



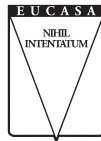
CUADERNOS DE INGENIERÍA

PUBLICACIONES ACADÉMICAS

13

Nueva serie

Número XIII / diciembre, 2021



EDICIONES
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SALTA
EUCASA

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SALTA
(UCASAL)**

CUADERNOS DE INGENIERÍA
N.º 13 | 2021

CONSEJO EDITORIAL

DIRECTORA:

Dra. Ing. Lía Orosco | Jefa del Departamento de Investigación, UCASAL

MIEMBROS:

Ing. Néstor Eugenio Lesser | Decano de la Facultad de Ingeniería, UCASAL, Argentina

Ing. Joan Carles Olmedillas Hernández | Consultor, España

Dr. Ing. Jorge Eugenio Crempien Laborie | Universidad de Piura, Perú

Dr. Ing. Horacio Colina | École Nationale des Ponts et Chaussées, Francia

Dr. José Germán Viramonte | CONICET, Argentina

Dr. en Ciencias Luis Antonio Olsina Santos | UNLP, Argentina

ADMINISTRADOR PORTAL CI

Ing. Matías N. Amor | Departamento de Investigación/Extensión, UCASAL

COMITÉ CIENTÍFICO

Dr. Ing. Mario Roberto Arrieta Paternina | Universidad Nacional Autónoma de México

Mg. Lic. Edith Cámpora | Universidad Nacional de Rosario, Argentina

Ing. Ana Haydeé di Ioro | Universidad FASTA, Mar del Plata, Argentina

Dr. Ing. Adolfo Escobar Ordóñez | Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín, Colombia

Dr. Ing. José González | Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina

Dr. Ing. Hugo Gregorio | Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina

Dr. Andrzej Kijko | Universidad de Pretoria, Sudáfrica

Esp. Lic. Julio César Liporace | Universidad de la Defensa Nacional, Buenos Aires, Argentina

Mg. Ing. Mario Raitelli | Universidad Nacional de Tucumán, Argentina

Dr. Ing. Hernán Santa María Oyadenel | Pontificia Universidad Católica de Chile

Dra. Silvana Karina Valdez | Universidad Nacional de Salta, Argentina

Msc. Petrus Johannes Vermeulen | Universidad de Pretoria, Sudáfrica

Dr. Ing. Vladimir J. Alarcón-Calderón | Universidad Diego Portales, Chile

Dr. Ing. Raúl Bertero | Universidad Nacional de Buenos Aires, Argentina

Dr. Ing. Oscar Möller | Universidad Nacional de Rosario, Argentina

Dr. Ing. Carlos Gastón Catalini | Universidad Nacional de Córdoba, Argentina

Dra. Ing. Mercedes Ruiz Carreira | Universidad de Cádiz, España.

Dr. Ing. Diego Alberto Godoy | Universidad Gastón Dachary, Argentina

Ing. Luis Perna | Universidad Tecnológica Nacional, Regional Delta, Argentina

Dr. Ing. Gonzalo Ruano / Universidad Nacional de Salta, Argentina

e-ISSN 2545-7012

ISSN 2545-692X (hasta el núm. 10 - 2018, la revista se publicó en soporte papel)

Domicilio editorial: Campus Universitario
Castañares - 4400 Salta - Argentina

Tel.: (54-387) 426 8607

e-mail: cuadernosdeingenieria@ucasal.edu.ar

web: <http://revistas.ucasal.edu.ar/index.php/CI>

www.ucasal.edu.ar/eucasa

Imagen de tapa:
Boceto. Leonardo da Vinci (1452-1519)

CUADERNOS DE INGENIERÍA

Nueva serie

Publicaciones Académicas

13 | 2021



EDICIONES
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SALTA
SALTA - ARGENTINA

Cuadernos de Ingeniería es una publicación científica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Salta publicada bajo el sello EUCASA (Ediciones Universidad Católica de Salta). Es una revista de periodicidad anual, que contiene artículos científicos (productos de investigaciones científicas y desarrollos tecnológicos – I+D), de revisión, ensayos y reseñas de libros, todos de carácter original, sobre temas relacionados con el campo disciplinar de la ingeniería en todas sus ramas. Es una revista de acceso abierto publicada bajo licencia Creative Commons Atribución–NoComercial–CompartirIgual. Los autores retienen, sin embargo, el derecho a ser adecuadamente citados. Todos los artículos recibidos son objeto de evaluación. La responsabilidad sobre el respeto a la propiedad intelectual corresponde a los autores. Los *Cuadernos de Ingeniería* han sido incorporados al Catálogo Latindex (Sistema Regional de Información para las Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal), versión 2.0 - Folio 22986.

Cuadernos de Ingeniería is a scientific journal published by Universidad Católica de Salta, Argentina. It has been printed by EUCASA (Ediciones Universidad Católica de Salta – Universidad Católica de Salta Editions). This annual publication contains scientific and technological development articles, review papers, essays and book reviews on topics related to the wide field of engineering sciences. Cuadernos de Ingeniería is Open Access published under Creative Commons licence Attribution-NonCommercial-Share Alike. All papers received are submitted to peer evaluation before their publication. Authors are responsible for compliance with copyright laws. Cuadernos de Ingeniería has been incorporated to the LATINDEX Catalog (Regional Information System for Scientific Publications from Latin America, the Caribbean, Spain and Portugal), version 2.0 - Folio 22986.

SUMARIO

Editorial	
Federico Colombo Speroni	5
Creación de corpus de palabras embebidas de tweets generados en Argentina <i>Creation of a corpus of embedded words from tweets generated in Argentina</i>	
María Lorena Talamé, Agustina Monge, Matías Nicolás Amor y Carolina Cardoso	7
Visual WebShawn: Herramienta visual para el análisis de simulaciones de redes de sensores inalámbricos en la web <i>Visual WebShawn: Visual tool for the analysis of wireless sensor networks simulations on the web</i>	
Diego Alberto Godoy, Santiago H. Bareiro y Fabián E. Favret	25
<i>Analysis of Gutenberg-Richter b-value and Mmax</i> <i>Part III: Non-positive Gutenberg-Richter b-value</i> Análisis del parámetro b y Mmax del Modelo de Gutenberg-Richter Parte III: valor no positivo del parámetro b de Gutenberg-Richter	
Mika Haarala Orosco	45
Modelo de sistema UWB-OFDM para la detección de cáncer de mama <i>UWB-OFDM system model for breast cancer detection</i>	
Juan Pablo Rivelli Malcó y David Zabala Blanco	85
Una apreciación sobre la llamada “edad de oro” de la ciencia y la tecnología en la Universidad Argentina <i>An appraisal of the so-called “golden age” of science and technology in Argentine universities</i>	
Roberto Daniel Breslin	117

EDITORIAL

La edición del número 13 de *Cuadernos de Ingeniería* da cuenta del proceso de consolidación de la actividad de investigación y desarrollo en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Salta. Producto de sus áreas principales de interés de investigación, ingeniería informática, ingeniería en telecomunicaciones, Ingeniería civil e Ingeniería industrial, surgen trabajos innovadores que aportan de manera significativa al desarrollo de estas áreas del conocimiento.

Al mismo tiempo, *Cuadernos de Ingeniería* se transforma en un espacio de encuentro de autores nacionales e internacionales que contribuyen a que el pensamiento científico trascienda las fronteras y las instituciones.

Los aportes realizados por los autores en sus artículos abordan temáticas de gran actualidad e interés: el análisis de expresiones en redes sociales, la aplicación de herramientas de visualización para el análisis de simulaciones de redes, el análisis del parámetro b y M_{max} del Modelo de Gutenberg-Richter y el desarrollo de un modelo de sistema UWB-OFDM para la detección de cáncer de mama.

A modo de ensayo, se incluye un excelente análisis histórico sobre el desarrollo científico y tecnológico en la universidad argentina durante los años 1955 y 1966, período que ha contribuido significativamente a la constitución y consolidación del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología.

Finalmente, en esta oportunidad quisiera brindar un reconocimiento especial a todas aquellas personas que hacen posible que *Cuadernos de Ingeniería* sostenga su producción a lo largo de los años. A los autores, a los miembros del comité editorial y, especialmente, al equipo editorial que sobre la base un trabajo mancomunado entre la Facultad de Ingeniería de la UCASAL y la editorial EUCASA hacen posible que *Cuadernos de Ingeniería* se consolide como un espacio que enriquece el conocimiento científico y su aporte a la sociedad.

Dr. Federico Colombo Speroni
Vicerrector de Investigación y Desarrollo UCASAL
Período 2016-2021

Creación de corpus de palabras embebidas de tweets generados en Argentina

Creation of a corpus of embedded words from tweets generated in Argentina

María Lorena Talamé¹, Agustina Monge², Matías Nicolás Amor¹,
Carolina Cardoso¹

Ingeniería en Informática/ artículo científico

Citar: Talamé, M. L.; Monge, A.; Amor, M.N. y Cardoso, A.C. (2021). Creación de corpus de palabras embebidas de *tweets* generados en Argentina. *Cuadernos de Ingeniería* (13). Recuperado de: <http://revistas.ucasal.edu.ar>

Recibido: octubre/2021

Aceptado: diciembre/2021

Resumen

El procesamiento de textos de cualquier índole es una tarea de gran interés en la comunidad científica. Una de las redes sociales donde las personas se expresan con frecuencia y libremente es Twitter y, por lo tanto, es una de las principales fuentes para obtener datos textuales. Para poder realizar cualquier tipo de análisis, como primer paso se debe representar los textos de manera adecuada para que, luego, puedan ser usados por un algoritmo. En este artículo se describe la creación de un corpus de representaciones de palabras obtenidas de Twitter, utilizando Word2Vec. Si bien los conjuntos de *tweets* utilizados no son masivos, se consideran suficientes para dar el primer paso en la creación de un corpus. Un aporte importante de este trabajo es el entrenamiento de un modelo que captura los modismos y expresiones coloquiales de Argentina, y que incluye emojis y *hashtags* dentro del espacio vectorial.

Palabras clave: emociones, Twitter, procesamiento de lenguaje natural, aprendizaje automático, diccionario léxico

Abstract

Text processing of any kind is a task of great interest in the scientific community. One of the social networks where people express themselves frequently and freely is Twitter, and therefore, it is one of the main sources for obtaining textual data. In order to perform any type of analysis, the first step is to represent texts in a suitable way so that they can afterwards be used by an algorithm. This paper describes the creation of a corpus of word representations obtained from Twitter

¹ Universidad Católica de Salta, Argentina.

² Consultora independiente.

applying Word2Vec. Although the sets of tweets used are not massive, they are considered sufficient to take the first step in the creation of a corpus. An important contribution of this work is the training of a model that captures the idioms and colloquial

expressions of Argentina, and includes emojis and hashtags within the vector space.

Keywords: emotions, Twitter, natural language processing, automatic learning, lexical dictionary

1. Introducción

El procesamiento de documentos textuales sigue siendo un desafío por la infinidad de posibilidades de análisis y técnicas a aplicar. En particular, el análisis de opiniones en textos, como mensajes en redes sociales, resulta de gran interés para diversos fines. Las técnicas típicas de representación de textos utilizan *bags of words* (BOW) o *one hot encoding* (OHE). Otra forma para representar palabras de manera vectorial son las palabras incrustadas; en inglés, *word embeddings*. Con esta representación se asocia cada palabra del vocabulario con un vector de valores numéricos en un espacio de N dimensiones. Cada vector guarda información semántica con la cual puede ser asociado.

En las tareas de procesamiento de lenguaje natural —como traducción, clasificación y generación de textos, entre otras—, las técnicas de *word embeddings* han demostrado ser muy útiles. Si bien existen corpus de *words embeddings* en varios idiomas, en español las opciones no son tan variadas o no están disponibles para su uso. Uno de los corpus más conocidos en idioma español es Spanish Billion Word Corpus and Embedding (SBWCE), construido con documentos extraídos de diversas colecciones (Cardellino, 2019).

Las redes sociales son fuentes de inmensa cantidad de documentos para analizar: textos, imágenes, videos, etc. En particular, en la red social Twitter diariamente se generan millones de *tweets* en todo el mundo. En esta red social, el vocabulario y las formas de expresión utilizadas suelen ser coloquiales, sin formalismos, con inclusión de emojis que buscan reemplazar las palabras o acentuar el mensaje. Estas características hacen presumir que los corpus de *word embeddings* pre-entrenados, disponibles públicamente, quizá no se ajusten a los estudios que pudieran hacerse con textos extraídos de redes sociales. Ninguno de estos corpus incluye emojis como parte del texto; sin embargo, la relevancia de estos fue mencionada en Amor et al. (2020). Por otro lado, es significativo que los modismos y los dialectos de diferentes regiones estén presentes en el vocabulario de las representaciones vectoriales.

En este trabajo se presentan los experimentos realizados en la construcción de un corpus de *word embeddings* a partir de un conjunto de *tweets* en idioma español, generados en nuestro país, Argentina, que será utilizado para posteriores trabajos del equipo de investigación. Para capturar la mayor cantidad posible de información de cada texto, los *hashtags* y emojis, frecuentemente utilizados en *tweets*, se transforman para ser tratados como un vocablo más. Si bien el corpus generado no tiene una gran magnitud de palabras, resulta una primera aproximación a la construcción final; ya que se continúa trabajando para incrementarlo.

2. Word embeddings

Existen diversas técnicas para la creación de vectores que representen palabras. De un modo general se dividen en dos tipos, dependiendo de la manera en que se inducen. Por un lado, los métodos de conteo que utilizan la información global, generalmente, estadísticas de los corpus tales como frecuencias de palabras, entre otros. Por otro lado, los métodos predictivos, que tienen en cuenta los datos locales como, por ejemplo, la consideración del contexto de las palabras. A su vez, dentro de este último grupo se pueden diferenciar: Word2Vec, FastText y GloVe.

2.1 Word2Vec

Word2Vec fue propuesto originalmente por Tomas Mikolov y su equipo en el año 2013 (Mikolov et al., 2013) para calcular representaciones de palabras continuas a partir de un conjunto de datos muy grande. Con el objetivo de disminuir el tiempo de entrenamiento de los vectores y de aumentar su precisión, propusieron dos modelos: Continuos Bag-of-Word (CBOW) y el modelo SkipGram.

CBOW

La arquitectura CBOW busca predecir la palabra actual con base en su contexto. Su modelo se ilustra en la Figura 1. Sea V el tamaño del vocabulario, N el tamaño de la capa oculta, los pesos entre la capa de entrada y la oculta se pueden representar en una matriz W de tamaño $V \times N$, donde cada fila de W es un vector v_i , N dimensional, asociado a la palabra de entrada. A la capa oculta ingresa la media de los vectores de las C palabras del contexto de entrada. El contexto de una palabra se refiere al número de palabras que aparecen a la izquierda y a la derecha de esa palabra. A este número se lo conoce como ventana. Haciendo uso de una función de activación no lineal y el producto entre la matriz W y el vector promedio genera una matriz de pesos diferente W' de tamaño $N \times V$. A continuación, se puede utilizar una función de activación *softmax* para obtener la distribución posterior de las palabras, que es una distribución multinomial (Rong, 2014).

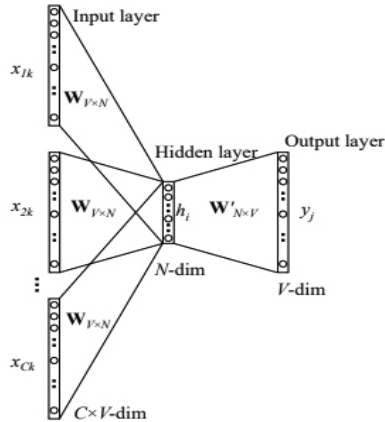


Figura 1. Modelo CBoW (Rong, 2014).

De manera iterativa se van actualizando los pesos hasta que se estabilizan, obteniendo así la representación vectorial de una palabra dado su contexto. Por ejemplo, si se quisiera obtener la representación de la palabra «excelente», con una ventana de contexto igual a 2, a partir de la frase: «buen día, excelente domingo para todos», CBoW recibiría como entrada solo los vectores de cuatro palabras [buen, día, domingo, para].

SkipGram

La explicación de SkipGram es similar a la de CBoW, pero de manera inversa. Mientras que CBoW entrena un modelo que pretende predecir la palabra central basándose en su contexto, en SkipGram esa palabra central se utiliza para predecir cada una de las palabras que aparecen en el contexto (Almeida y Xexéo, 2019). El modelo de SkipGram se puede apreciar en la Figura 2.

Continuando con el ejemplo anterior, SkipGram recibiría como entrada solo la palabra «excelente» con el fin de predecir su contexto: [buen, día, domingo, para].

2.2 FastText

Uno de los problemas que tienen los vectores de palabras se da en aquellos vocablos que se utilizan raramente. FastText intenta solucionar esto utilizando subpalabras o ngramas de una palabra. De esta manera, estas palabras «raras» quedan mejor representadas. Básicamente, se puede pensar como una extensión de Word2Vec considerando estos n-gramas o subunidades de caracte-

ter. Cada una de estas subunidades tiene asociada un vector que la representa y la palabra surge del promedio de estos vectores (Wang et al., 2019).

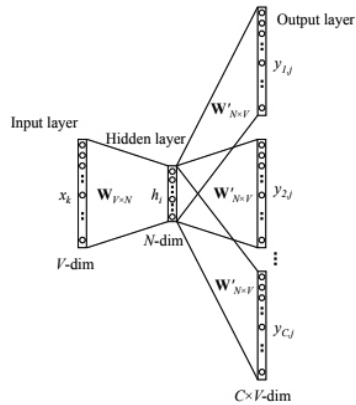


Figura 2. Modelo de SkipGram (Rong, 2014).

2.3 GloVe

GloVe recibe su nombre de Global Vectors. Se trata de un algoritmo no supervisado de aprendizaje de representaciones vectoriales de palabras, que tiene en cuenta la matriz de coocurrencia de palabras en un corpus (Pennington et al., 2014). Es decir, que las estadísticas globales del corpus son representadas en el vector, a diferencia de Word2Vec que utiliza las estadísticas del entorno.

3. Antecedentes

Los *word embeddings* son representaciones de palabras en un espacio vectorial N dimensional muy utilizado en el procesamiento de lenguaje natural. Entre las principales aplicaciones se encuentran el reconocimiento de entidades nombradas (Sienčnik, 2015); la traducción de idiomas, por ejemplo, de hindi a inglés en Bhattacharya et al. (2016) y en cuatro idiomas (inglés, alemán, francés y español) en Jansen (2017), y en el análisis de sentimientos. Un ejemplo de clasificación de *tweets* según un sentimiento (positivo, negativo y neutro) en idioma inglés se encuentra en Deho et al. (2018). En el trabajo de López-Solaz et al. (2016) se exploró la similitud semántica en textos en español con *word embeddings* entrenados con textos de Wikipedia.

Es frecuente el uso de emojis en comentarios de redes sociales. La necesidad de aprovechar esta información para el procesamiento de textos ha sido reconocida por diversos autores, entre

ellos Eisner et al. (2016), quienes utilizan el enfoque tradicional SkipGram para aprender *word embeddings* de la descripción Unicode de los emojis. Chen et al. (2018) consideran el contexto del emoji, y utilizan *tweets* clasificados como positivos o negativos para enfatizar el sentido del texto y, a la vez, crear *word embeddings*. La traducción textual de emojis se plantea como una alternativa en Reelfs, et al. (2020) que presentan un *embedding* de emojis utilizados en una red social y lo combinan con vocablos en inglés, y en Raza et al. (2021) se entrena un *embedding* según su traducción textual asociando la emoción a la que refiere.

Existen varias alternativas preentrenadas de *word embeddings* en inglés. Sin embargo, para español no son tantas. Angulo Arce (2019) construyó cuatro variantes de *word embedding* con distintos tamaños de ventanas y con textos obtenidos de Twitter y Facebook de usuarios de Costa Rica, para el posterior análisis de sentimientos de comentarios de ese país. Cardellino (2019) entrenó el corpus SBWCE con Word2Vec partiendo de variadas fuentes y recursos publicados en la *Web* en español internacional: documentos de Wikipedia, colecciones de libros, y comentarios de portales de noticias, entre otros. Si bien contiene más de un millón palabras, representadas como vectores, algunos vocablos no son válidos, tales como ‘AAñaaèssaeaaé’, ‘AAVDIGITO’, ‘AASHO’. A su vez, al tratarse de textos formales y, *a priori*, bien escritos, este corpus no captura los regionalismos ni las palabras coloquiales ni la semántica expresada a través del uso de emojis, razón por la cual se consideró conveniente obtener un espacio vectorial a partir de *tweets* argentinos.

4. Trabajo realizado

Esta sección se centra en el armado del *dataset* y en la creación y selección de *word embeddings* con la finalidad de comprender y encontrar la mejor combinación de parámetros para la creación de estas representaciones.

4.1 Fuentes de datos

Para la confección del corpus de *word embeddings* se recopilaron mensajes de la red social Twitter de diferentes fuentes, totalizando 153 341 tweets. Luego se los procesó para eliminar ciertas características no deseadas y se generaron los vectores a partir de Word2Vec.

