101, 2023.
- [98] V. Torra. Hesitant fuzzy sets. *International Journal of Intelligent Systems*, 25(6):529–539, 2010.
- [99] J. Tweddle, L. Robinson, M. Pocock, and H. Roy. *Guide to citizen science: developing, implementing and evaluating citizen science to study biodiversity and the environment in the UK*. NERC/Centre for Ecology & Hydrology, 01 2012.
- [100] C. Wei, N. Zhao, and X. Tang. Operators and comparisons of hesitant fuzzy linguistic term sets. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 22(3):575–585, 2014.
- [101] A. Wiggins and K. Crowston. *From Conservation to Crowdsourcing: A Typology of Citizen Science*, pages 1–10. Jan 2011.
- [102] X. Wu, H. Liao, Z. Xu, A. Hafezalkotob, and F. Herrera. Probabilistic linguistic multimora: A multicriteria decision making method based on the probabilistic linguistic expectation function and the improved borda rule. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 26(6):3688–3702, 2018.
- [103] R. R. Yager. On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decisionmaking. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 18(1):183–190, 1988.
- [104] R. R. Yager. An approach to ordinal decision making. *International Journal of Approximate Reasoning*, 12(3):237–261, 1995.
- [105] Yao, Xuan and Xu, Zeshui. A survey of consensus in group decision making under the CWW environment. *Applied Soft Computing*, 144, 2023.
- [106] Yucheng Dong and Yating Liu and Haiming Liang and Francisco Chiclana and Enrique Herrera-Viedma. Strategic weight manipulation in multiple attribute decision making. *Omega*, 75:154–164, 2018.
- [107] E. Zavadskas, J. Antucheviciene, S. Razavi Hajiagha, and S. Hashemi. The interval-valued intuitionistic fuzzy multimora method for group decision making in engineering. *Mathematical Problems in Engineering*, 2015, 2015.
- [108] H. Zhang. The multiattribute group decision making method based on aggregation operators with interval-valued 2-tuple linguistic information. *Mathematical and Computer Modelling*, 56(1):27–35, 2012.
- [109] Z. Zhuang, E. Elmacioglu, D. Lee, and C. Giles. Measuring conference quality by mining program committee characteristics. pages 225–234, 2007.

- [110] Zlaugotne, Beate and Zihare, Lauma and Balode, Lauma and Kalnbalkite, Antra and Khabdullin, Aset and Blumberga, Dagnija. Multi-Criteria Decision Analysis Methods Comparison. *Environmental and Climate Technologies*, 24(1):454 – 471, 2020.
- [111] C. Zuheros, E. Martínez-Cámara, E. Herrera-Viedma, and F. Herrera. Crowd decision making: Sparse representation guided by sentiment analysis for leveraging the wisdom of the crowd. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 53(1):369–379, 2023.



UNIVERSIDAD
DE GRANADA