Se utilizaron cuatro fuentes de datos con la finalidad de tratar de abarcar la mayor variedad de temas y no sesgar el vocabulario. Las fuentes utilizadas fueron: una colección de *tweets* recopilada por el equipo y tres colecciones públicas de mensajes disponibles en la *Web*:

1. Entre los años 2018 y 2020 se capturaron 87.522 *tweets* generados en Argentina mediante la API¹ de Twitter. En las consultas para la captura de *tweets* se utilizaron palabras relacionadas a los principales *trending topics* de cada momento. Entre esos años, algunos de los temas que generaron innumerables *tweets* fueron: Copa Libertadores, aprobación de la interrupción voluntaria de embarazo, aparición del submarino ARA San Juan, entre otros.
2. Narrativas Digitales COVID19 (Allés Torrent et al, 2020) es un proyecto que tiene, entre otros objetivos, explorar las narrativas detrás de los datos sobre la pandemia de coronavirus. Para ello se recopila diariamente, desde mayo de 2020, una serie de *tweets* y se los organiza por día y por país. Del repositorio GitHub se seleccionaron 15 archivos de textos que contienen 15.682 identificadores de *tweets* generados en la Argentina entre mayo y diciembre de 2020.
3. Del portal Datos Abiertos de Colombia (Datos Abiertos Colombia, 2020) se extrajo un archivo csv con 50.000 *tweets* que contenían frases o palabras consideradas regionalismos argentinos. El archivo fue descargado del portal en el año 2018, y actualmente no está disponible. Se desconocen las fechas de recopilación.
4. El sitio Kaggle² reúne a una comunidad de científicos de datos, provee conjuntos de datos y la posibilidad de trabajar colaborativamente con profesionales en aprendizaje automático. De las colecciones de *tweets* disponibles en el sitio, se encontró solo un conjunto generado en nuestro país con 137 comentarios emitidos durante el año 2020 sobre el programa de televisión BackeOff Argentina (Kaggle Datasets, 2020).

4.2 Preparación de datos

En general, los mensajes en las redes sociales no respetan estructuras ni reglas ortográficas. Además, se usan frases coloquiales del país de origen del emisor y a veces se acentúan las emociones expresadas por medio de emojis, repetición de letras, palabras en mayúsculas o signos de exclamación. Asimismo, muchos *tweets* utilizan los *hashtags* como parte de la oración y del mensaje que se desea transmitir.

Cabe aclarar que entre las tareas típicas de preprocesamiento de textos y de reducción de dimensionalidad se encuentra la eliminación de *stopwords*. Sin embargo, para este trabajo se las consideró para armar el corpus de *embeddings*.

A modo de «limpieza» de los textos se realizaron las siguientes acciones:

- Se convirtieron los textos en minúsculas.
- Se eliminaron las menciones a usuarios: los nombres de usuarios comienzan con @ y para este análisis no se consideraron relevantes. Se utilizó una expresión regular para identificarlos.
- Se eliminaron las URL: por lo general, las URL se referencian a imágenes o noticias y no contribuyen al significado semántico del mensaje.

¹ <https://developer.twitter.com/>

² <https://www.kaggle.com/>

- Se eliminó solo el símbolo «#» de los *hashtags*: algunos usuarios utilizan los *hashtags* como parte de lo que desean transmitir. Por ejemplo: «#cuarentena #rosario #santafe #argentina #cast #foto #noche #miércoles en Cetro Real». En este ejemplo, la eliminación de todos los *hashtags* implica perder gran parte del contenido del texto. Por lo tanto, se decidió eliminar solo el símbolo «#», quedando, para este caso por ejemplo: «cuarentena rosario santafe argentina cast foto noche miércoles en Cetro Real».
- Se reemplazaron los emojis por su correspondiente traducción textual (en inglés): como los emojis frecuentemente reemplazan palabras del mensaje o enfatizan las emociones volcadas en el texto, se consideran relevantes. Por ejemplo, «Buen día mundos!! Hermoso 🌞 con ganas de estar ahí de nuevo! Pero 📺📺📺 y que al menos el jueves se porte bien 🎵🎵🎵». Con la librería emoji³ se obtuvo la correspondiente traducción textual de cada emoji, es decir, lo que se conoce como «Common Locale Data Repository Project (CLDR) short name», una descripción breve en inglés. Cabe destacar que los *word embeddings* existentes en lenguaje español no incluyen los emojis.
- Se reemplazaron las abreviaciones: al tratarse de textos informales, es común que se utilicen abreviaturas en los *tweets*. Por ejemplo, se reemplazó el «x» por la palabra «por» y «xq» por «porque», entre otras.
- □ Se reemplazaron repeticiones de letras: los usuarios de redes sociales usualmente suelen repetir letras para intensificar la emoción en un texto, por ejemplo, «Te quieroooo ❤️». En estos casos, las repeticiones de letras se acotaron a solo dos ocurrencias con la intención de reflejar este énfasis sobre la palabra «normal».

Luego de todos estos pasos, se obtuvieron 2.792.885 *tokens* en 251.175 oraciones. Un resumen de estos datos se puede ver en la Tabla 1.

Tabla 1. Datos

Tweets	153.341
Oraciones	251.175
Tokens	2.792.885
Emojis	72.248
Hashtags	100.549

³ <https://github.com/carpedm20/emoji/>

4.3 Modelado y generación del corpus

Debido a que se necesita captar la información relevante de una palabra dentro de un *tweet* y no dentro del conjunto de *tweets* capturados, Word2Vec resulta más conveniente que Glove. Por lo tanto, se utilizó Word2Vec implementado en la librería gensim4 para Python.

Se realizaron distintas pruebas para generar los *embeddings* modificando la dimensionalidad de los vectores y los tamaños de ventanas. Se probó con dimensionalidad 100 y 300. Se seleccionaron los tamaños de ventanas 1, 3 y 5 siguiendo lo especificado en Godin et al. (2015). Además, se agregó el tamaño 7 para observar el efecto de una ventana más grande.

Otros parámetros usados son el tamaño del *batch*, la frecuencia mínima y la cantidad de iteraciones. Los valores utilizados fueron 50, 5 y 5, respectivamente (Yang et al., 2017; Mikolov et al., 2013).

Mikolov et al. (2013) sugieren que se utilice muestreo negativo con un k (cantidad de palabras «ruidosas») en el rango de 520 para conjuntos de datos de entrenamiento pequeños, mientras que para conjuntos de datos grandes el k puede ser más pequeño, como 25. En este caso se utilizó un k igual a 10. Para el resto de los parámetros de la implementación de la librería gensim se dejaron los valores por defecto.

Se experimentó con cada configuración de parámetros, tanto con SkipGram como con CBOW, totalizando 16 entrenamientos realizados. A pesar de la dimensionalidad y de los tamaños de ventanas diferentes de cada entrenamiento, la cantidad de vectores generados fue de 25.950.

4.4 Evaluación del corpus generado

Pennington et al. (2014) destacan dos maneras de evaluar las representaciones vectoriales: una es de manera intrínseca; la otra, de manera extrínseca. Los evaluadores intrínsecos comprueban la calidad de una representación independientemente de las tareas específicas de procesamiento del lenguaje natural, mientras que los evaluadores extrínsecos utilizan *word embeddings* como características de entrada para una tarea posterior y miden los cambios en las métricas de rendimiento específicas de esa tarea. En este trabajo se realizó una evaluación intrínseca del *word embeddings* obtenido a través del método de similitud semántica de las palabras. Este método se basa en la idea de que las distancias entre las palabras en un espacio vectorial podrían evaluarse a través del juicio humano sobre las distancias semánticas reales entre estas palabras. La persona recibe un conjunto de pares de palabras y se le pide que evalúe el grado de similitud de cada par. Las distancias entre estos pares también se recogen en un espacio de incrustación de palabras, y se comparan los dos conjuntos de distancias obtenidos. Cuanto más similares sean, mejor será el *embedding* (Baroni et al., 2014).

Se seleccionó la similitud de coseno, que es una medida de similitud de dos vectores no nulos de un espacio que encuentra el coseno del ángulo entre ellos. Esta medida toma valores entre -1 y 1. Desde un punto de vista geométrico, si dos vectores comparten la misma dirección y el ángulo

⁴ <https://radimrehurek.com/gensim/>

entre ellos es casi 0° , la similitud será cercana a 1. En cambio, para dos vectores ortogonales, el ángulo entre ellos es de 90° y, por lo tanto, el coseno es 0. Para aquellos vectores con dirección opuesta y que formen un ángulo mayor a 90° la similitud dará un número menor a 0 (Babcock et al., 2013).

Se decidió evaluar los *word embeddings* obtenidos con base en parejas de palabras propuestas por el equipo, teniendo en cuenta los temas presentes en los *tweets* capturados. Un par de palabras *a* y *b* puede elegirse en función del interés con la esperanza de que la relación entre ellas se conserve en el espacio vectorial. Esto contribuirá a una mejor representación vectorial de las palabras (Wang et al., 2019).

Se seleccionaron 8 parejas de palabras de acuerdo con las diferentes temáticas recopiladas y del conocimiento del dominio. Los pares de palabras que se proponen con el objeto de confirmar mayor similitud son:

- (1) BocaRiver
- (2) JuniorsPlate
- (3) CopaTrofeo
- (4) COVIDEnfermedad
- (5) Bake OffCocina

Algunas parejas con menor similitud son:

- (6) FútbolCocina
- (7) EnfermedadAlegría
- (8) MatarVivir

5. Resultados obtenidos

En la Tabla 2 se observan los resultados obtenidos en los experimentos al usar el método Skip-Gram, y en la Tabla 3 los resultados al aplicar CBOW.

Debido a que Boca Juniors y River Plate son dos equipos argentinos de fútbol, se esperaba que la pareja «JuniorsPlate» tuviera una similitud cercana a la obtenida por la pareja «BocaRiver»; sin embargo, ninguna configuración logró captar esta semántica.

Se esperaba que Copa y Trofeo estuvieran semánticamente cerca, ya que son términos sinónimos; sin embargo, ninguno de los conjuntos de *word embeddings* obtenidos capta esta similitud semántica. Tampoco en ningún conjunto de parámetros probados se los puede considerar como sinónimos, desde el punto de vista semántico. Lo mismo con «BakeOffCocina».

Tabla 2. Experimentos SkipGram

Parámetros Pruebas	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Vent = 1; Dim = 100;	0.5705	0.3652	0.3530	0.4601	0.2537	0.2153	0.1231	0.3126
Vent = 3; Dim = 100;	0.6253	0.4566	0.3257	0.4634	0.2920	0.2052	0.1862	0.3399
Vent = 5; Dim = 100;	0.6596	0.5313	0.3186	0.4892	0.3276	0.2292	0.2119	0.4288
Vent = 7; Dim = 100;	0.6932	0.5413	0.2914	0.5740	0.3588	0.2420	0.1714	0.3373
Vent = 1; Dim = 300;	0.3775	0.2506	0.2951	0.3238	0.2585	0.0987	0.1341	0.1566
Vent = 3; Dim = 300;	0.4622	0.4032	0.2324	0.3484	0.2343	0.1251	0.1024	0.1151
Vent = 5; Dim = 300;	0.4637	0.3468	0.1957	0.3914	0.2573	0.1335	0.0510	0.1416
Vent = 7; Dim = 300;	0.4852	0.3571	0.1712	0.3781	0.2359	0.1023	0.0451	0.1647

Se consideró que las tres parejas de términos «FutbolCocina», «EnfermedadAlegría» y «MatarVivir» poseen una similitud semántica baja. En los dos primeros casos porque los términos no se relacionan entre sí. En la última pareja, «Matar-Vivir» son términos semánticamente opuestos, por lo cual el grado de similitud debería ser bajo. Para estas tres parejas, todos los experimentos realizados arrojan valores menores a 0.50, por lo que coinciden con la clasificación de «similitud baja» determinada por el equipo de investigación.

Tabla 3. Experimentos CBOW

Parámetros Pruebas	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Vent = 1; Dim = 100;	0.5848	0.1617	0.0936	0.3744	0.0979	0.1174	0.2447	0.4313
Vent = 3; Dim = 100;	0.5704	0.2755	-0.0306	0.4189	0.1801	0.0312	0.0890	0.3846
Vent = 5; Dim = 100;	0.5160	0.2307	-0.0065	0.3787	0.0836	-0.0365	0.0677	0.4530
Vent = 7; Dim = 100;	0.5274	0.2915	0.0313	0.3752	0.1983	-0.0344	0.0205	0.4250
Vent = 1; Dim = 300;	0.3525	0.1490	0.0836	0.3501	0.1110	0.0342	0.1979	0.2536
Vent = 3; Dim = 300;	0.4065	0.1922	-0.0018	0.3322	0.1141	-0.0017	0.0982	0.2549
Vent = 5; Dim = 300;	0.4047	0.2035	0.0500	0.3218	0.1791	-0.0158	0.0634	0.2969
Vent = 7; Dim = 300;	0.4010	0.2116	0.0510	0.3017	0.1399	-0.0642	0.0678	0.2920

De los resultados alcanzados en este apartado se desprende que el mejor *word embeddings* obtenido corresponde a aquel entrenado utilizando SkipGram con ventana 7 y dimensión 100, ya que es el que mejor similitud refleja en las 5 primeras parejas.

5.1 Comparación con otro corpus

Se plantearon dos experimentos usando el conjunto de *word embeddings* SBWCE (Cardellino, 2019). El objetivo fue comprobar si la similitud semántica determinada por el equipo se mantenía en este corpus, para los mismos 8 pares de palabras anteriores. Los resultados que se obtuvieron, tanto para los vectores con el modelo SkipGram como para los del modelo CBOW, se muestran en la Tabla 4.

Como se puede observar, las pruebas con las parejas de palabras (4) y (5) obtuvieron una similitud igual a 0. Esto era de esperar, ya que son palabras que no forman parte del corpus SBWCE.

Las duplas «BocaRiver» (1) y «JuniorsPlate» (2) consiguieron una baja similitud; esto tiene sentido debido a que corpus fue entrenado con textos de diversas fuentes y no con aquellos del contexto del fútbol argentino. Por la misma razón, «CopaTrofeo» tampoco tienen una similitud semántica alta en este espacio vectorial. Las restantes parejas de términos coinciden con el criterio de baja similitud determinado previamente.

Tabla 4. Similitud semántica con SBWCE

Parámetros Pruebas	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
SBW-Skip-Gram	0.0630	0.0466	0.0183	0	0	0.0509	-0.1031	-0.0302
SBW-CBOW	-0.0150	0.0793	0.0231	0	0	-0.0007	-0.0462	0.1414

Estos resultados muestran que para los 8 pares de palabras seleccionados, la característica de similitud semántica resultó superior con el mejor corpus entrenado con datos propios (Tabla 2). Sin embargo, la calidad del corpus se determinará finalmente al recolectar e incluir un mayor volumen de *tweets* argentinos, y al evaluarlo de manera extrínseca cuando se lo utilice en tareas específicas tales como el análisis de sentimientos.

5.2 Emojis y *hashtags*

Como se explicó en la etapa de preparación de datos, los emojis fueron convertidos a su traducción textual, de tal manera que fueran tratados como un término más, entendible por los algoritmos de generación de *word embeddings*. Al eliminar el símbolo «#» de los *hashtags*, estos se convirtieron en palabras —o secuencias de palabras— que también fueron parte de los datos fuente. Se buscó determinar si la inclusión de estos nuevos términos en los *word embeddings* lograba captar la semántica de los textos.

Para verificar si el espacio vectorial incluye correctamente los emojis, desde un punto de vista semántico, se identificaron los cuatro emojis más frecuentes en los tweets: **:red_heart:(❤️)**, **:eyes:(👁️👁️)**, **:face_with_tears_of_joy:(😄)** y **:blue_heart:(💙)** y se obtuvieron los términos más similares (con valor por encima de 0.60) según el corpus construido. En el caso del emoji *red_heart*, solo se encontraron otros emojis con mayores valores de similitud mayores al umbral, los cuales, como se muestran en la Tabla 5, están relacionados con emociones o sentimientos positivos (amor, corazón, felicidad, etc.).

En el caso del emoji *eyes* (👁️👁️) los términos más cercanos son dos emojis que representan caras, y dos palabras que originalmente eran *hashtags* (Tabla 6). Este resultado da indicios y reafirma la hipótesis de que los emojis, junto con los *hashtags*, enfatizan el sentido de la oración y el mensaje que se desea transmitir.

Tabla 5. Términos semánticamente similares a :red_heart:(❤️)

💕	:two_hearts:	0.7608
💧	:sparkling_heart:	0.7595
💋	:kiss_mark:	0.7176
😊	:smiling_face_with_heart:	0.6857
♥	:heart_suit:	0.6837
👁️	:eyes:	0.6795
🖤	:black_heart:	0.6702
👧	:girl_light_skin_tone:	0.6680
🌀	:dizzy:	0.6585

Tabla 6. Términos semánticamente similares a :eyes:(👁️)

😊	:smiling_face_with_heart:	0.9919
😺	:smiling_cat_with_heart:	0.7961
	vamosmisiones	0.6884
	Nuestrahuellasiempre	0.6456

Para el emoji :face_with_tears_of_joy:(😂), los vectores más similares fueron tres correspondientes a otros emojis: :rolling_on_the_floor_laughing:(🤣, 0.7246), :grinning_face_with_sweat:(😓, 0.6222) y :face_with_hand_over_mouth:(🤦, 0.6041). Todos estos emojis denotan un estado de euforia, alegría o risas.

Respecto al emoji blue_heart(💙), como se observa en la Tabla 7, el emoji que más se asemeja es el corazón amarillo. *A priori* parecerían no tener mucha relación; sin embargo, al considerar los otros términos en la tabla, que originalmente fueron *hashtags*, se evidencia que la relación semántica está asociada al equipo de fútbol Boca Juniors, al que lo representan ambos colores.

El contenido de las Tablas 6 y 7 demuestra que en la creación del corpus de *word embeddings* se consideraron a las palabras, *hashtags* y emojis como términos, de tal manera que el conjunto final de vectores mantuviera el sentido que representan en cada texto.

Tabla 7. Términos semánticamente similares a :blue_heart: (💙)

🌀	:yellow_heart:	0.9477
	hayquecreer	0.7045
	jugamostodos	0.6877
	queremoslacopa	0.6832
	vamosboca	0.6827
	aguanteboca	0.6735
	elunicogrande	0.6614
	diadelhinchadeboca	0.6571
	estoesboca	0.6508
	axelaviña2019	0.6472

6. Conclusiones

El presente trabajo tuvo como objetivo principal obtener un conjunto de palabras representadas como vectores entrenados con comentarios de la red social Twitter y generados en Argentina. Si bien la cantidad de *tweets* analizada no es comparable con el volumen de datos que manejan otros *embeddings*, fue suficiente para aprender y determinar los mejores valores de los parámetros para el entrenamiento.

Este corpus, al tratarse de *tweets* en español y originarios de Argentina, de alguna manera representa y «refleja» el lenguaje coloquial e informal expresado en nuestro país en la red social.

Además, la principal contribución de este trabajo es la de incluir los emojis y el texto de los *hashtags* como términos dentro de los *embeddings*. Al verificar los vocablos similares a los emojis se detectó que muchos corresponden a otros emojis o a textos de *hashtags*. Esto se explica por el frecuente reemplazo de términos del idioma español por estos símbolos; por lo que se confirma la hipótesis de que los emojis (y los *hashtags*) reemplazan a las palabras enfatizando el mensaje que se desea transmitir. Es posible que esta sea la razón por la que entre los términos similares a los emojis analizados no se encuentren palabras del idioma español.

Como trabajo futuro se pretende reentrenar el modelo para incluir una mayor cantidad de *tweets*. De esta manera se obtendrá un conjunto mayor de *word embeddings* que permitirá la apli-

cación a otros contextos. Por otro lado, la utilización en una tarea concreta, como por ejemplo el análisis de sentimientos, permitirá una evaluación extrínseca y más minuciosa del corpus.

Referencias

- Allés Torrent, S.; del Rio Riande, G.; Hernandez, N.; Bonell, J.; Song, D.; y De León, R. (2020). Digital Narratives of COVID-19: a Twitter Dataset. *Journal of Open Humanities Data*, 7, 5. doi:10.5281/zenodo.3824950
- Almeida, F. y Xexéo, G. (2019). *Word Embeddings: A Survey*. ArXiv. Obtenido de abs/1901.09069
- Amor, M. N.; Monge, A.; Talamé, M. L. y Cardoso, A. C. (18 de agosto de 2020). Clasificación de sentimientos en opiniones de una red social basada en dimensiones emocionales. *Revista digital del Departamento de Ingeniería*, 5(1), 1-13.
- Angulo Arce, C. (2019). *Desarrollo de representaciones vectoriales de palabras para español de Costa Rica*.
- Babcock, M. J.; Ta, V. P. y Ickes, W. (2013). Latent Semantic Similarity and Language Style Matching in Initial Dyadic Interactions. *Journal of Language and Social Psychology*, 33, 78-88. doi:doi.org/10.1177/0261927X13499331
- Baroni, M.; Dinu, G. y Kruszewski, G. (2014). Don't count, predict! A systematic comparison of context-counting vs. context-predicting semantic vectors. *Proceedings of the 52nd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics* (pp. 238-247). Association for Computational Linguistics. doi:10.3115/v1/P14-1023
- Bhattacharya, P.; Goyal, P. y Sarkar, S. (2016). Using Word Embeddings for Query Translation for Hindi to English Cross Language Information Retrieval. *Computación y Sistemas*, 20(3), 435-447. doi:10.13053/CyS-20-3-2462
- Cardellino, C. (Agosto de 2019). *Spanish Billion Words Corpus and Embeddings*. Obtenido de <https://crscardellino.github.io/SBWCE/>
- Chen, Y.; Yuan, J.; You, Q. y Luo, J. (2018). Twitter Sentiment Analysis via Bi-sense Emoji Embedding and Attention-based LSTM. *Proceedings of the 26th ACM international conference on Multimedia*, (pp. 117-125). doi:https://doi.org/10.1145/3240508.3240533
- Datos Abiertos Colombia*. (2020). Obtenido de <https://www.datos.gov.co>
- Deho, O. B.; Agangiba, W. A.; Aryeh, F. L. y Ansah, J. A. (2018). Sentiment Analysis with Word Embedding. *7th International Conference on Adaptive Science & Technology (ICAST)*. doi:10.1109/ICASTECH.2018.8506717
- Eisner, B.; Rocktäschel, T.; Augenstein, I.; Bošnjak, M. y Riedel, S. (2016). emoji2vec: Learning Emoji Representations from their Description. *Proceedings of The Fourth International Workshop on Natural Language Processing for Social Media*. Austin, TX, USA. doi:10.18653/v1/W16-6208
- Godin, F.; Vandersmissen, B.; De Neve, W. y Van de Walle, R. (2015). Multimedia Lab @ ACL WNUT NER Shared Task: Named Entity Recognition for Twitter Microposts using Distributed Word Representations. *Proceedings of the Workshop on Noisy User-generated Text*, 146-153. doi:10.18653/v1/W15-4322

- Jansen, S. (2017). Word and Phrase Translation with word2vec. *ArXiv*. Obtenido de [abs/1705.03127](https://arxiv.org/abs/1705.03127)
- Kaggle Datasets. (2020). Obtenido de <https://www.kaggle.com/freireguido/tweets-de-bake-off-argentina>
- López-Solaz, T.; Troyano, J., Ortega, F. J. y Enríquez, F. (2016). Una aproximación al uso de word embeddings en una tarea de similitud de textos en español. *Procesamiento del Lenguaje Natural*(57), 67-74.
- Mikolov, T.; Chen, K.; Corrado, G. y Dean, J. (2013). *Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space*.
- Mikolov, T.; Sutskever, I.; Chen, K. y Corrado, G. (2013). *Distributed Representations of Words and Phrases and their Compositionality*.
- Pennington, J.; Socher, R. y Manning, C. (2014). GloVe: Global Vectors for Word Representation. *Proceedings of the 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP)*, (pp. 1532-1543). Doha, Qatar. doi:10.3115/v1/D14-1162
- Raza, H.; Jameel, S. y Barry, E. (2021). Emojional: Emoji Embeddings. *UK Workshop on Computational Intelligence (UKCI) 2021*. Aberystwyth, UK.
- Reelfs, J. H.; Hohlfeld, O.; Strohmaier, M. y Henckell, N. (2020). Word-Emoji Embeddings from large scale Messaging Data reflect real-world Semantic Associations of Expressive Icons. *Workshop Proceedings of the 14th International AAAI Conference on Web and Social Media*. doi:10.36190/2020.02
- Rong, X. (2014). *word2vec Parameter Learning Explained*. Obtenido de <https://arxiv.org/abs/1411.2738>
- Sienčnik, S. K. (2015). Adapting word2vec to Named Entity Recognition. *Proceedings of the 20th Nordic Conference of Computational Linguistics (NODALIDA 2015)* (págs. 239-243). Linköping University Electronic Press, Sweden.
- Wang, B.; Wang, A.; Chen, F.; Wang, Y. y Jay Kuo, C.C. (2019). Evaluating Word Embedding Models: Methods and Experimental Results. *APSIPA Transactions on Signal and Information Processing*. doi:10.1017/ATSIP.2019.12
- Yang, X.; MacDonald, C. y Ounis, I. (2017). Using word embeddings in Twitter election classification. *Information Retrieval Journal*, 21, 183-207.

María Lorena Talamé

Perfil académico y profesional: Máster universitario en Ingeniería Informática de la Universidad Abierta de Cataluña. Licenciada en Análisis de Sistemas, de la Universidad Nacional de Salta. Docente de la carrera de Ingeniería en Informática de la Universidad Católica de Salta. Imparte cursos de robótica y es coautora de artículos sobre la temática. Pertenece al grupo de investigación de análisis de datos del Instituto de Estudios Interdisciplinarios de Ingeniería (I.Es.I.Ing.) de UCASAL.

Correo electrónico: mltalame@ucasal.edu.ar

Identificador ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3224-0124>

Agustina Monge

Perfil académico y profesional: Ingeniera en Informática, Universidad Católica de Salta (UCASAL). Durante el tramo final de su carrera de grado formó parte del equipo de investigación de minería de opiniones. Realizó su tesis de grado sobre análisis de la realidad argentina mediante minería de opiniones en redes sociales. Se desempeña como desarrolladora en una empresa de *software*.

Correo electrónico: agum_96@hotmail.com.

Matías Nicolás Amor

Perfil académico y profesional: Ingeniero en Informática, Universidad Católica de Salta. Investigador y docente de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Salta. Participa en proyectos de investigación sobre informática forense y forma parte del equipo de investigación de minería de opiniones.

Correo electrónico: mnamor@ucasal.edu.ar

Identificador ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0561-1815>

Carolina Cardoso

Perfil académico y profesional: Magister en Informática, Universidad del Norte Santo Tomás de Aquino, Tucumán, y Licenciada en Ciencias de la Computación por la Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca. Docente e investigadora de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Salta (UCASAL). Participa en proyectos de investigación sobre minería de datos y minería de textos. Coautora de artículos sobre la misma temática. Integra el Grupo de investigación de Análisis de Datos del Instituto de Estudios Interdisciplinarios de Ingeniería (I.Es.I.Ing.) de UCASAL.

Correo electrónico: acardoso@ucasal.edu.ar

Identificador ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3218-1072>

Visual WebShawn: Herramienta visual para el análisis de simulaciones de redes de sensores inalámbricos en la web

Visual WebShawn: Visual tool for the analysis of wireless sensor networks simulations on the web

Diego Alberto Godoy, Santiago H. Bareiro, Fabián E. Favret¹

Ingeniería en Informática/ artículo científico

Citar: Godoy, D. A., Bareiro, S.H., y Favret, F.E. (2020). Visual WebShawn: Herramienta visual para el análisis de simulaciones de redes de sensores inalámbricos en la web. *Cuadernos de Ingeniería* (13). Recuperado de: <http://revistas.ucasal.edu.ar>

Recibido: mayo/2021

Aceptado: octubre/2021

Resumen

En este artículo se presentan los avances realizados con relación al diseño de una herramienta de visualización gráfica para el análisis de resultados de simulación de WSN denominada Visual WebShawn. Esta permite simular redes de sensores inalámbricos desde una interfaz *web*. Al utilizarla como motor de simulación, Shawn puede simular miles de sensores en un tiempo mínimo comparado con otros simuladores. Para su modelado e implementación se utilizó la metodología WebML, la herramienta WebRatio y contenedores Docker, respectivamente. Finalmente se presentan casos de prueba para verificar el funcionamiento de la herramienta.

Palabras clave: simulación, redes de sensores inalámbricos - WebML

Abstract

This article presents the progress made in the design of a graphical visualization tool for the analysis of WSN simulation results called Visual WebShawn. It allows simulating wireless sensor networks from a web interface. By using it as a simulation engine, Shawn can simulate thousands of sensors in minimal time compared to other simulators. For its modeling and implementation, the WebML methodology, the WebRatio tool and Docker containers were used, respectively. Finally, test cases are presented to verify the performance of the tool.

Keywords: simulation, wireless sensors networks - WebML

¹ Universidad Gastón Dachary, Argentina.

1. Introducción

En la actualidad existen diferentes *softwares* de simulación que brindan interfaces visuales con herramientas que permiten establecer parámetros y variables de entorno, como así también gestionar la configuración de escenarios y realizar combinaciones de todos estos elementos con el objeto de producir diferentes resultados. Entre ellos se pueden nombrar a NS-2 (Information Sciences Institute, 2017), TOSSIM (Group, 2018), AVRORA (University of California, s.f), TRM-Sim-WSN (Mármol y Pérez, 2009) y Shawn (Fischer et al., 2007). Pero estas aplicaciones suelen ser para una plataforma específica, no incluyen una interfaz basada en la Web o bien consumen un alto nivel de recursos para realizar el procesamiento por realizar una simulación más detallada de capas inferiores, tales como la física y la capa de enlace de datos, mientras que Shawn simplemente envía los mensajes a través de un modelo simplificado y más abstracto.

Respecto a este punto de vista, las aplicaciones *web* que emplean una arquitectura cliente-servidor cuentan con una gran ventaja, ya que aligeran la carga computacional de los equipos de los usuarios finales; principalmente, al realizar procesamiento de datos destinados a la generación de resultados gráficos en la simulación.

Otra característica importante de las aplicaciones *web* es la usabilidad que presentan. Esta permite simplificar, a través de las interfaces gráficas, tareas como la carga de datos de configuración en la simulación. Inicialmente el proyecto WebShawn (Godoy et al., 2014) presentó un cambio radical en la forma de utilizar el simulador Shawn para WSN, ya que los usuarios pueden interactuar directamente con el simulador a través de la *web*.

Sin embargo, en el prototipo que se realizó no existe una forma de ingresar todos los parámetros de configuración de visualizaciones que ofrece Shawn. Estos se deben escribir directamente sobre un archivo de configuración (disponible en la interfaz *web*). Al tratarse de múltiples opciones con distintas incidencias en las salidas gráficas, el usuario debe conocer el orden de ingreso y todos los posibles valores válidos que se aceptan por cada parámetro, lo que genera dificultades al usuario que trata de ingresar este tipo de datos.

Otro aspecto que no fue desarrollado en el prototipo inicial de WebShawn es la gestión de escenarios de simulación; es decir, permitir a los usuarios exportar o importar las configuraciones de estos. En este sentido, el simulador Shawn posee también distintos parámetros que se pueden utilizar para permitir, en este caso, una mejora de WebShawn aprovechando la característica disponible de gestión de escenarios.

Es por ello que en este trabajo se pretende extender las capacidades faltantes de WebShawn y mejorar las que se pueden realizar desde Shawn, aprovechando el proceso para integrar con otras librerías de generación de gráficos. Todo esto tendiente a mejorar, específicamente, tanto la interacción como la generación de gráficos de resultados que se puedan obtener desde el navegador. Se planteó como objetivo diseñar una herramienta de visualización gráfica que permita analizar los resultados de simulaciones de WSN en WebShawn.

1.1. Trabajos relacionados

En esta sección se presentan tres trabajos relacionados con el presente trabajo.

1.1.1. WebShawn, simulating wireless sensors networks from the web

Este trabajo presenta la adaptación del simulador Shawn por medio de una interfaz basada en *web* (Godoy et al., 2017) y su alojamiento en servidor con sistema operativo GNU/Linux, facilitando así su acceso y su utilización dado su gran potencial de simulación, y aislando a los usuarios finales de la complejidad de instalación y configuración que se requiere. Con dicha implementación, el simulador WebShawn se presenta como una alternativa viable para que cualquier tipo de usuario pueda crear y ejecutar simulaciones de WSN de una manera sencilla.

La salida que generan dichas simulaciones sigue siendo la salida estándar de consola del simulador Shawn, pero dispuesta sobre archivos de texto plano y, además, la salida de un archivo visual con la disposición e interconexiones entre los nodos de la red carece de mayor nivel de detalle. Tampoco es posible identificar de forma correcta los nodos del sistema, ya que no existen etiquetas diferenciadas para cada tipo de nodo, principalmente por la falta de un módulo de configuración de parámetros de visualización. Además, no es posible gestionar la configuración del escenario de simulación ni exportar o importar escenarios para reutilizarlos en diferentes proyectos de simulación.

1.1.2 A Web-based integrated environment for simulation and analysis with NS-2

En este trabajo se desarrolla un completo entorno basado en la *web* para la simulación y pos-proceso de las salidas generadas por Network Simulation version 2 (NS-2) un popular simulador de redes (Saha et al., 2013; Information Sciences Institute, 2017). La aplicación ns2web permite la ejecución remota de simulaciones de WSN, incluyendo redes cableadas. También ofrece un conjunto de herramientas para analizar los archivos de rastreo que el simulador genera como salida. Una implementación del simulador se encuentra *on line* para público acceso en su sitio *web* (Saha, s.f.).

Ns2web está compuesto por dos módulos, uno de ellos —ns2sim— se encarga de visualizar el *frontend* de la aplicación y la ejecución remota en el servidor de la simulación con NS-2. El otro módulo —ns2trace— gestiona todas las tareas relacionadas al análisis de los archivos de rastreo de la simulación.

La interacción por parte del usuario es directa con el navegador en todo momento, tanto para enviar los *scripts* de simulación como para la visualización de las salidas que genere la plataforma, así como también el guardado de los archivos de rastreo generados por ella.

El tipo de salidas que genera esta aplicación están orientadas a bajo nivel, ofrecen una gran cantidad de detalles, pero sin ningún tipo de ayuda en su visualización. Al igual que en el trabajo donde se desarrolló WebShawn, no existe algún componente que permita la gestión de los resultados de visualización que generen las simulaciones.

1.1.3. VisualSense: visual editor and simulator for wireless sensor network systems

Si bien VisualSense (VisualSense, 2020) no se constituye en una interfaz *web*, en sí es una interfaz gráfica de usuario creada para mejorar la funcionalidad del *framework* Ptolemy II (Ptolomeo II), el cual es un *framework* de simulación que provee interacciones con un diseño orientado a los actores/objetos de un escenario de simulación (Ptolemy II, 2020). Los actores son componentes de *software* que se ejecutan simultáneamente y que se comunican por medio de mensajes enviados a través de puertos interconectados. Un modelo es una interconexión jerárquica de actores. En Ptolemy II, la semántica de un modelo no está determinada por el marco, sino más bien por un componente de *software* en el modelo llamado director, que implementa un modelo de computación.

El modelado de WSN requiere un sofisticado modelado de canales de comunicación, canales de sensores, protocolos de redes *ad hoc*, estrategias de localización, protocolos de control de acceso de medios, consumo de energía en nodos de sensores, etc. Este *framework* de modelado está diseñado para soportar una construcción de tales modelos. Su objetivo es permitir a la comunidad de investigación compartir modelos de aspectos disjuntos del problema del modelado de las redes de sensores y construir modelos que incluyan elementos sofisticados de varios aspectos. Esto se considera como una gran ventaja, ya que no solamente se incluye la posibilidad de crear modelos personalizados en conjunto con la utilización de modelos preexistentes, sino que además se brinda la posibilidad de compartir dichos modelos, poder personalizarlos y configurar parámetros sobre los aspectos de visualización.

2. Metodología

A continuación, se hace una breve descripción del funcionamiento general del simulador basado en la Web, WebShawn, con el cual se pretende luego cumplir el objetivo de diseñar una herramienta de visualización gráfica para el análisis de resultados de simulación de WSN de forma gráfica.

Visual WebShawn: Herramienta visual para el análisis de simulaciones de redes de sensores inalámbricos en la web

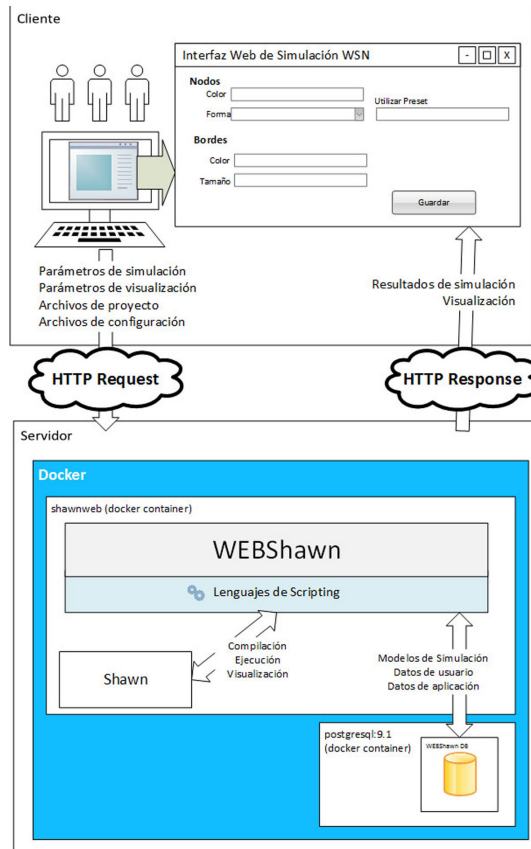


Figura 1. Esquema general del simulador basado en la Web.

En la Figura 1 se puede visualizar un esquema del funcionamiento general del simulador. A través de una interfaz de usuario brindada por el navegador *web* los usuarios podrán interactuar con el simulador e ingresar todas las entradas necesarias para realizar las corridas de simulación y configurar el aspecto de resultados visuales de esta por medio de sus correspondientes parámetros donde, además, contarán con una suite de *presets* personales que podrán reutilizar. También podrán utilizar las funcionalidades de importación y exportación de escenarios de simulación en sus proyectos. Las entradas son los parámetros de escenario de simulación y de visualización de resultados de simulación, archivos del proyecto y archivos de configuración. Como parámetros de entrada se mantiene la funcionalidad estándar de, por ejemplo, enviar la cantidad de nodos a simular, la semilla de la simulación, el modelo de comunicación, etc., y serán adicionadas las entradas de aspecto visual de nodos y bordes

de comunicaciones, además de la posibilidad de guardar y reutilizar *presets* de visualización, marcar escenarios para ser exportados y posteriormente reutilizados mediante importación en el mismo u otros proyectos de simulación, mientras que los archivos del proyecto y de configuración (los cuales son alojados dentro del servidor) darán el comportamiento específico a los nodos y al ambiente.

Como medio de comunicación entre el cliente y el servidor se podrá utilizar tanto una red local, o bien Internet. Además, en el mismo navegador, se podrá obtener, una vez finalizada la corrida de la simulación, los resultados obtenidos en forma de texto y visualizaciones generadas como salidas gráficas. Todas las dependencias de instalación y configuración del simulador Shawn están empaquetadas en una imagen de Docker (Docker Inc., 2020), la cual además contendrá el servidor *web* y las dependencias necesarias para que este pueda aceptar, interpretar y procesar todas las solicitudes del cliente. Asimismo, el servicio de bases de datos PostgreSQL utilizado por WebShawn será trasladado a otro contenedor Docker, mediante su correspondiente imagen, para aumentar la modularidad del entorno de simulación permitiendo una gestión sencilla de este facilitando, por ejemplo, tareas de respaldo y recuperación, como también posibilitando el escalado horizontal de recursos de servidor en caso de ser necesario; este mismo principio aplica para el contenedor que ejecute la imagen con las dependencias de WebShawn.

Para llevar a cabo el desarrollo del prototipo se seguirá la metodología WebML, la cual es una notación o lenguaje de alto nivel para el modelado, diseño e implementación de aplicaciones *web* que hacen uso intensivo de datos (Ceri et al., 2000).

La propuesta que realiza dicha metodología es combinar leguajes de modelado tradicionales o bien conocidos por los desarrolladores, como el diseño conceptual de datos, utilizando el modelo entidadrelación y la especificación de casos de uso con UML (*Unified Modeling Language*), incluyendo nuevos conceptos y métodos para el diseño de hipertexto, que son fundamentales para el desarrollo de aplicaciones *web* (Moreno et al., 2006).

El ciclo de vida del proyecto completo consiste en varias iteraciones, cada una produce un prototipo o una versión parcial de la aplicación. En cada iteración la versión actual de la aplicación se somete a un proceso de testeo y evaluación. Luego, si es necesario, se modifica o amplía para hacer frente a los requerimientos recolectados con anterioridad, así también como a los nuevos requisitos que puedan surgir (Brambilla et al., 2008). Este tipo de metodología con ciclos iterativos se adapta especialmente a los desarrollos *web*, dada la dinámica de cambios que pueden suceder durante el desarrollo y la rapidez con que se deben desplegar los sitios en Internet.

Además, es posible apoyarse en herramientas CASE (*Computer Aided Software Engineering*) para el modelado con WebML incluidas en WebRatio (WebRatio, 2020).

3. Construcción del simulador

3.1. Especificación de requerimientos

La fase de especificación de requerimientos se centra en la recopilación de información acerca del dominio de la aplicación y en la especificación de las funciones por medio de descripciones fáciles de entender. Esta fase se divide en la recolección de requerimientos y el análisis de requerimientos.

3.1.1. Identificación de grupos de usuarios

Inicialmente se determinó un único grupo de usuarios denominado «desarrollador de aplicaciones de simulación», dejándose abierta la posibilidad de añadir nuevos grupos que fueran necesarios.

3.1.2 Especificación de requerimientos funcionales

En esta sección se describirán a través de casos de uso los nuevos requerimientos funcionales del sistema, los cuales complementan a los requerimientos funcionales iniciales de este. En la especificación de casos de uso se detallan todas las acciones que el sistema realizará desde el punto de vista del usuario.

Tabla 1. Caso de uso: especificar parámetros de control para almacenarlos en archivo de configuración

Nombre	Especificar parámetros de control de simulación para almacenarlos en archivos de configuración.
Propósito	Que un usuario pueda especificar los parámetros de control de la simulación.
Precondición	El usuario debe tener una sesión activa en la aplicación.
Poscondición	La aplicación almacena temporalmente los parámetros de configuración y muestra la vista para configurar los parámetros de visualización.
Flujo de trabajo	<ol style="list-style-type: none">1. El usuario selecciona un archivo de configuración de una lista desplegable que contiene todos los archivos del proyecto.2. Ingresa los parámetros de control de simulación en el formulario de configuración de parámetros.3. El usuario presiona el botón siguiente.4. El sistema muestra la vista de configuración de parámetros de visualización.

3.1.3. Diccionario de datos

Como se puede visualizar en el diagrama de caso de uso de la sección anterior, los principales objetos de información que son gestionados por la aplicación WebShawn son: proyectos de simulación y usuarios. Un usuario puede tener múltiples proyectos, *presets* de visualización, y pertenecer a diferentes grupos. A su vez, un proyecto puede tener múltiples salidas de simulación y archivos de configuración asociados.

3.1.4. Especificación de vistas del sitio

A continuación, se describe un mapa y el contenido de la vista *home page* del sitio. La vista *home page* tiene las áreas listadas en la Tabla 2.

Tabla 2. Áreas de la vista home page

Nombre del área	Descripción	Objetos gestionados/ consultados
Control de simulación	Dentro del área de control de simulación el usuario podrá realizar las funciones descritas en los casos de uso: «Especificar parámetros de control para almacenarlos en archivo de configuración», «Importar escenario de visualización», «Guardar parámetros de configuración y visualización en archivos de configuración», «Obtener y mostrar parámetros de visualización de archivos de configuración», «Eliminar parámetros de visualización de archivos de configuración», «Guardar <i>presets</i> de visualización de usuario», «Utilizar <i>presets</i> de visualización de usuario», «Eliminar <i>presets</i> de visualización de usuario»,	ControlSimulacion Preset ProyectoConfig ProyectoMundo ProyectoPreset Snapshots

3.2. Diseño de datos

La entrada del diseño de datos son todos los requerimientos identificados durante la fase de análisis de requerimientos. Más específicamente, lo que se logra en la fase es la transformación del diccionario de datos en un diagrama de entidadrelación.

Esta fase implementa una de las disciplinas más tradicionales y consolidadas en la tecnología de la información, por lo cual WebML no propone otro lenguaje de modelado de datos, sino que utiliza el modelo de datos entidadrelación o el equivalente subconjunto de primitivas en UML para el diagrama de clases.

3.2.1. Diagrama de entidad-relación

En la Figura 2 se puede visualizar el diagrama de entidadrelación resultante de las especificaciones obtenidas del diccionario de datos. Está compuesto por ocho entidades y nueve relaciones. Las entidades son: Usuario, Proyecto, Grupo, Preset, Config, ProyectoWorld (que representa el mundo virtual o ambiente en el cual se alojan todos los objetos de simulación como son los nodos y los procesadores. Además, se especifican valores para tamaño del mundo, rango de comunicación, valor de semilla, número de iteraciones y modelos de borde, comunicación y trasmisión para los nodos), ProyectoPreset (representa la configuración de colores que va ser utilizada en la configuración del proyecto actual) y Snapshot (donde se guardan las distintas salidas de corridas para

un proyecto dada la configuración del mundo). La relación entre Usuario y Proyecto se denomina Desarrolla. La relación entre Usuario y Grupo se denomina Pertenece. La relación entre Usuario y Preset se denomina Establece. La relación entre Usuario y Snapshot se denomina Exporta. La relación entre Usuario y Config se denomina Establece. La relación entre Snapshot y Proyecto se denomina Pertenece. Las relaciones entre Proyecto y Config, Config y ProyectoWorld, Config y ProyectoPreset se denominan Contiene. Una forma de interpretar estas relaciones desde el punto de vista de la entidad Usuario es de la siguiente manera: Un Usuario Desarrolla Proyectos y un Usuario Pertenece a uno o más Grupos, la misma regla de interpretación es aplicable a las demás relaciones entre entidades.

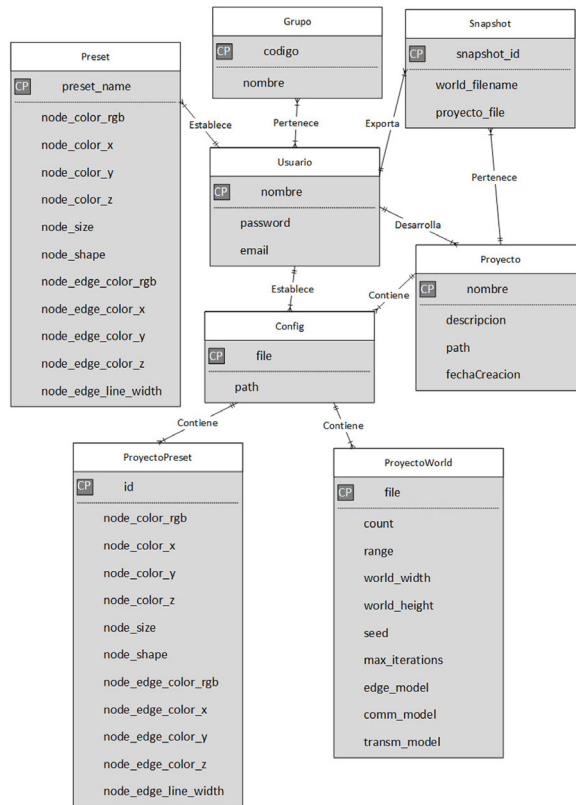


Figura 2. Diagrama de entidad-relación.

3.3 Diseño de hipertexto

El diseño de hipertexto especifica las visitas del sitio basado en el esquema de datos definido en el diseño de los datos con el objetivo de realizar la publicación de contenido y manipulación de servicios identificados durante el análisis de requerimientos.

Se inicia a partir de tres fuentes esenciales de entrada; el esquema conceptual de datos, que representa la estructura de los datos; los requisitos funcionales, que indican la funcionalidad a entregar por parte del sistema; y las vistas del sitio, que trazan la organización de los hipertextos que se ofrecen al usuario.

Luego estas entradas se convierten en una especificación WebML, que ofrece una visión de alto nivel de las interfaces de aplicación, independientemente de cualquier detalle de implementación, pero lo suficientemente precisos para ser utilizados como una guía u hoja de ruta en la fase de implementación.

3.3.1. Especificación WebML de páginas

Las especificaciones WebML del área de control de simulación (representado por la Figura 3) en la cual se muestra la página parámetros de control de simulación con acceso por defecto (*default*) dentro del área y la página de parámetros de visualización.

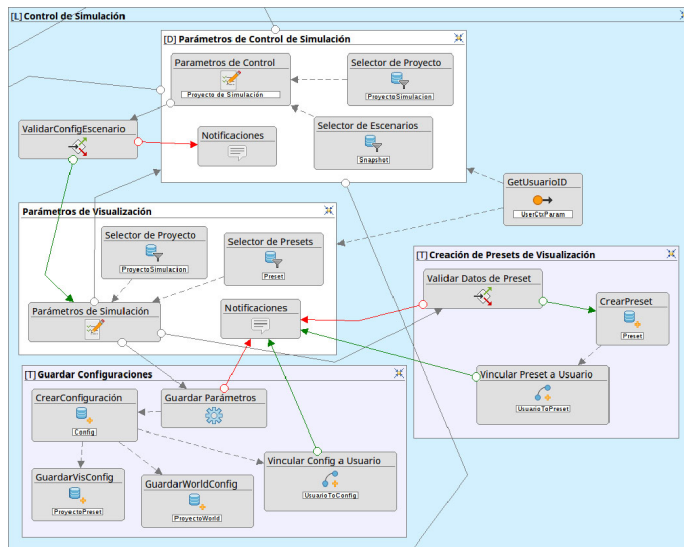


Figura 3. Especificación WebML de páginas del área control de simulación.

Como información global, se recupera el ID del usuario, que se representa en este caso por el componente *Get* GetUsuarioID. Luego de seleccionar un determinado proyecto, con el formulario que está representado por el componente *Form* Parámetros de Control se ingresan los diferentes parámetros que controlan la simulación y el escenario a generar o importar, la selección de un escenario a importar se realiza mediante un componente selector que obtiene todos los *Snapshots* generados por el Usuario para el proyecto indicado. Una vez ingresados los parámetros de control del escenario, estos se validan y si dicha validación falla se muestra un mensaje de notificación en el componente destinado a tal finalidad. Si la validación pasa con éxito se accede a la nueva página de parámetros de visualización, en donde el usuario podrá ingresar las configuraciones de visualización deseadas para el proyecto que haya indicado. Asimismo, podrá cargar dichos parámetros desde *presets* previamente almacenados, los cuales son indicados mediante el componente selector destinado a tal fin. Asimismo, el usuario podrá guardar las configuraciones de visualización en nuevos *presets*, para ello, el formulario de parámetros de visualización es validado previo a su envío, si esta validación falla se notifica al usuario mediante el componente de notificaciones. En cambio, si la validación se supera con éxito, se crea el *preset* y se lo vincula al usuario.

Una vez ingresados los parámetros en el formulario de parámetros de control y de parámetros de visualización, estos se guardan en el archivo de configuración correspondiente. Esto último queda representado por el componente *Operation* Guardar Parámetros. Si al guardar los parámetros de configuración en el archivo surge algún error se le notificará al usuario o, de lo contrario, si se guardan correctamente, se procede a almacenar la configuración del proyecto, de escenario y las configuraciones de visualización y finalmente se vincula dicha configuración al Usuario y se informa en la página de parámetros de control mediante el componente *Message* Notificaciones.

3.4. Implementación

Para realizar la implementación del prototipo se siguió la metodología WebML. Luego de finalizar esta sección, el prototipo estará listo para desplegarse en las diferentes tecnologías que aquí se van a especificar. En la implementación de datos se decidió continuar con el motor base de datos relacional PostgreSQL y el ORM RedBeanPHP, el cual fue actualizado a su última versión publicada. En la implementación de hipertexto se utilizaron los lenguajes HTML5, CSS3, JavaScript, la librería JQuery, el *framework* Bootstrap 4 y PHP en su versión 7.0.

3.4.1. Implementación de datos

Como primer paso para la implementación de datos se utilizó la herramienta para modelado de datos de WebRatio. El esquema de datos generado se puede utilizar luego para vincular con los elementos de la implementación de hipertexto utilizando la misma herramienta. Se consideraron las entidades Usuario, Grupo, Proyecto, *Preset*, *Snapshot*, *Config*, ProyectoPreset y ProyectoWorld.

La herramienta permite automatizar el pasaje del diagrama de entidadrelación a una implementación directa en código SQL y la posterior generación del esquema en una base de datos relacional.

3.4.2. Implementación de hipertexto

Para realizar esta fase se siguieron las primitivas de implementación de hipertexto y los lineamientos definidos por la metodología WebML. El lenguaje en que se implementaron los contenidos estáticos es HTML5. Para organizar y dar estilo uniforme a los elementos estáticos y dinámicos se utilizó CSS3 en conjunto con el *framework* Bootstrap 4. Para desplegar información dinámica y darle comportamiento específico a un componente dentro de las páginas se utilizó JavaScript y la librería JQuery, en tanto que para el despliegue de mensajes de notificaciones se ha empleado la biblioteca *SweetAlert* de JavaScript. Del lado del servidor para realizar la interacción de la información proveniente del hipertexto, se utilizó PHP 7.0. Además, se han empaquetado todas las dependencias y configuraciones tanto del servidor *web* Apache2 como de PHP y todas las dependencias y configuraciones de los simuladores Shawn y WebShawn utilizando Docker y gestionando el funcionamiento y la comunicación los contenedores de esta tecnología y la base de datos PostgreSQL (también empleada en un contenedor de Docker) mediante DockerCompose,

4. Pruebas

En esta sección se plantean dos escenarios para verificar que el prototipo es capaz de generar salidas gráficas de proyectos de simulación que reflejen el estado final indicado por la salida de texto brindada por Shawn. Seguidamente se muestra cómo gestionar *presets* de visualizaciones de usuario de manera tal de que se le permita reutilizar configuraciones entre sus proyectos de simulación.

4.1 Parametrización de visualizaciones de nodos y conexiones

Para el primer escenario se empleó como supuesto un usuario con un proyecto sencillo de simulación en el cual este define todos los parámetros concernientes a la configuración del escenario y a la configuración de simulación, es decir, la especificación de la cantidad de nodos, tipo y modelo de comunicación, rango de alcance, etc. Y, adicionalmente, el usuario establece el aspecto de un tipo de nodo en particular que intenta resaltar. Los parámetros empleados para la configuración del mundo y de la simulación se pueden observar de forma gráfica en la Figura 4. En esta figura se puede apreciar cómo fueron ingresados los parámetros desde la Web en la página control de simulación.

Visual WebShawn: Herramienta visual para el análisis de simulaciones de redes de sensores inalámbricos en la web

Parámetros de Control de Simulación

Proyecto de Simulación
proy_test1

Archivo de configuración
simpleapp.conf

Parámetros de escenario

Cargar escenario generado

count: 35

width: 15

height: 15

seed: 1246121213

¿Desea guardar un snapshot de escenario? Guardando snapshots podrá realizar la disposición de los nodos en otras simulaciones

Parámetros de simulación

range: 3.5

max iterations: 5

Modelo de Borde: simple

Modelo de Comunicación: Unit Disk Graph (UDG)

Modelo de Transmisión: Seleccione un Modelo de Transmisión

Siguiente

Figura 4. Parámetros ingresados desde el navegador para el primer escenario de simulación

Los parámetros empleados para la parametrización de resultados de visualización del proyecto pueden visualizarse en la Figura 5. En esta figura se puede apreciar cómo fueron ingresados los parámetros desde la Web en la página parámetros de visualización.

Configurar visualizaciones

Cargar desde Preset
Por defecto

Configurar nodos y conexiones

Puede configurar el aspecto de los nodos y las conexiones salientes de cada uno.

Color: rgb(224, 55, 55)

Tamaño: 0.5

Forma: Cuadrado

Nombre Preset:

Guardar en mis presets

Conexiones salientes del nodo (node edge)

Color: rgb(255, 0, 0)

Ancho de línea: 0.100000

Utilizar Eliminar preset

Configuraciones de visualización del proyecto

ID	Nodo: color rgb	Nodo: tamaño	Nodo: forma	Nodo línea: color rgb	Nodo línea: tamaño
	rgb(224, 55, 55)	0.5	2	rgb(255, 0, 0)	0.100000

Generar Configuración

Figura 5. Parámetros de visualización ingresados desde el navegador para el primer escenario de simulación

Luego de que se ingresaron estos parámetros y se realizó la compilación y ejecución del proyecto desde el navegador *web*, las visualizaciones obtenidas se pueden observar en la Figura 6.

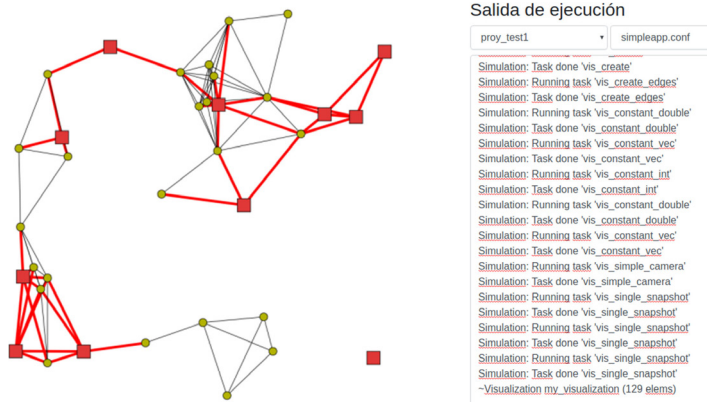


Figura 6. Visualización de resultados gráficos con nodos resaltados y captura parcial de salida en formato texto generada.

A simple vista puede verificarse que no todos los nodos de la red están interconectados dada la configuración del escenario y el alcance indicados por el usuario, al margen de esta situación han sido resaltados todos los nodos indicados por el usuario, así como además las comunicaciones de dichos nodos de acuerdo a los parámetros de visualización indicados por él.

Asimismo, mediante la salida de texto generada por el prototipo WebShawn puede verificarse la correcta ejecución de cada comando empleado por Shawn para indicarle a la biblioteca VIS qué y cómo debe graficar en la salida del proyecto de simulación. Para conocer en detalle la utilización de VIS en Shawn y los comandos que se utilizan se puede consultar Pfisterer et al. (2013).

4.2. Almacenamiento y reutilización de presets de visualización

Para el segundo escenario se usó como supuesto un usuario que, realizando un proyecto de simulación A desea, además, reutilizar los parámetros de configuración de visualizaciones en un proyecto B con posibles modificaciones mínimas inclusive respecto de la visualización de algunos dispositivos de la red de sensores inalámbricos. Para ello, primero debe completar los campos del formulario de la página parámetros de visualización. Esto es ejemplificado en la Figura 7.

Visual WebShawn: Herramienta visual para el análisis de simulaciones de redes de sensores inalámbricos en la web

■ Gestión de archivos ➔ Control de Simulación ● Parámetros de Visualización ● Compilación ▶ Ejecución

Parámetros de Visualización

Proyecto de Simulación
proy_test1

Archivo de configuración
simpleapp_2.conf

Configurar visualizaciones

Cargar desde Preset
Por defecto

Configurar nodos y conexiones

Puede configurar el aspecto de los nodos y las conexiones salientes de cada uno.

Color:
rgb(31, 18, 176)

Tamaño:
0.45

Forma:
Círculo

Nombre Preset:
DispAzul

Conexiones salientes del nodo (node edge)

Color:
rgb(19, 15, 204)

Ancho de línea:
0.025

Utilizar Eliminar preset

Figura 7. Parámetros de visualización ingresados desde el navegador para el segundo escenario de simulación.

Posteriormente debe indicar un nombre representativo para poder almacenar la configuración de visualización actual; hecho esto, se presionó el botón *guardar en mis presets*, el cual almacena la configuración indicada por medio de la base de datos a la cual se conecta el prototipo, relacionando al usuario conectado con dicho registro (Figura 8).

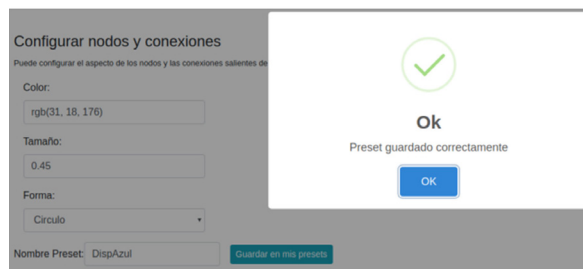


Figura 8. Mensaje de notificación al usuario de operación satisfactoria al almacenar su preset de visualización.

Luego, puede emplear la configuración en el proyecto actual haciendo clic en el botón *Utilizar*, el cual asociará dicha configuración de visualización a los parámetros de visualización del proyecto de simulación. Luego de indicar todas las configuraciones de visualización que se precise, y además de indicar la configuración del escenario, puede continuar con el proceso de simulación en el prototipo y generar las salidas de este.

Una vez ejecutado el proyecto, dentro de los archivos de configuración generados por el prototipo que fueron interpretados por Shawn, puede encontrarse un conjunto de comandos destinados a generar toda la configuración indicada por el *preset* de visualización empleado (Figura 9).

```
vis=my_visualization
vis_create
vis_create_edges source_regex=* target_regex=*
vis_constant_double value=0.450000
elem_regex=node.default.v1.* prop=size prio=1
vis_constant_vec x=0.121854 y=0.072450 z=0.690000
elem_regex=node.default.v1.* prop=background prio=1
vis_constant_int value=1 elem_regex=node.default.v1.*
prop=shape prio=1
vis_constant_double value=0.025000
elem_regex=edge.default.v1.* prop=line_width prio=1
vis_constant_vec x=0.074800 y=0.060000 z=0.800000
elem_regex=edge.default.v1.* prop=color prio=1
```

Figura 9. Configuración de visualización generada por módulo en WebShawn.

Cabe destacar dos aspectos importantes: el primero de ellos es que, de los ocho comandos expuestos, los primeros tres se utilizan para inicializar el motor de generación de gráficos de la biblioteca VIS empleada por Shawn, y los últimos cinco comandos especifican toda la configuración correspondiente al único *preset* empleado por el usuario en el proyecto de simulación, los demás nodos de la red emplearán la configuración por defecto de la biblioteca VIS. El segundo aspecto relevante se refiere a que fueron necesarios cinco comandos para establecer la configuración de visualización que se corresponde al *preset* indicado por el usuario mediante la interfaz *web* del prototipo, cada comando indica el tipo de variable de VIS a utilizar y seguidamente las propiedades del elemento en un orden establecido y crítico, ya que un error de sintaxis en cualquiera de dichos comandos puede ocasionar un error al momento de compilar y ejecutar el proyecto de simulación.

Por último, se creó el proyecto B en donde, indistintamente de la configuración de escenario que se indicó, es posible reutilizar la configuración de visualización creada y almacenada en el proyecto A; para ello en la pantalla parámetros de visualización se debe elegir de la lista desplegable la opción que contenga el nombre que este indicó anteriormente para almacenar dicha configuración (Figura 10).

Configurar visualizaciones



Figura 10. Lista de selección de presets de visualización creados por el usuario.

De manera análoga al procedimiento realizado en el proyecto A, se continuó con el proceso de simulación y se obtuvo la siguiente salida de simulación en donde puede apreciarse que se ha podido reutilizar la configuración de visualización con un esfuerzo relativamente bajo. La Figura 11 muestra las salidas generadas para los proyectos A y B las cuales, indistintamente de las configuraciones de escenario de simulación, reutilizan el mismo *preset* de visualización creado por el usuario.

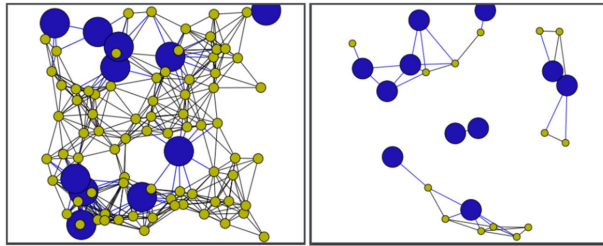


Figura 11. Resultados de visualización de los proyectos A y B reutilizando configuración de visualización mediante preset de usuario.

5. Conclusiones

Luego de realizar las modificaciones al prototipo WebShawn para poder emplear configuraciones de visualización mediante una interfaz *web*, se constató la facilidad que este brinda para que los usuarios especifiquen las configuraciones de visualización deseadas para sus proyectos de simulación con el objetivo de identificar de una manera ágil los diferentes dispositivos dentro de una red de sensores inalámbricos.

Asimismo, al brindar la posibilidad de almacenar dichas configuraciones mediante *presets*, se ha logrado un ahorro importante de tiempo al momento de reutilizar configuraciones visuales en nuevos proyectos de simulación sin la necesidad de reingresar todos los valores deseados. Además, es posible reutilizar las configuraciones almacenadas modificando ciertos parámetros de interés y guardando las mismas como nuevos *presets*. Esto da la posibilidad de volver a utilizar los *presets* en otros proyectos de simulación, permitiendo ahorrar tiempo y esfuerzo evitando escribir los comandos necesarios para que la biblioteca VIS pueda generar los resultados de visualización.

También se observó que con el prototipo se pudo lograr que la reutilización de escenarios sea mucho más simple y transparente para el usuario, pues le brinda la posibilidad de reutilizar por completo la disposición de los nodos en un escenario de un proyecto de simulación en cualquier otro proyecto en el que precise recrear el ambiente generado para verificar los efectos que pueden producirse dados otros factores implicados en la configuración de la simulación.

Por último, cabe destacar que, gracias al empaquetado de todas las dependencias del simulador Shawn y la inclusión del servidor *web* Apache con todas las configuraciones necesarias para

ejecutar el prototipo dentro de una imagen Docker, se elimina la necesidad de reconfigurar por completo todas las aplicaciones y dependencias en caso de falla del servidor y además se brinda la posibilidad de aumentar la potencia de procesamiento del simulador mediante el escalado horizontal de recursos soportados por dicha tecnología. Adicionalmente es posible compartir con otros usuarios la instalación del prototipo con facilidad, eliminando los requisitos de instalación por completo y permitiendo que estos puedan centrarse en crear proyectos de simulación.

6. Trabajos futuros

Como trabajos futuros se proponen los siguientes:

Incorporar la posibilidad de que los usuarios puedan establecer la posición de cada dispositivo dentro del escenario generado en forma manual, desarrollando para tal fin otro módulo específico con su respectiva interfaz gráfica de usuario. Esto permitirá generar ambientes de simulación con modelos de bordes poligonales.

Desarrollar un módulo que permita interactuar con el motor de simulación y visualización a través de Web Services. Esto permitirá crear sistemas de simulación con cualquier tipo de interfaz (no solo *web*). También permitirá generar salidas estandarizadas, por ejemplo en XML o JSON.

Construir un módulo que dé la posibilidad a los usuarios de interacción colaborativa, donde pueda compartirse no solamente el acceso a proyectos de simulación sino que puedan compartirse también los *presets* de visualizaciones gráficas deseados y los *snapshots* de escenarios exportados.

Refactorizar el módulo de compilación de proyectos para que este proceso sea ejecutado de manera automática por el prototipo una vez que el usuario termine de definir los parámetros de control de simulación y de visualización.

Referencias

- Brambilla, M.; Comai, S.; Fraternali, P.; y Matera, M. (2008). Designing web applications with WebML and WebRatio. *Web engineering: Springer*. Londres.
- Ceri, S.; Fraternali, P.; y Bongio, A. (2000). *Web Modeling Language (WebML): a modeling language for designing Web sites*. Computer Networks.
- Docker Inc. (2020). *PostgreSQL - Docker Hub*. https://hub.docker.com/_/postgres/
- Fischer, S.; Pfisterer, D.; y Fekete, S. P. (2007). Shawn: The fast, highly customizable sensor network simulator. *Braunschweig University of Technology and University of Lubeck* (ISBN 1-4244-1231-5).
- Godoy, D. A.; Sosa, E. O.; Bareiro, H.; y Díaz Redondo, R. (2014). Redes de sensores inalámbricos: interfaz web para Shawn. *XX Congreso Argentino de Ciencias de la Computación*. Buenos Aires.
- Godoy, D. A.; Sosa, E. O.; Redondo, R. P.; y Bareiro, H. (2017). WebShawn, simulating wireless sensors networks from the web. *Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)* ISBN 978-1-5386-3839-2.

- Group, S. I. (2018). *TinyOS TOSSIM*. <http://tinyos.stanford.edu/tinyos-wiki/index.php/TOSSIM>
- Information Sciences Institute. (2017). *The Network Simulator 2*. <https://www.isi.edu/nsnam/ns/>
- Mármol, F. G., y Pérez, G. M. (2009). *TRMSim-WSN, Trust and Reputation Models*. University of Murcia, Facultad de Informatica.
- Moreno, N.; Fraternali, P; y Vallecillo, A. (2006). A UML 2.0 profile for WebML modeling. *Workshop proceedings of the sixth international conference on Web engineering*.
- Pfisterer, D. y Frick, M. (2013). *Shawn Wiki Visualization GitHub*. <https://github.com/itm/shawn/wiki/Visualization>
- Ptolemy II. (2020). <http://ptolemy.berkeley.edu/ptolemyII/>
- Saha, B. K. (s.f.). *NS2Web*. <http://vlssit.iitkgp.ernet.in/>
- Saha, B. K.; Misra, S.; y Obaidat, M. S. (2013). A web-based integrated environment for simulation and analysis with NS-2 ISSN: 1536-1284. *IEEE Wireless Communications*, 20(4), 20.
- University of California (s.f.). *AVRORA*. <http://compilers.cs.ucla.edu/avrora/>
- VisualSense. (2020). <https://ptolemy.berkeley.edu/visualsense/>
- WebRatio. (2020). *WebRatio*. <http://www.webratio.com/>

Diego Alberto Godoy

Perfil académico y profesional: Doctor en Tecnologías de la Información y Comunicación (Universidad de Vigo, España). Magister en Ingeniería de Software (Universidad Nacional de la Plata). Ingeniero en Informática (Universidad Gastón Dachary). Profesor Titular Regular. Director de la Especialización en Gestión de Tecnologías de la Información y Comunicación (Universidad Gastón Dachary).

Correo electrónico: diegodoy@citic.ugd.edu.ar
Identificador ORCID [0000-0002-7445-7375]

Santiago H. Bareiro

Perfil académico y profesional: Doctorando en Informática (UNAM). Ingeniero en Informática (Universidad Gastón Dachary). Profesor Adjunto.

Correo electrónico: hbareiro@citic.ugd.edu.ar
Identificador ORCID [0000-0002-3060-5217]

Fabián E. Favret

Perfil académico y profesional: Doctorando en Informática (UNAM). Ingeniero en Informática (Universidad Gastón Dachary). Profesor Adjunto.

Correo electrónico: efabianfavret@citic.ugd.edu.ar
Identificador ORCID [0000-0002-3774-8982]

Analysis of Gutenberg-Richter b -value and m_{\max} . Part III: Non-positive Gutenberg-Richter b -value

Análisis del parámetro b y m_{\max} del Modelo de Gutenberg-Richter. Parte III: valor no positivo del parámetro b de Gutenberg-Richter

Mika Haarala Orosco¹

Probabilidad – Ingeniería Sísmica /
artículo científico

Citar: Haarala, M. (2021). Analysis of Gutenberg-Richter b -value and m_{\max} . Part III: Non-positive Gutenberg-Richter b -value. *Cuadernos de Ingeniería* (13). Recuperado de: <http://revistas.ucasal.edu.ar>

Recibido: setiembre/2021

Aceptado: noviembre/2021

Abstract

When we analyzed the Gutenberg-Richter distribution function in our earlier works, we assumed that the b -value is positive. Using generalized estimators, we found that in some cases the b -value can be also negative. This paper gives a theoretical background for the negative b -value. We also expand the KS functions on the interval $-\infty < \beta(m_{\max} - m_{\min}) \leq -\log(2)$.

Keywords: Gutenberg-Richter distribution function, Gutenberg-Richter b -value, Kijko-Sellevoll functions.

Resumen

Cuando en trabajos anteriores analizamos la función de distribución de Gutenberg-Richter, asumimos un valor positivo para el parámetro b . Con el uso de distintos estimadores, encontramos que este parámetro puede tomar también valores negativos. En este artículo se establece un marco teórico para el caso de valor negativo de b y demostraremos la expansión de la función Kijko-Sellevoll (KS) al intervalo $-\infty < \beta(m_{\max} - m_{\min}) \leq -\log(2)$.

Palabras clave: Función de distribución de Gutenberg-Richter, parámetro b de Gutenberg-Richter, funciones de Kijko-Sellevoll

¹ Consultor (Salta, Argentina).

1. Introduction

In earlier works (Haarala and Orosco, 2016a, 2016b, 2018) we have studied the double truncated exponential probability density function (PDF), or called also as the Gutenberg-Richter probability density function (GR),

$$f(m) = \frac{\beta \exp[-\beta(m - m_{\min})]}{1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})]} \quad (1)$$

(where $\beta = b \log(10)$) assuming that the β is always positive. Even if we generate the data with positive β -value, the generalized estimators can give negative β -values. We gave an example in a previous work (Haarala and Orosco, 2016b) where we could not get the values with the generalized Page estimator with our program. We set the estimates $\hat{\beta}_{GP}^{(n)}$ to zero (as we can see the Page estimates at the points for $n \geq 188$ in the Figure 1) without knowing that they are negative values.

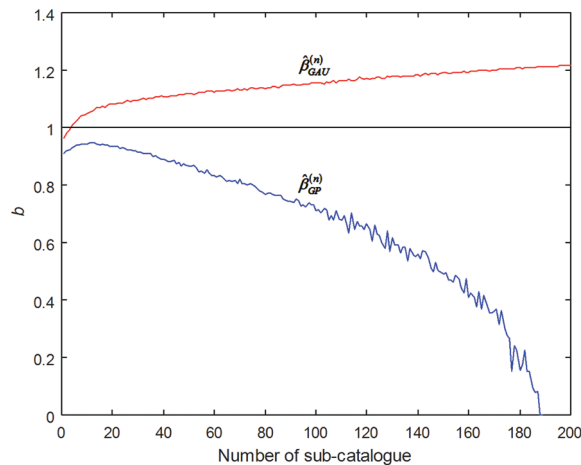


Figure 1. Example of Generalized Aki-Utsu (GAU) and Page (GP) estimators (Haarala and Orosco, 2016b)

A reason for this «failure» was our assumption that the b -value is always positive. Another reason was the discontinuity of the PDF (1) at $b = 0$. When we proved more general and simple results for the Kijko-Sellevoll (KS) functions, we found their real convergence interval $-\log(2) \leq \beta(m_{\max} - m_{\min}) < \infty$ even though we gave the proof only to the positive interval $0 \leq \beta(m_{\max} - m_{\min}) < \infty$ (Haarala and Orosco, 2018). In this article we focused to the negative part of the Kijko-Sellevoll (KS) functions, which will yield the solutions for the interval $-\infty < \beta(m_{\max} - m_{\min}) < 0$.

2. Generalization of Gutenberg-Richter distribution function

Let's consider the distribution function (1) which has the cumulative distribution function (CDF)

$$F_M(m) = \begin{cases} 0, & \text{for } m < m_{\min}, \\ \frac{1 - \exp[-\beta(m - m_{\min})]}{1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})]}, & \text{for } m_{\min} \leq m < m_{\max}, \\ 1, & \text{for } m_{\max} \leq m, \end{cases} \quad (2)$$

where $-\infty \leq \beta \leq \infty$ and $-\infty \leq m_{\min} < m_{\max} \leq \infty$. The difference $m_{\max} - m_{\min}$ is positive always, so the factor $\beta(m_{\max} - m_{\min})$ can be negative only if $\beta < 0$ (i.e. $b < 0$). We can see that CDF (2) has a discontinuity at $\beta = 0$, where both the numerator and the denominator are zero.

If β is negative, it still holds that $f(m) \geq 0$ for all $m \in [m_{\min}, m_{\max}]$ in the PDF (1) because of $\beta \exp[-\beta(m - m_{\min})] < 0$ and $1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] < 0$. The CDF (2) holds also, since $F_M(m) \geq 0$ for all $m \in [m_{\min}, m_{\max}]$ because of both the nominator and the denominator are negative at the same time. It is not difficult to see from (2) that

$$\begin{aligned} F_M(-\infty) &= F_M(m_{\min}) = 0, \\ F_M(\infty) &= F_M(m_{\max}) = 1 \end{aligned}$$

and F_M is a non-decreasing right continuous function.

If $\beta = 0$, the limit of the PDF of GR distribution function can be gotten as

$$\begin{aligned} f(m) &= \frac{\beta \exp[-\beta(m - m_{\min})]}{1 - \sum_{k=0}^{\infty} \frac{[-\beta(m_{\max} - m_{\min})]^k}{k!}} \\ &= \frac{\exp[-\beta(m - m_{\min})]}{(m_{\max} - m_{\min}) \left\{ 1 + \sum_{k=2}^{\infty} \frac{[-\beta(m_{\max} - m_{\min})]^{k-1}}{k!} \right\}} \\ &\rightarrow \frac{1}{m_{\max} - m_{\min}}, \end{aligned}$$

when $\beta \rightarrow 0$. This is a Uniform Distribution function. It's CDF is well known, but we can get it also by

$$\begin{aligned}
 \frac{1 - \exp[-\beta(m - m_{\min})]}{1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})]} &= \frac{1 - \sum_{k=0}^{\infty} \frac{[-\beta(m - m_{\min})]^k}{k!}}{1 - \sum_{k=0}^{\infty} \frac{[-\beta(m_{\max} - m_{\min})]^k}{k!}} \\
 &= \frac{(m - m_{\min}) \left\{ 1 + \sum_{k=2}^{\infty} \frac{[-\beta(m - m_{\min})]^{k-1}}{k!} \right\}}{(m_{\max} - m_{\min}) \left\{ 1 + \sum_{k=2}^{\infty} \frac{[-\beta(m_{\max} - m_{\min})]^{k-1}}{k!} \right\}} \\
 &\rightarrow \frac{m - m_{\min}}{m_{\max} - m_{\min}}.
 \end{aligned}$$

Now we can complete the definition of the General Gutenberg-Richter (GGR) distribution function. The PDF is defined as

$$f(m) = \begin{cases} \frac{\beta \exp[-\beta(m - m_{\min})]}{1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})]}, & \text{for } m_{\min} \leq m \leq m_{\max} \wedge \beta \neq 0, \\ \frac{1}{m_{\max} - m_{\min}}, & \text{for } m_{\min} \leq m \leq m_{\max} \wedge \beta = 0, \\ 0, & \text{for } m \notin [m_{\min}, m_{\max}] \end{cases}$$

with CDF

$$F_M(m) = \begin{cases} 0, & \text{for } m < m_{\min}, \\ \frac{1 - \exp[-\beta(m - m_{\min})]}{1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})]}, & \text{for } m_{\min} \leq m < m_{\max} \wedge \beta \neq 0, \\ \frac{m - m_{\min}}{m_{\max} - m_{\min}}, & \text{for } m_{\min} \leq m < m_{\max} \wedge \beta = 0, \\ 1, & \text{for } m \geq m_{\max}, \end{cases} \quad (3)$$

where $-\infty \leq \beta \leq \infty$ and $-\infty \leq m_{\min} < m_{\max} \leq \infty$. We will show later that β is always bounded for practical applications. That is to say, we could assume directly $-\infty < \beta < \infty$.

Figures 2a and 2b illustrate this process with parameters $b = 0$, $m_{\min} = 5$, $n = 1$ using different values for parameter m_{\max} . In the figures 2c and 2d, the parameters are $b = -0.1$, $m_{\min} = 5$, $n = 1$ with different values of parameter m_{\max} . We can see from these figures how the probability decreases in small values and concentrate to m_{\max} when $m_{\max} \rightarrow \infty$. Even in the case of the Uniform distribution function, the events in the interval $5 \leq m \leq 10$ become so rare that it is more probable to get a lot of huge values than small values when $m_{\max} \rightarrow \infty$. This fact made us suspect that m_{\max} is bounded, when b is negative.

The negative β has an opposite behavior than the positive one. While the positive β concentrates the events close to the minimum limit, the negative β concentrates the events close to the maximum limit. The figure 3, which was generated using $m_{\max}=8$, $m_{\min}=5$, and the b -values 1 and -1 (both figures have 100 events), illustrate this situation.

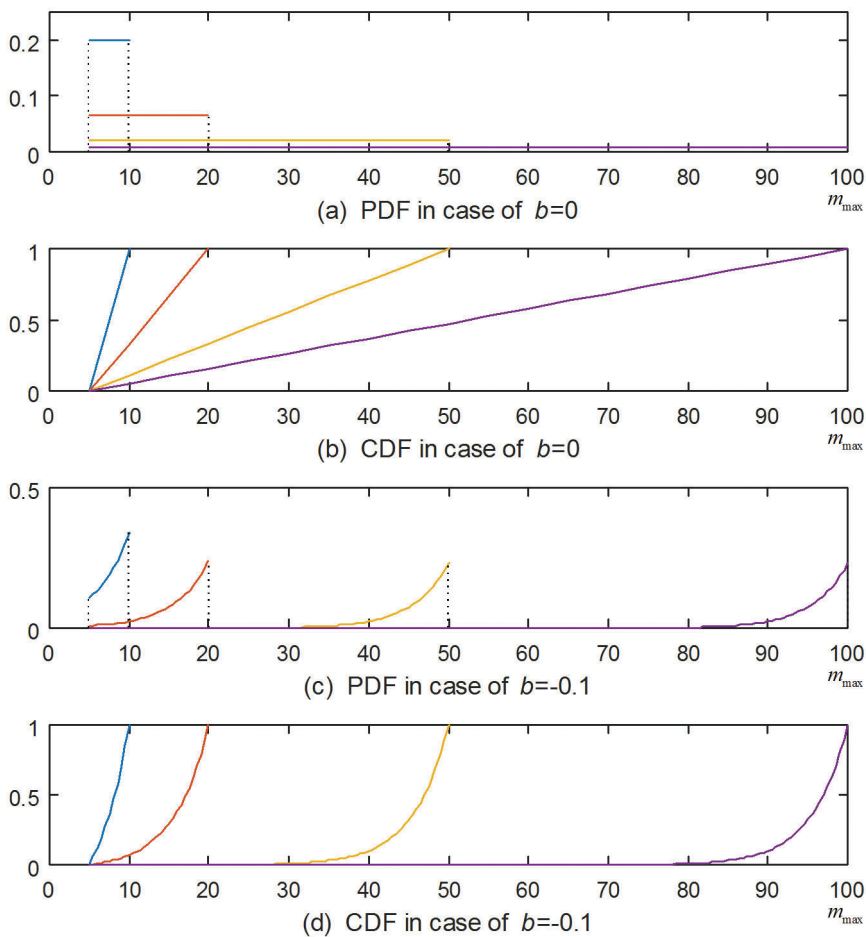


Figure 2. Some PDFs and CDFs for non-positive b-values

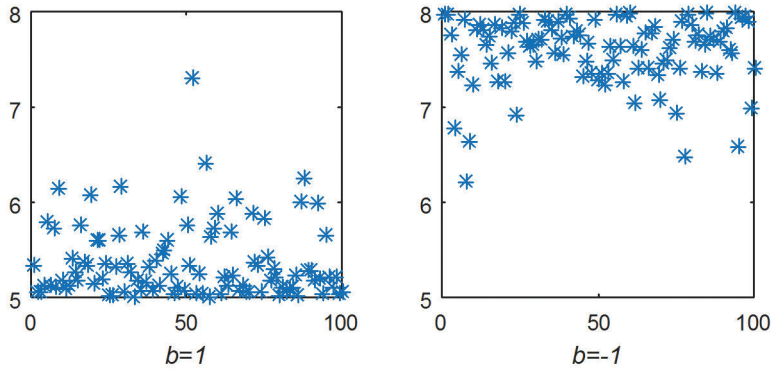


Figure 3. Distribution of events with different b-values

3. Kijko-Sellevoll functions

Let $M_1, M_2, \dots, M_n \in [m_{\min}, m_{\max}]$ be a set of random variables from the catalogue. We assume that these random variables are independently and identically distributed (iid) with CDF of F_M given by (3). Moreover, let m_1, m_2, \dots, m_n to be a sample of magnitudes having a CDF

$$\bar{F}_{M_n}(m) = \begin{cases} 0, & \text{for } m < m_{\min}, \\ [F_M(m)]^n & \text{for } m_{\min} \leq m < m_{\max}, \\ 1, & \text{for } m_{\max} \leq m, \end{cases} \quad (4)$$

for all $n > 0$.

It is not necessary to assume that the magnitudes are ordered. Actually, we are using here the maximum function, $\max(M_1, M_2, \dots, M_n)$. The formula (4) can be expressed as

$$\begin{aligned} P(\max_i(M_i) \leq m) &= P(M_1 \leq m \wedge M_2 \leq m \wedge \dots \wedge M_n \leq m) \\ &= \prod_{i=1}^n P(M_i \leq m) \\ &= [P(M_i \leq m)]^n \\ &= [F_M(m)]^n \\ &= \bar{F}_{M_n}(m). \end{aligned}$$

Similar way for the minimum function, $\min(M_1, M_2, \dots, M_n)$, (4) results as

$$\begin{aligned} P(\min_i(M_i) \leq m) &= 1 - P(\min_i(M_i) > m) \\ &= 1 - P(M_1 > m \wedge M_2 > m \wedge \dots \wedge M_N > m) \\ &= 1 - \prod_{i=1}^N P(M_i > m) \\ &= 1 - [P(M_i > m)]^n \\ &= 1 - [1 - P(M_i \leq m)]^n \\ &= 1 - [1 - F_M(m)]^n \\ &= \underline{E}_{M_n}(m) \end{aligned}$$

with a CDF

$$E_{M_n}(m) = \begin{cases} 0, & \text{for } m < m_{\min}, \\ 1 - [1 - F_M(m)]^n & \text{for } m_{\min} \leq m < m_{\max}, \\ 1, & \text{for } m_{\max} \leq m, \end{cases} \quad (5)$$

for all $n > 0$.

We have showed in our earlier work (Haarala and Orosco, 2016a, 2018), that the expected value of the maximum $\bar{M}_{(n)}$ in case of positive β is

$$\begin{aligned} \beta(m_{\max} - E(\bar{M}_{(n)})) &= f_{\eta}^{KS-1}(\beta(m_{\max} - m_{\min})), \\ \beta(E(\bar{M}_{(n)}) - m_{\min}) &= f_{\eta}^{KS-2}(\beta(m_{\max} - m_{\min})), \end{aligned} \quad (6)$$

where f_{η}^{KS-1} is a Kijko-Sellevoll function 1 (KS-1)

$$f_{\eta}^{KS-1}(x) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \exp[-x])^k}{k + \eta} \quad (7)$$

and f_{η}^{KS-2} is a Kijko-Sellevoll function 2 (KS-2)

$$f_{\eta}^{KS-2}(x) = \eta \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \exp[-x])^k}{k(k + \eta)}. \quad (8)$$

These relationships are valid for all $\eta \in \mathbb{R}_+$ and for all $0 \leq \beta(m_{\max} - m_{\min}) < \infty$ (Haarala and Orosco, 2018). The relation between KS-1 and KS-2 functions is

$$\beta(m_{\max} - m_{\min}) = f_{\eta}^{KS-1}(\beta(m_{\max} - m_{\min})) + f_{\eta}^{KS-2}(\beta(m_{\max} - m_{\min})). \quad (9)$$

Note that we have integer valued n in the CDFs (4) and (5), when we have a set of events. The real valued η is a useful feature in the applications, where the estimate of the number of events is a real value. For example, if we estimate 7.5 events by year, rounding this value into 7 or 8 we are producing a numerical bias for the results. It is to remember that the value 7.5 does not mean that there are really 7.5 events by year. The 7.5 is an average number of events by year, when we are considering a long interval of time. Our formulae make it possible to directly calculate those results without rounding.

We will give our proofs using variable η instead of n giving general results for the formulae. In the Appendix A it can be seen that η can be also negative even though the proofs are given only for positive real values, $\eta \in \mathbb{R}_+$.

4. The series for the expected values

Kijko-Sellevoll functions

First of all, we will show that the KS functions (7) and (8) are valid also on the interval $-\log(2) < \beta(\mathfrak{m} - m_{\min}) < 0$. Actually, our earlier proof (Haarala and Orosco, 2018) holds on this interval, if $\eta \in \mathbb{R}$. Because $(1 - \exp[-\beta(\mathfrak{m} - m_{\min})])^{\eta}$ is not defined generally when $\beta \in \mathbb{R}_-$ (it is defined only for $\eta \in \mathbb{N}$), we must consider $(\exp[-\beta(\mathfrak{m} - m_{\min})] - 1)^{\eta}$ for all $\eta \in \mathbb{R}$. We have

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial \mathfrak{m}} \left[(\exp[-\beta(\mathfrak{m} - m_{\min})] - 1)^{\eta} \frac{1}{\beta} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \exp[-\beta(\mathfrak{m} - m_{\min})])^k}{k + \eta} \right] \\ &= \frac{\partial}{\partial \mathfrak{m}} \left[\frac{1}{\beta} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k (\exp[-\beta(\mathfrak{m} - m_{\min})] - 1)^{k+\eta}}{k + \eta} \right] \\ &= -\exp[-\beta(\mathfrak{m} - m_{\min})] \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^k (\exp[-\beta(\mathfrak{m} - m_{\min})] - 1)^{k+\eta-1} \\ &= (\exp[-\beta(\mathfrak{m} - m_{\min})] - 1)^{\eta} \exp[-\beta(\mathfrak{m} - m_{\min})] \sum_{k=0}^{\infty} (1 - \exp[-\beta(\mathfrak{m} - m_{\min})])^k \\ &= (\exp[-\beta(\mathfrak{m} - m_{\min})] - 1)^{\eta}. \end{aligned} \quad (10)$$

The $\sum_{k=0}^{\infty} (1 - \exp[-\beta(\mathfrak{m} - m_{\min})])^k$ is a geometric series which gives $1/\exp[-\beta(\mathfrak{m} - m_{\min})]$ when $-\log(2) < \beta(\mathfrak{m} - m_{\min}) < 0$. (Actually, the convergence interval is $-\log(2) < \beta(\mathfrak{m} - m_{\min}) < \infty$, but we

consider only the negative part since the proof of (10) is different when the positive part is considered.) This geometric series diverges at $\beta(m - m_{\min}) = -\log(2)$. Thus, $\sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k = 1 - 1 + 1 - 1 + \dots$. Owing to this it holds that $\sum_{k=0}^{\infty} (1 - \exp[-\beta(m - m_{\min})])^k = \exp[\beta(m - m_{\min})]$ in the interval $-\log(2) < \beta(m - m_{\min}) < 0$ and we have the limit $\exp[\beta(m - m_{\min})] \rightarrow 1/2$, when $\beta(m - m_{\min}) \rightarrow -\log(2)$, we could define $\sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k = 1/2$. This limit could be seen like an expected value. Because of $\sum_{k=0}^{2n} (-1)^k = 1$ and $\sum_{k=0}^{2n+1} (-1)^k = 0$ for all $n = 0, 1, 2, \dots$; it is like the case of a coin, which has expected value $1/2$ when $n \rightarrow \infty$. This definition is related with the fact that the alternating series

$$\sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \exp[-\beta(m - m_{\min})])^k}{k} = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k}{k} = -\log(2) = \log\left(\frac{1}{2}\right)$$

converges when $\beta(m - m_{\min}) = -\log(2)$.

The conclusion is that equality (10) holds for all $-\log(2) \leq \beta(m - m_{\min}) < 0$ and it gives an integration formula

$$\begin{aligned} & \int (\exp[-\beta(m - m_{\min})] - 1)^\eta d m \\ &= (\exp[-\beta(m - m_{\min})] - 1)^\eta \frac{1}{\beta} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \exp[-\beta(m - m_{\min})])^k}{k + \eta} + C. \end{aligned} \tag{11}$$

Applying this integration formula for the expected value, we have

$$\begin{aligned} E(\bar{M}(\eta)) &= m_{\max} - \int_{m_{\min}}^{m_{\max}} \frac{\exp[-\beta(m - m_{\min})] - 1}{\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1} d m \\ &= m_{\max} - \frac{1}{\beta} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})])^k}{k + \eta} \quad \text{(KS-1)} \\ &= m_{\max} - \frac{1}{\beta} \sum_{k=1}^{\infty} \left[\frac{1}{k} - \frac{\eta}{k(k + \eta)} \right] (1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})])^k \\ &= m_{\min} + \frac{1}{\beta} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\eta (1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})])^k}{k(k + \eta)} \quad \text{(KS-2)} \end{aligned} \tag{12}$$

because $\sum_{k=1}^{\infty} z^k / k = -\log(1 - z)$, $-1 \leq z < 1$, and

$$\frac{1}{\beta} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})])^k}{k} = m_{\max} - m_{\min}$$

when $-\log(2) \leq \beta(m_{\max} - m_{\min}) < 0$. The KS functions are alternating series in this interval.

The result (12) is the same than (6) with (8) in the non-negative interval. It means that we can use the relations

$$\beta [m_{\max} - E(\bar{M})] = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})])^k}{k + \eta} = f_{\eta}^{KS-1}(\beta(m_{\max} - m_{\min}))$$

$$\beta [E(\bar{M}) - m_{\min}] = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\eta(1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})])^k}{k(k + \eta)} = f_{\eta}^{KS-2}(\beta(m_{\max} - m_{\min}))$$

for all $-\log(2) \leq \beta(m_{\max} - m_{\min}) < \infty$ and $\eta \in \mathbb{R}_+$.

Extension for the first Kijko-Sellevoll function

It is much more complicated to solve the case when $\beta(m_{\max} - m_{\min}) < -\log(2)$. In this case, it is $\exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] - 1 > 1$ (or in others words $-1 < (1 - \exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})])^{-1} < 0$). In like manner as before, we get the geometric series as

$$\sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{1}{1 - \exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})]} \right)^k = \frac{\exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] - 1}{\exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})]}$$

which is true for all $\mathfrak{M} \in]m_{\min} - \log(2)/\beta, \infty[$. Thus,

$$\begin{aligned} & \int (\exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] - 1)^{\eta} d\mathfrak{M} \\ &= \int (\exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] - 1)^{\eta} \frac{\exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})]}{\exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] - 1} \sum_{k=0}^{\infty} (1 - \exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})])^{-k} d\mathfrak{M} \\ &= -\frac{1}{\beta} \int (-\beta) \exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^{-k} (\exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] - 1)^{-k+\eta-1} d\mathfrak{M} \tag{13} \\ &= -\frac{1}{\beta} \sum_{k=0}^{\infty} \left\{ (-1)^k \int (-\beta) \exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] (\exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] - 1)^{-k+\eta-1} d\mathfrak{M} \right\} \\ &= -\frac{1}{\beta} \sum_{\substack{k=0 \\ k \neq \eta}}^{\infty} \frac{(-1)^k (\exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] - 1)^{-k+\eta}}{-k + \eta} + C. \end{aligned}$$

There are two observations when $\eta \in \mathbb{N}$. Firstly, we have in the case $k = \eta - 1$

$$\begin{aligned} \int (-\beta) \exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] d\mathfrak{M} &= \exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] + C \\ &= \exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] - 1, \end{aligned}$$

where we have set $C = -1$. Secondly, the integration in the case $k = \eta$ gives

$$\frac{(-1)^{k+1}}{\beta} \int \frac{(-\beta) \exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})]}{\exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] - 1} d\mathfrak{M} = \frac{(-1)^{k+1}}{\beta} \log(\exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] - 1) + C. \quad (14)$$

Hence,

$$\int (\exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] - 1)^\eta d\mathfrak{M} = \frac{1}{\beta} \sum_{k=0}^{\infty} \left\langle \frac{(-1)^k (\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-k+\eta}}{k - \eta} \middle| (-1)^{\eta+1} \log(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1) \right\rangle_{(k=\eta)} + C, \quad (15)$$

where $\langle x|y \rangle_{(c)}$ is a switch function giving x , if c is false, and y , if c is true.

When we worked with KS functions in negative side, we had $0 < m_{\max} - m_{\min} \leq -\log(2)/\beta$ (or in other words $m_{\min} < m_{\max} \leq m_{\min} - \log(2)/\beta$). This means that the m_{\max} must be close enough to m_{\min} when we integrate over the interval $[m_{\min}, m_{\max}]$. If the difference between $m_{\max} - m_{\min}$ is bigger, we have $m_{\min} < m_{\min} - \log(2)/\beta < m_{\max} < \infty \Leftrightarrow -\infty < \beta(m_{\max} - m_{\min}) < -\log(2)$. Integrating over the interval $[m_{\min} - \log(2)/\beta, m_{\max}]$, we get

$$\begin{aligned} & \int_{m_{\min} - \log(2)/\beta}^{m_{\max}} \left(\frac{\exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] - 1}{\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1} \right)^\eta d\mathfrak{M} \\ &= \frac{1}{\beta} (\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-\eta} \sum_{\substack{k=0 \\ k \neq \eta}}^{\infty} \frac{(-1)^k \left[(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-k+\eta} - 1 \right]}{k - \eta}. \end{aligned} \quad (16)$$

Due to $(y^h - 1)/h \rightarrow \log(y)$, when $h \rightarrow 0$, we can get the limit

$$\frac{(-1)^{k+1} (\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-k+\eta} - 1}{\beta (-k + \eta)} \xrightarrow{\eta \rightarrow k} \frac{(-1)^{k+1}}{\beta} \log(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1). \quad (17)$$

This is the same as (14). Hence, we say that the series in (16) holds for all $\eta \in \mathbb{R}_+$, where we replace the discontinuity term by (14) in the case $k = \eta$ of our calculus.

Using integration formula (11), the integration over $]m_{\min}, m_{\min} - \log(2)/\beta]$ gives

$$\int_{m_{\min}}^{m_{\min} - \log(2)/\beta} \left(\frac{\exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] - 1}{\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1} \right)^\eta d\mathfrak{M} = \frac{1}{\beta} (\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-\eta} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k}{k + \eta}.$$

The final result of the integral can be written as

$$\begin{aligned}
 E(\bar{M}_{(\eta)}) &= m_{\max} - \int_{m_{\min}}^{m_{\max}} \left(\frac{\exp[-\beta(x - m_{\min})] - 1}{\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1} \right)^{\eta} dx \\
 &= m_{\max} - \frac{1}{\beta} (\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-\eta} \left\{ \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k}{k + \eta} \right. \\
 &\quad \left. + \sum_{k=0}^{\infty} \left\langle \frac{(-1)^k \left[(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-k + \eta} - 1 \right]}{k - \eta} \right| (-1)^{\eta+1} \log(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1) \right\rangle_{(k=\eta)} \right\}.
 \end{aligned}$$

So, we call the function

$$\begin{aligned}
 f_{\eta}^{EKS-1}(\beta(m_{\max} - m_{\min})) &= (\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-\eta} \left\{ \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k}{k + \eta} \right. \\
 &\quad \left. + \sum_{k=0}^{\infty} \left\langle \frac{(-1)^k \left[(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-k + \eta} - 1 \right]}{k - \eta} \right| (-1)^{\eta+1} \log(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1) \right\rangle_{(k=\eta)} \right\}. \quad (18)
 \end{aligned}$$

as an Extension for the Kijko-Sellevoll function 1 (EKS-1). This function is valid, when $-\infty < \beta(m_{\max} - m_{\min}) < -\log(2)$.

This function (18) does not look like a KS-1 function, but it is a reflection of it (Appendix A). Also, we could show that EKS-1 function yields

$$f_n^{EKS-1}(\beta(m_{\max} - m_{\min})) = \frac{\beta(m_{\max} - m_{\min}) - \sum_{k=1}^n \frac{(1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})])^k}{k}}{(1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})])^n} \quad (19)$$

when $n \in \mathbb{N}$. This expression was found anterior work (Haarala and Orosco, 2016a) by showing

$$f_n^{KS-1}(\beta(m_{\max} - m_{\min})) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \exp[-x])^k}{k + \eta} = \frac{\beta(m_{\max} - m_{\min}) - \sum_{k=1}^n \frac{(1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})])^k}{k}}{(1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})])^n}.$$

The proof of relation (19) is given in Appendix A.

Even though we have the discontinuity term in the series, there is no discontinuity as we showed above. In the numerical calculus, it is to replace the discontinuous term with the logarithmic term (14). Because we use the acceleration method to calculate the series, we do not need to mind this correction if η is bigger than the number of terms in the accelerated sum (for example, $\eta > 20$ in double precision systems).

There is an alternative way to solve the problem of the expected value in the case of the negative b -value; we will show that in the Appendix B.

Extension for the second Kijko-Sellevoll function

The Extension for the Kijko-Sellevoll function 2 (EKS-2) could be found by

$$f_{\eta}^{EKS-2}(\beta(m_{\max} - m_{\min})) = \beta(m_{\max} - m_{\min}) - f_{\eta}^{EKS-1}(\beta(m_{\max} - m_{\min})).$$

To find the EKS-2, the $-\beta(m_{\max} - m_{\min})$ and $\log(2)$ have the series

$$\begin{aligned} -\beta(m_{\max} - m_{\min}) &= \log(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1) + \log\left(1 - \frac{1}{1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})]}\right) \\ &= \log(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1) - \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^{-k} (\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-k}}{k} \end{aligned} \quad (20)$$

and

$$\log(2) = \log(1 - (-1)) = -\sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k}{k}, \quad (21)$$

respectively. Using (21), we get from (20)

$$\begin{aligned} n_{\max} - m_{\min} &= -\frac{1}{\beta} \log(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1) \\ &+ \frac{1}{\beta} \frac{\sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k}{k} + \left\{ \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k (\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-k+\eta}}{k} - \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k}{k} \right\}}{(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{\eta}} \\ &= -\frac{1}{\beta} \log(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1) \\ &+ \frac{1}{\beta} \frac{\sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k}{k} + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k \left[(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-k+\eta} - 1 \right]}{k}}{(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{\eta}}. \end{aligned}$$

Finally, the expected value yields to

$$\begin{aligned}
 E(\bar{M}_{(\eta)}) &= m_{\min} + (m_{\max} - m_{\min}) - \frac{1}{\beta} \frac{\sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k}{k + \eta} + \sum_{\substack{k=0 \\ k \neq \eta}}^{\infty} \frac{(-1)^k \left[(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-k+\eta} - 1 \right]}{k - \eta}}{(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^\eta} \\
 &= m_{\min} + \frac{1}{\beta} \left\{ -\log(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1) + \frac{1 - (\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-\eta}}{\eta} \right. \\
 &\quad \left. + (\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-\eta} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\eta(-1)^k}{k(k + \eta)} \right. \\
 &\quad \left. - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq \eta}}^{\infty} \frac{\eta(-1)^k \left[(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-k} - (\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-\eta} \right]}{k(k - \eta)} \right\}
 \end{aligned}$$

where we need to replace the discontinuity term of the series by

$$\begin{aligned}
 &\lim_{k \rightarrow \eta} \left\{ \frac{\eta(-1)^k \left[(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-k} - (\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-\eta} \right]}{k(k - \eta)} \right\} \\
 &= -(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-\eta} \lim_{k \rightarrow \eta} \left\{ \frac{\eta(-1)^k \left[(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-k+\eta} - 1 \right]}{k(-k + \eta)} \right\} \\
 &= (-1)^{\eta+1} (\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-\eta} \log(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1).
 \end{aligned}$$

when $n \in \mathbb{N}$. The Extension for the Kijko-Sellevoll function 2 (EKS-2) is now

$$\begin{aligned}
 f_{\eta}^{EKS-2}(\beta(m_{\max} - m_{\min})) &= -\log(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1) + \frac{1 - (\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-\eta}}{\eta} \\
 &\quad + (\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-\eta} \left\{ \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\eta(-1)^k}{k(k + \eta)} \right. \\
 &\quad \left. - \sum_{k=1}^{\infty} \left\langle \frac{\eta(-1)^k \left[(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-k+\eta} - 1 \right]}{k(k - \eta)} \right\rangle_{(k=\eta)} (-1)^{\eta+1} \log(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1) \right\}
 \end{aligned}$$

for $\eta \in \mathbb{R}_+$.

Uniform distribution

The Uniform Distribution function results are well known, we will show here how we can also get them from the GGR CDF. Let start with the KS-2 function

$$E(\bar{M}_{(\eta)}) - m_{\min} = \frac{\eta}{\beta} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})])^k}{k(k + \eta)}. \quad (22)$$

Since

$$1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] = \beta(m_{\max} - m_{\min}) \left\{ 1 + \sum_{j=2}^{\infty} \frac{[-\beta(m_{\max} - m_{\min})]^{j-1}}{j!} \right\} \quad (23)$$

the equation (22) gives

$$E(\bar{M}_{(\eta)}) - m_{\min} = \frac{\eta}{\eta + 1} (m_{\max} - m_{\min}) \left\{ 1 + \sum_{j=2}^{\infty} \frac{[-\beta(m_{\max} - m_{\min})]^{j-1}}{j!} \right\} + \eta \sum_{k=2}^{\infty} \frac{\beta^{k-1} \left((m_{\max} - m_{\min}) \left\{ 1 + \sum_{j=2}^{\infty} \frac{[-\beta(m_{\max} - m_{\min})]^{j-1}}{j!} \right\} \right)^k}{k(k + \eta)}.$$

If $\beta \rightarrow 0$, then we have the KS-2 estimator for the Expected value as

$$E(\bar{M}_{(\eta)}) = m_{\min} + \frac{\eta}{\eta + 1} (m_{\max} - m_{\min}) \quad (24)$$

which is known as an unbiased estimator for the maximum of the Uniform Distribution function in the form

$$m_{\max} = \frac{\eta + 1}{\eta} (E(\bar{M}_{(\eta)}) - m_{\min}) + m_{\min}.$$

The KS-1 estimator at $\beta = 0$ can be directly got by

$$\begin{aligned} E(\bar{M}_{(\eta)}) &= m_{\min} + (m_{\max} - m_{\min}) - \left[(m_{\max} - m_{\min}) - \frac{\eta}{\eta + 1} (m_{\max} - m_{\min}) \right] \\ &= m_{\max} - \frac{1}{\eta + 1} (m_{\max} - m_{\min}). \end{aligned}$$

Now we have shown all possible cases to calculate the expected value. We give new definitions to the KS functions:

$$f_{\eta}^{KS_{\max}}(x) = \begin{cases} f_{\eta}^{EKS-1}(x), & \text{when } -\infty \leq x < -\log(2), \\ f_{\eta}^{KS-1}(x), & \text{when } -\log(2) \leq x \leq \infty, \end{cases}$$

$$f_{\eta}^{KS_{\min}}(x) = \begin{cases} f_{\eta}^{EKS-2}(x), & \text{when } -\infty \leq x < -\log(2), \\ f_{\eta}^{KS-2}(x), & \text{when } -\log(2) \leq x \leq \infty \end{cases}$$

and $\eta \in \mathbb{R}_+$. The name KS_{\max} associates better the KS function or its extension to the maximum, because KS-1 and EKS-1 are measures of the distance from the maximum to the expected value. Similarly, because KS-2 and EKS-2 are measures of the distance from the minimum to the expected value, the name KS_{\min} associates the KS function or its extension to the minimum. We can see the examples of the $f_5^{KS_{\max}}$ and $f_5^{KS_{\min}}$ in Figure 4.

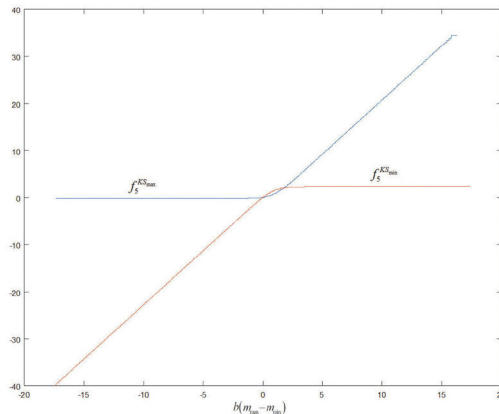


Figure 4. Example of the KS functions

5. Series for the variance

The third Kijko-Sellevoll function

As we saw in the case of the expected values above, it is only a technical detail to prove that the KS functions work also in the negative side. If we assume that $\eta \in \mathbb{N}$, we need no changes to the earlier proofs. We can see that in this case the KS-3 is valid in the interval $-\log(2) \leq \beta(m_{\max} - m_{\min}) \leq \infty$, but we need to assume $\eta \in \mathbb{R}_+$ in more general case.

Let's start with

$$\begin{aligned}
 & \frac{\partial}{\partial \mathfrak{M}} \left[\left(\exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] - 1 \right)^\eta \frac{1}{\beta} \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(-1)^{k+j} \left(\exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] - 1 \right)^{k+j}}{(\eta+k)(\eta+k+j)} \right] \\
 &= \frac{\partial}{\partial \mathfrak{M}} \left[-\frac{1}{\beta} \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(-1)^{k+j-1} \left(\exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] - 1 \right)^{\eta+k+j}}{(\eta+k)(\eta+k+j)} \right] \\
 &= \exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] \frac{\sum_{k=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} (-1)^{k+j-1} \left(\exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] - 1 \right)^{\eta+k+j-1}}{(\eta+k)} \\
 &= \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k \left(\exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] - 1 \right)^{\eta+k} \exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] \sum_{j=0}^{\infty} \left(1 - \exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] \right)^j}{\eta+k} \\
 &= \left(\exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] - 1 \right)^\eta \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\left(1 - \exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] \right)^k}{\eta+k},
 \end{aligned} \tag{25}$$

where the geometric series gives (when $\mathfrak{M} \in [m_{\min}, m_{\min} - \log(2)/\beta[)$

$$\sum_{j=0}^{\infty} \left(1 - \exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] \right)^j = \frac{1}{\exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})]}.$$

Thus,

$$\begin{aligned}
 & \int \left(\exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] - 1 \right)^\eta \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\left(1 - \exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] \right)^k}{\eta+k} d\mathfrak{M} \\
 &= \left(\exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] - 1 \right)^\eta \frac{1}{\beta} \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} \frac{\left(1 - \exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] \right)^{k+j}}{(\eta+k)(\eta+k+j)} + C,
 \end{aligned}$$

when $\eta \in \mathbb{R}_+$ and $-\log(2) \leq \beta(m_{\max} - m_{\min}) < 0$. Following our earlier work (Haarala and Orosco, 2016), the second moment can be integrated by parts as

$$\begin{aligned}
 E\left(\bar{M}_{(\eta)}^2\right) &= \int_{m_{\min}}^{m_{\max}} \eta t^2 dF_{M_n}(t) \\
 &= m_{\max}^2 - 2 \int_{m_{\min}}^{m_{\max}} \eta F_{M_n}(t) dt \\
 &= m_{\max}^2 - 2 m_{\max} \int_{m_{\min}}^{m_{\max}} F_{M_n}(t) dt + 2 \int_{m_{\min}}^{m_{\max}} \int_{m_{\min}}^t F_{M_n}(y) dy dt \\
 &= \left[m_{\max} - \int_{m_{\min}}^{m_{\max}} F_{M_n}(t) dt \right]^2 + 2 \int_{m_{\min}}^{m_{\max}} \int_{m_{\min}}^t F_{M_n}(y) dy dt - \left[\int_{m_{\min}}^{m_{\max}} F_{M_n}(t) dt \right]^2 \\
 &= \left[E\left(\bar{M}_{(\eta)}\right) \right]^2 + 2 \int_{m_{\min}}^{m_{\max}} \int_{m_{\min}}^t \left(\frac{1 - \exp[-\beta(y - m_{\min})]}{1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})]} \right)^\eta dy dt \\
 &\quad - \left[\int_{m_{\min}}^{m_{\max}} \left(\frac{1 - \exp[-\beta(t - m_{\min})]}{1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})]} \right)^\eta dt \right]^2.
 \end{aligned} \tag{26}$$

Hence,

$$\begin{aligned}
 Var\left(\bar{M}_{(\eta)}\right) &= E\left(\bar{M}_{(\eta)}^2\right) - \left[E\left(\bar{M}_{(\eta)}\right) \right]^2 \\
 &= \frac{2}{\beta} \int_{m_{\min}}^{m_{\max}} \left[\exp[-\beta(t - m_{\min})] - 1 \right]^\eta \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\left(1 - \exp[-\beta(t - m_{\min})]\right)^k}{\eta + k} dt \\
 &\quad - \frac{\left[\sum_{k=1}^{\infty} \frac{\left(1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})]\right)^k}{\eta + k} \right]^2}{\left[\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1 \right]^\eta} \\
 &= \frac{2}{\beta^2} \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} \frac{\left(1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})]\right)^{k+j}}{(\eta + k)(\eta + k + j)} - \frac{1}{\beta^2} \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} \frac{\left(1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})]\right)^{k+j}}{(\eta + k)(\eta + j)},
 \end{aligned} \tag{27}$$

because

$$\begin{aligned}
 \left[\int_{m_{\min}}^{m_{\max}} \left(\frac{1 - \exp[-\beta(t - m_{\min})]}{1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})]} \right)^\eta dt \right]^2 &= \left[\sum_{k=1}^{\infty} \frac{\left(1 - \exp[-\beta(t - m_{\min})]\right)^k}{\eta + k} \right] \left[\sum_{j=1}^{\infty} \frac{\left(1 - \exp[-\beta(t - m_{\min})]\right)^j}{\eta + j} \right] \\
 &= \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} \frac{\left(1 - \exp[-\beta(t - m_{\min})]\right)^{k+j}}{(\eta + k)(\eta + j)}.
 \end{aligned}$$

We must point out that we integrate $[(\exp(\cdot)-1)/(\exp(\cdot)-1)]^\eta$ instead of $[(1-\exp(\cdot))/(1-\exp(\cdot))]^\eta$ because the exponent function $[\cdot]^\eta$ does not exist in the real axes for all $\eta \in \mathbb{R}_+$.

The obtained result (27) is the same as that obtained for positive b (Haarala and Orosco, 2016b), so the KS-3 holds in the interval $-\log(2) \leq \beta(m_{\max} - m_{\min}) < \infty$ just like other KS functions. Because of the series in (27) have an absolute convergence in the open interval $-\log(2) < \beta(m_{\max} - m_{\min}) < \infty$, so we can rearrange those series. Thus, we can calculate the variance as

$$Var(\bar{M}_{(n)}) = \frac{1}{\beta^2} \sum_{k=2}^{\infty} \left\{ \sum_{j=1}^{k-1} \frac{1}{\eta+j} \right\} \frac{2\eta}{2\eta+k} \frac{(1-\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})])^k}{\eta+k} = \frac{1}{\beta^2} f_{\eta}^{KS-3}(\beta(m_{\max} - m_{\min})). \quad (28)$$

We need to check yet the point at $-\log(2)$. Because we know that (Haarala and Orosco, 2016b)

$$Var(\bar{M}_{(n)}) = \frac{1}{\beta^2} \sum_{k=2}^{\infty} \left\{ \sum_{j=1}^{k-1} \frac{1}{n+j} \right\} \frac{2n}{2n+k} \frac{(1-\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})])^k}{n+k} \xrightarrow{\beta(m_{\max} - m_{\min}) \rightarrow \infty} \frac{H_n^{(2)}}{\beta^2} \leq \frac{\pi^2}{6\beta^2}$$

for all $n \in \mathbb{N}$, where $H_n^{(2)} = \sum_{k=1}^n k^{-2}$ is a Harmonic Number of order 2. This shows that the (28) has an absolute convergence at $-\log(2)$, so it converges at the same point. So, the variance (and the KS-3) holds for all $-\log(2) \leq \beta(m_{\max} - m_{\min}) < \infty$.

It is worth noting that a General Harmonic Number of order 2 can be defined as

$$H_{\eta}^{(2)} = \sum_{k=2}^{\infty} \left\{ \sum_{j=1}^{k-1} \frac{1}{\eta+j} \right\} \frac{2\eta}{(2\eta+k)(\eta+k)} = \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{j=1}^{\infty} \frac{\eta+j-k}{(\eta+k)(\eta+j)(\eta+j+k)}.$$

It holds $H_{\eta}^{(2)} = H_n^{(2)}$ for all $\eta = n = 0, 1, 2, \dots$.

Extension for the third Kijko-Sellevoll function

To find extension for the KS-3 in the case $\beta(m_{\max} - m_{\min}) < -\log(2)$, we get

$$Var(M_{(n)}) = -\frac{2}{\beta} \frac{\int_{m_{\min} - \log(2)/\beta}^{m_{\max}} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k (\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{\eta-k}}{\eta-k} d_{\mathfrak{M}}}{[\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1]^\eta} + \frac{2}{\beta} \frac{\int_{m_{\min}}^{m_{\min} - \log(2)/\beta} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k (\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{\eta+k}}{\eta+k} d_{\mathfrak{M}}}{[\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1]^\eta} - \left[\frac{1}{\beta} f_{\eta}^{EKS-1}(\beta(m_{\max} - m_{\min})) \right]^2.$$

We applied the same procedure which resulted in (27) except that here the integral has divided into two parts. The second integral can be got directly (alike the function KS-3)

$$\frac{2}{\beta} \frac{\int_{m_{\min}}^{m_{\min} - \log(2)/\beta} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})])^{\eta+k}}{\eta+k} d\mathfrak{M}}{[\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1]^{\eta}} = \frac{2}{\beta^2} \frac{\sum_{k=2}^{\infty} (-1)^k \left\{ \sum_{j=1}^{k-1} \frac{1}{\eta+j} \right\} \frac{1}{\eta+k}}{[\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1]^{\eta}}.$$

With the first integral, we start with the geometric series

$$\sum_{j=0}^{\infty} (1 - \exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})])^{-j} = \frac{\exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] - 1}{\exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})]} \tag{29}$$

Integrating all terms which has $k \neq \eta$, we find

$$\begin{aligned} & - \int \sum_{\substack{k=0 \\ k \neq \eta}}^{\infty} \frac{(-1)^k (\exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] - 1)^{\eta-k}}{\eta-k} d\mathfrak{M} \\ &= - \int \left\{ \sum_{\substack{k=0 \\ k \neq \eta}}^{\infty} \frac{(-1)^{-k} (\exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] - 1)^{\eta-k}}{\eta-k} \frac{\exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})]}{\exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] - 1} \sum_{j=0}^{\infty} (1 - \exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})])^{-j} \right\} d\mathfrak{M} \\ &= \frac{1}{\beta} \int (-\beta) \exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] \sum_{\substack{k=0 \\ k \neq \eta}}^{\infty} \sum_{j=0}^{\infty} \frac{(-1)^{-k-j} (\exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] - 1)^{\eta-k-j-1}}{\eta-k} d\mathfrak{M} \\ &= \frac{1}{\beta} \sum_{\substack{k=0 \\ k \neq \eta}}^{\infty} \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq \eta-k}}^{\infty} \frac{(-1)^{k+j} (\exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] - 1)^{\eta-k-j}}{(\eta-k)(\eta-k-j)} + C, \end{aligned}$$

where the term $j = \eta - k$ must be calculated as

$$\frac{1}{\beta} \int \frac{(-1)^{\eta} (-\beta) \exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})]}{(\eta-k) (\exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] - 1)} d\mathfrak{M} = \frac{1}{\beta} \frac{(-1)^{\eta} \log(\exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] - 1)}{\eta-k} + C.$$

Thus,

$$\begin{aligned} & \int \frac{(-1)^k (\exp[-\beta(\mathfrak{M} - m_{\min})] - 1)^{-k+\eta}}{k-\eta} d\mathfrak{M} = \\ & \frac{1}{\beta} \sum_{\substack{k=0 \\ k \neq \eta}}^{\infty} \sum_{j=0}^{\infty} \left\langle \frac{(-1)^{k+j} (\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{\eta-k-j}}{(\eta-k)(\eta-k-j)} \middle| \frac{(-1)^{\eta} \log(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)}{\eta-k} \right\rangle_{(j=\eta-k)} + C. \end{aligned}$$

Similar way as before, the variance yields

$$\begin{aligned} \text{Var}(M_{(\eta)}) &= \frac{1}{\beta^2} \left\{ \frac{2 \sum_{k \neq \eta} \sum_{j=0}^{\infty} \left(\frac{(-1)^{k+j} (\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{\eta-k-j}}{(\eta-k)(\eta-k-j)} \left| \frac{(-1)^{\eta} \log(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)}{\eta-k} \right| \right)}{[\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1]^{\eta}} \right\}_{(j=\eta-k)} + 2 \sum_{k=2}^{\infty} (-1)^k \left\{ \sum_{j=1}^{k-1} \frac{1}{\eta+j} \right\} \frac{1}{\eta+k} \left\} - [f_{\eta}^{\text{EKS-3}}(\beta(m_{\max} - m_{\min}))]^2 \\ &= \frac{1}{\beta^2} f_{\eta}^{\text{EKS-3}}(\beta(m_{\max} - m_{\min})) \end{aligned}$$

We call the function $f_{\eta}^{\text{EKS-3}}$ as an Extension for the Kijko-Sellevoll function 3 (EKS-3).

As it can be seen, we did not solve the problem at the discontinuity point $k = \eta$ (or $j \neq \eta - k$ in the case of EKS-3) as we made before. Even the formula of EKS-3 is valid in any neighborhood of k , it will be unstable to calculate numerically when $\eta \approx k$.

Variance for the Uniform distribution

We have proved above, that KS-3 is valid when $-\log(2) \leq \beta(m_{\max} - m_{\min}) < \infty$, so they are valid in the neighborhood of zero. We can apply the (23) in to the (28), so

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\beta^2} \sum_{k=2}^{\infty} \frac{2\eta}{2\eta+k} \left\{ \sum_{j=1}^{k-1} \frac{1}{\eta+j} \right\} \left(\frac{\beta(m_{\max} - m_{\min}) \left\{ 1 + \sum_{j=2}^{\infty} \frac{[-\beta(m_{\max} - m_{\min})]^{j-1}}{j!} \right\}}{\eta+k} \right)^k \\ &= \frac{\eta}{\eta+1} \frac{1}{\eta+1} \frac{(m_{\max} - m_{\min})^2 \left\{ 1 + \sum_{j=2}^{\infty} \frac{[-\beta(m_{\max} - m_{\min})]^{j-1}}{j!} \right\}^2}{\eta+2} \\ & \quad + \sum_{k=3}^{\infty} \frac{2\eta}{2\eta+k} \left\{ \sum_{j=1}^{k-1} \frac{1}{\eta+j} \right\} \frac{\beta^{k-2} \left((m_{\max} - m_{\min}) \left\{ 1 + \sum_{j=2}^{\infty} \frac{[-\beta(m_{\max} - m_{\min})]^{j-1}}{j!} \right\} \right)^k}{\eta+k} \\ & \rightarrow \frac{\eta}{\eta+2} \left(\frac{m_{\max} - m_{\min}}{\eta+1} \right)^2. \end{aligned}$$

This gives $(m_{\max} - m_{\min})^2 / 12$ in the case $\eta = 1$.

6. Some analysis of the GR distributed data

Let assume that $m_{\min} = m_{\max}$. Then the expected value gives

$$E(M_{(\eta)}) = m_{\max} - \int_{m_{\min}}^{m_{\max}} [F_M(x)]^{\eta} dx = m_{\max} = m_{\min}.$$

This trivial result shows that the expected value is constant for all $\eta \in \mathbb{R}_+$.

Symmetrically distributed data (Uniform distribution case)

Let $\eta_1, \eta_2 \in \mathbb{R}_+$ to be fixed. We have now

$$\begin{aligned} m_{\min} &= (\eta_1 + 1)E(\bar{M}_{(\eta_1)}) - \eta_1 m_{\max}, \\ m_{\min} &= (\eta_2 + 1)E(\bar{M}_{(\eta_2)}) - \eta_2 m_{\max}, \end{aligned}$$

thus,

$$\begin{aligned} m_{\max} &= \frac{\eta_1 + 1}{\eta_1 - \eta_2} E(\bar{M}_{(\eta_1)}) - \frac{\eta_2 + 1}{\eta_1 - \eta_2} E(\bar{M}_{(\eta_2)}), \\ m_{\min} &= -\eta_2 \frac{\eta_1 + 1}{\eta_1 - \eta_2} E(\bar{M}_{(\eta_1)}) + \eta_1 \frac{\eta_2 + 1}{\eta_1 - \eta_2} E(\bar{M}_{(\eta_2)}). \end{aligned} \quad (30)$$

Because $m_{\min} \leq m_{\max}$, it indicates

$$\begin{aligned} -\eta_2 \frac{\eta_1 + 1}{\eta_1 - \eta_2} E(\bar{M}_{(\eta_1)}) + \eta_1 \frac{\eta_2 + 1}{\eta_1 - \eta_2} E(\bar{M}_{(\eta_2)}) &\leq \frac{\eta_1 + 1}{\eta_1 - \eta_2} E(\bar{M}_{(\eta_1)}) - \frac{\eta_2 + 1}{\eta_1 - \eta_2} E(\bar{M}_{(\eta_2)}) \\ &\Downarrow \\ E(\bar{M}_{(\eta_2)}) &\leq E(\bar{M}_{(\eta_1)}) \end{aligned}$$

Thus, $\eta_2 \leq \eta_1$ because of the expected value function is increasing.

The formulae (30) shows that if we can find estimators for the expected values $E(\bar{M}_{(\eta_1)})$ and $E(\bar{M}_{(\eta_2)})$, we can calculate the estimates for the m_{\max} and m_{\min} quite simple way. We will give an example in the section 8 how to use the formulae (30).

It is not to be forgotten that all expected values lie between then minimum and maximum as

$$m_{\min} \leq E(\bar{M}_{(\eta)}) = m_{\min} + \frac{\eta}{\eta + 1} (m_{\max} - m_{\min}) \leq m_{\max} \quad (31)$$

for all $\eta \in \mathbb{R}_+$. The limits are $E(\bar{M}_{(0)}) = \lim_{\eta \rightarrow 0^+} E(\bar{M}_{(\eta)}) = m_{\min}$ and $E(\bar{M}_{(\infty)}) = \lim_{\eta \rightarrow \infty} E(\bar{M}_{(\eta)}) = m_{\max}$. If $E(\bar{M}_{(\eta)}) = \infty$ or $E(\bar{M}_{(\eta)}) = -\infty$ for all $\eta \in \mathbb{R}_+$ or $E(\bar{M}_{(\eta_2)}) = -\infty$ and $E(\bar{M}_{(\eta_1)}) = \infty$ of some $\eta_2 < \eta_1$, then the limits are unbounded.

If both expected values $E(\bar{M}_{(\eta_1)})$ and $E(\bar{M}_{(\eta_2)})$ are bounded, the right-hand side in both equations are bounded and the data has bounded limits. We can see also from (30) that if one expected value is bounded and another is unbounded, the limits are unbounded. But if it happens, there

exists only one bounded expected value because other way we can find two bounded expected values showing bounded limits.

We have seen that two bounded expected values at distinct points guaranties bounded limits for the data in case of $\beta = 0$.

We will see next that the maximum estimates of m_{\max} and m_{\min} are bounded in case of the uniform distribution. Suppose that we have n events m_1, m_2, \dots, m_n . Without losing generality, m_n is assumed to be a maximum estimator for $E(\bar{M}_{(n)})$ and $n^{-1} \sum_{k=1}^n m_k$ to be a mean estimator for $E(\bar{M}_{(1)})$. In this case, we have $\eta_1 = n$ and $\eta_2 = 1$. So, we can find from (30)

$$\begin{aligned}\hat{m}_{\max} &= \frac{n+1}{n-1} m_n - \frac{2}{n-1} \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n m_k = m_n + \frac{2}{n} m_n - \frac{2}{n-1} \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n-1} m_k, \\ \hat{m}_{\min} &= -\frac{n+1}{n-1} m_n + n \frac{2}{n-1} \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n m_k = -m_n + \frac{2}{n-1} \sum_{k=1}^{n-1} m_k.\end{aligned}$$

The maximum or minimum could reach when $m_1 = m_2 = \dots = m_{n-1}$. Thus, $\sum_{k=1}^{n-1} m_k = (n-1)m_1$ and

$$\begin{aligned}\hat{m}_{\max} &= m_n + \frac{2}{n}(m_n - m_1), \\ \hat{m}_{\min} &= m_1 - (m_n - m_1).\end{aligned}\tag{32}$$

We can see from here that

$$\begin{aligned}m_{\min} &\leq \hat{m}_{\max} \leq m_{\max} + \frac{2}{n}(m_{\max} - m_{\min}), \\ m_{\min} - (m_{\max} - m_{\min}) &\leq \hat{m}_{\min} \leq m_{\max}.\end{aligned}\tag{33}$$

If all events are equal, $m_1 = m_2 = \dots = m_n$, we can see from (32) that $\hat{m}_{\max} = \hat{m}_{\min}$ indicating that the upper and lower limits are equal. In other words, if $m_{\min} = m_{\max}$ then $E(\bar{M}_{(n)})$ is a constant (this case the distribution function is a delta function).

Asymmetrically distributed data

The case $\beta \neq 0$ is different, because the expected values are bounded also in the unbounded case of maximum as we will see later.

Let's assume that $\beta > 0$. We can use the KS-2 function

$$E(\bar{M}_{(n)}) = m_{\min} + \frac{\eta}{\beta} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})])^k}{k(k + \eta)},$$

where $\eta \in \mathbb{R}_+$. When $\beta(m_{\max} - m_{\min}) = \infty$, we can get

$$m_{\min} = E(\bar{M}_{(\eta)}) - \frac{H_\eta}{\beta}, \tag{34}$$

where $H_\eta = \sum_{k=1}^{\infty} \eta / [k(k + \eta)]$ is a General Harmonic number (Abramowitz and Stegun, 1972; Haarala Orosco, 2016a).

The factor $\beta(m_{\max} - m_{\min})$ is unbounded if β , $m_{\max} - m_{\min}$ or both of them are unbounded. If we assume that β is bounded. The equation (34) shows that the m_{\min} is bounded if and only if the expected value is bounded.

We can write the equation (34) of unbounded case, as

$$E(\bar{M}_{(\eta)}) = m_{\min} + \frac{H_\eta}{\beta}.$$

By reason of $f_\eta^{KS-2}(\beta(m_{\max} - m_{\min})) \geq 0$, when $0 \leq \beta(m_{\max} - m_{\min}) \leq \infty$, then $E(\bar{M}_{(\eta)}) \geq m_{\min}$. Thus, $m_{\min} \leq E(\bar{M}_{(\eta)}) \leq m_{\min} + H_\eta / \beta$ for any fixed $\eta \in \mathbb{R}_+$, no matter if the expected values $E(\bar{M}_{(\eta)})$ are from bounded or unbounded data. If β is unbounded, then $E(\bar{M}_{(\eta)}) = m_{\min}$ for all $\eta \in \mathbb{N}$.

The same can also be shown when $\beta < 0$. Again, the factor $\beta(m_{\max} - m_{\min})$ is unbounded if β , $m_{\max} - m_{\min}$ or both of them are unbounded. In that case we will use the EKS-1 function because $\beta(m_{\max} - m_{\min}) \ll -\log(2)$. To find the limit in the unbounded case, we have

$$\begin{aligned} E(\bar{M}_{(\eta)}) &= m_{\max} - \frac{1}{\beta} \frac{\sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k}{k + \eta} + \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k \left[(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-k + \eta} - 1 \right]}{k - \eta}}{(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^\eta} \\ &= m_{\max} - \frac{1}{\beta} \left\{ (\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-\eta} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k}{k + \eta} \right. \\ &\quad \left. + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k \left[(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-k} - (\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-\eta} \right]}{k - \eta} \right. \\ &\quad \left. + \frac{\left[1 - (\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-\eta} \right]}{-\eta} \right\}. \end{aligned}$$

When $\beta(m_{\max} - m_{\min}) \rightarrow -\infty$, then $(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-\eta} \rightarrow 0$, $(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-k} \rightarrow 0$ and we get the expected value

$$E(\bar{M}_{(\eta)}) = m_{\max} + \frac{1}{\beta\eta} \tag{35}$$

and the maximum

$$m_{\max} = E\left(\bar{M}_{(\eta)}\right) - \frac{1}{\beta\eta}.$$

Similar way than before, m_{\max} is bounded if and only if the expected value is bounded. Moreover, all the expected values from bounded or unbounded data are bounded because $m_{\max} + 1/(\beta\eta) \leq E\left(\bar{M}_{(\eta)}\right) \leq m_{\max}$ for fixed $\eta \in \mathbb{R}_+$. If β is unbounded, then $E\left(\bar{M}_{(\eta)}\right) = m_{\max}$ for all $\eta \in \mathbb{R}_+$.

The analysis above sounds quite theoretical. But we showed that if we have two distinct bounded estimators, $-\infty < \hat{m}_{(\eta_2)} \neq \hat{m}_{(\eta_1)} < \infty, \eta_2 < \eta_1$, then the β is bounded and at least one of the limits m_{\min} or m_{\max} is bounded. This means that at most the maximum m_{\max} can be unbounded in the earthquake catalogue, where $\beta > 0$, and the minimum is bounded.

As we saw above, the expected values are bounded even the data is bounded or unbounded. This makes so difficult to estimate bounded m_{\max} . The recurrence formula gives one idea to show, if data is unbounded. It can find from the Appendix A.

The equation (34) can be written in the classical form

$$\beta = \frac{H_{\eta}}{E\left(\bar{M}_{(\eta)}\right) - m_{\min}}.$$

Owing to $E\left(\bar{M}_{(\eta)}\right) - m_{\min} > 0$ always, it implies the $\beta > 0$ for all $\eta \in \mathbb{R}_+$. This means, if data comes from unbounded system, that the b -value is always positive. It cannot get negative values. Similar way, the equation (35) gives

$$\beta = -\frac{1}{\eta\left(m_{\max} - E\left(\bar{M}_{(\eta)}\right)\right)}.$$

Because of $m_{\max} - E\left(\bar{M}_{(\eta)}\right) > 0$, then $\beta < 0$ for all $\eta \in \mathbb{R}_+$.

We have shown above that the b -value do not change the sign if the data is unbounded. It means that getting positive and negative b -values within generalized estimators, is possible only in the case of bounded data and enough big η as we could see in figure 1.

Similar way as in the Uniform distribution case, we can create the new estimators. Let's consider the case $\beta > 0$. If $\eta_1, \eta_2 \in \mathbb{R}_+$, then

$$\beta = \frac{H_{\eta_1}}{E\left(\bar{M}_{(\eta_1)}\right) - m_{\min}}, \quad \beta = \frac{H_{\eta_2}}{E\left(\bar{M}_{(\eta_2)}\right) - m_{\min}},$$

gives

$$m_{\min} = \frac{H_{\eta_2} E\left(\bar{M}_{(\eta_1)}\right) - H_{\eta_1} E\left(\bar{M}_{(\eta_2)}\right)}{H_{\eta_2} - H_{\eta_1}}, \quad \beta = \frac{H_{\eta_2} - H_{\eta_1}}{E\left(\bar{M}_{(\eta_2)}\right) - E\left(\bar{M}_{(\eta_1)}\right)}.$$

This also shows that m_{\min} and β are bounded and we can calculate them if there exist two different and bounded expected values.

In the case of $\beta < 0$, $\eta_1, \eta_2 \in \mathbb{R}_+$, we have

$$\beta = -\frac{1}{\eta_1 \left(m_{\max} - E(\bar{M}_{(\eta_1)}) \right)}, \quad \beta = -\frac{1}{\eta_2 \left(m_{\max} - E(\bar{M}_{(\eta_2)}) \right)}.$$

Thus,

$$m_{\max} = \frac{\eta_2 E(\bar{M}_{(\eta_2)}) - \eta_1 E(\bar{M}_{(\eta_1)})}{\eta_2 - \eta_1}, \quad \beta = -\frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_1 \eta_2 \left(E(\bar{M}_{(\eta_2)}) - E(\bar{M}_{(\eta_1)}) \right)}.$$

In this case, m_{\min} and β are bounded and possible to evaluate with two different and bounded expected values.

7. Expected value for the minimum

We will change the variable setting $\mathfrak{M} = -x + (m_{\max} + m_{\min})$, when $x_{\min} = m_{\max}$ and $x_{\max} = m_{\min}$. It implies that we flip the axes in such a way that the minimum will be the new maximum and the maximum will be the new minimum. Then the integral yields

$$\begin{aligned} & \int_{m_{\min}}^{m_{\max}} \left(\frac{1 - \exp[-(-\beta)(\mathfrak{M} - m_{\min})]}{1 - \exp[-(-\beta)(m_{\max} - m_{\min})]} \right)^\eta d\mathfrak{M} \\ &= - \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} \left(\frac{1 - \exp[\beta(m_{\max} - x)]}{1 - \exp[\beta(m_{\max} - m_{\min})]} \right)^\eta dx \\ &= - \int_{m_{\max}}^{m_{\min}} \left(\frac{\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1 + 1 - \exp[-\beta(x - m_{\min})]}{\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1} \right)^\eta dx \quad (36) \\ &= \int_{m_{\min}}^{m_{\max}} \left(1 - \frac{1 - \exp[-\beta(x - m_{\min})]}{1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})]} \right)^\eta dx \\ &= \int_{m_{\min}}^{m_{\max}} [1 - F_M(m)]^\eta dm. \end{aligned}$$

The KS-1 gives the minimum for $-\beta$. Having the expected value for the minimum, we have

$$\begin{aligned} E\left(\underline{M}_{(\eta)} \mid \beta\right) &= \int_{m_{\min}}^{m_{\max}} m d\left(1 - [1 - F_M(m)]^n\right) \\ &= m_{\max} - \int_{m_{\min}}^{m_{\max}} [1 - F_M(m)]^n dm \\ &= m_{\min} + \int_{m_{\min}}^{m_{\max}} [1 - F_M(m)]^n dm \\ &= m_{\min} + \frac{1}{-\beta} \int_{\eta}^{KS-1} (-\beta(m_{\max} - m_{\min})) \end{aligned}$$

Taking into account that if $\beta(m_{\max} - m_{\min}) > \log(2)$, the KS-1 must be replaced by EKS-1. We see that the KS-1 function does not measure only the distance from the m_{\max} to the expected value for the maximum, it is also a measure from the m_{\min} to the expected value for the minimum with negative β .

We can see something more with these equations. Using (36), the expected value for the maximum can be considered as

$$\begin{aligned} E\left(\bar{M}_{(\eta)} \mid \beta\right) &= m_{\max} - \int_{m_{\min}}^{m_{\max}} [F_M(m \mid \beta)]^n dm \\ &= m_{\max} - \int_{m_{\min}}^{m_{\max}} [1 - F_M(m \mid -\beta)]^n dm \\ &= E\left(\underline{M}_{(\eta)} \mid -\beta\right). \end{aligned}$$

In other words, the expected value curve for the maximum in the case of the positive β is equal than the expected value curve for the minimum in the case of negative β .

We saw that

$$\begin{aligned} E\left(\bar{M}_{(\eta)} \mid \beta\right) &= m_{\max} - \frac{1}{\beta} \int_{\eta}^{KS-1} (\beta(m_{\max} - m_{\min})), \\ E\left(\bar{M}_{(\eta)} \mid -\beta\right) &= m_{\min} + \frac{1}{-\beta} \int_{\eta}^{KS-1} (-\beta(m_{\max} - m_{\min})) = E\left(\underline{M}_{(\eta)} \mid \beta\right). \end{aligned}$$

These equations give straightforwardly

$$E\left(\underline{M}_{(\eta)} \mid \beta\right) = m_{\min} + \left(m_{\max} - E\left(\bar{M}_{(\eta)} \mid -\beta\right)\right). \quad (37)$$

This symmetry is easy to understand from Figure 3.

8. Examples

Figure 5 shows the behavior of the expected value curve with different b -values. All the curves start from the minimum the lower the value of b , the faster it reaches the maximum value.

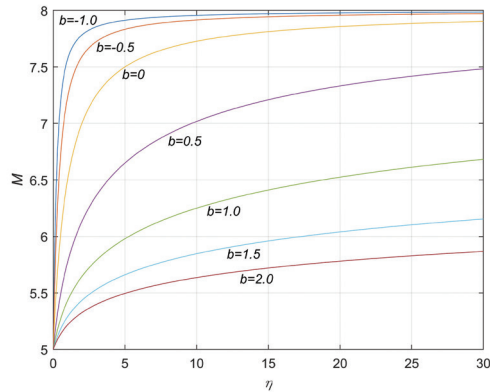


Figure 5. The expected value curves $E(\bar{M}_{(\eta)})$

Figure 6 shows how the minimum and maximum follows the expected value curve in case of $b=0.5$. The green and red lines present the expected values curves for minimum and maximum, respectively. The expected value curve for minimum is calculated by (37). The blue lines are acquired from the catalogues of the random samples. Each catalogue size η has generated a sample of 100 events, where the mean of maximums and mean of minimums are calculated from.

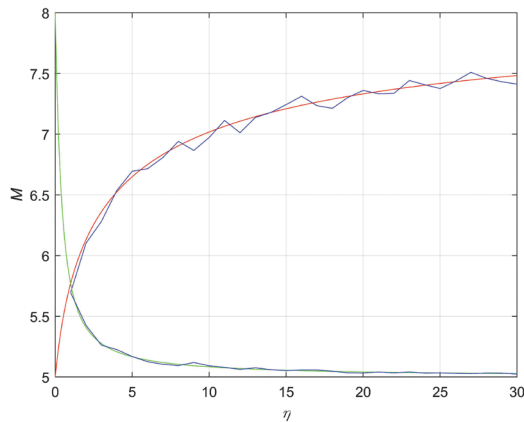


Figure 6. Mean of minimum and maximum for sample size 100 and $b=0.5$

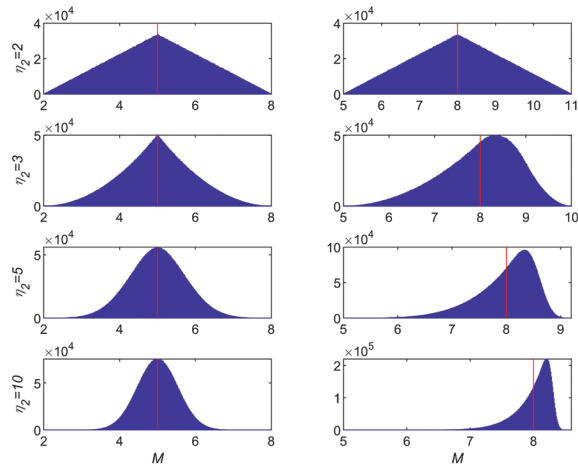


Figure 7. Distribution for minimum and maximum estimators in case of $b=0$

By comparison between Figures 5 and 6 we realize that the curves $E(\underline{M}_{(\eta)} | 0.5)$ and $E(\overline{M}_{(\eta)} | -0.5)$ are mirror images at the point $M = 6.5$.

Figure 7 shows some examples of the distribution for the maximum and minimum estimators m_{\max} and m_{\min} at (30), where we set

$$\hat{E}(\overline{M}_{(\eta_1)}) = \max_{1 \leq k \leq \eta} (m_k),$$

$$\hat{E}(\overline{M}_{(\eta_2)}) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{\eta} m_k.$$

The first is a maximum estimator and the second is a mean estimator. The left column of figures presents the distribution of the minimum estimators for cases of the catalogue size 2, 3, 5 and 10. Similar way, the right column of figures presents the distribution of the maximum estimators for cases of the catalogue size 2, 3, 5 and 10. The mount of catalogues in the sample are 10^7 . The minimum, maximum, mean and the median for the sample of the minimum estimator are

$$\eta = 2: \begin{cases} \min(m_k) = 2.0005 \\ \max(m_k) = 7.9991 \\ \text{mean}(m_k) = 5.0005 \\ \text{median}(m_k) = 5.0008 \end{cases} \quad \eta = 3: \begin{cases} \min(m_k) = 2.0203 \\ \max(m_k) = 7.9749 \\ \text{mean}(m_k) = 4.9997 \\ \text{median}(m_k) = 4.9997 \end{cases}$$

$$\eta = 5: \begin{cases} \min(m_k) = 2.1411 \\ \max(m_k) = 7.8534 \\ \text{mean}(m_k) = 5.0000 \\ \text{median}(m_k) = 4.9999 \end{cases} \quad \eta = 10: \begin{cases} \min(m_k) = 2.4268 \\ \max(m_k) = 7.4739 \\ \text{mean}(m_k) = 5.0001 \\ \text{median}(m_k) = 5.0002 \end{cases}$$

The same statistic for the maximum estimators gives

$$\eta = 2 : \begin{cases} \min(m_k) = 5.0013 \\ \max(m_k) = 10.9995 \\ \text{mean}(m_k) = 7.9999 \\ \text{median}(m_k) = 8.0000 \end{cases} \quad \eta = 3 : \begin{cases} \min(m_k) = 5.0040 \\ \max(m_k) = 9.9890 \\ \text{mean}(m_k) = 7.9998 \\ \text{median}(m_k) = 8.1077 \end{cases}$$

$$\eta = 5 : \begin{cases} \min(m_k) = 5.1414 \\ \max(m_k) = 9.1539 \\ \text{mean}(m_k) = 8.0000 \\ \text{median}(m_k) = 8.1121 \end{cases} \quad \eta = 10 : \begin{cases} \min(m_k) = 5.7128 \\ \max(m_k) = 8.5374 \\ \text{mean}(m_k) = 7.9999 \\ \text{median}(m_k) = 8.0737 \end{cases}$$

We can see that the mean value gives the unbiased estimate for the maximum and minimum. In case on the minimum estimator, the median gives also unbiased estimate for the minimum because the distribution is symmetric. Moreover, the distributions are bounded with the limits (33).

9. Conclusion

We have given a general definition for the Gutenberg-Richter distribution function and the new series in the case of negative b -value. Moreover, we showed that if we have two bounded estimates for the expected values, then β is bounded and at least one of limits, m_{\min} or m_{\max} , is bounded. We showed some results which gives the relation between positive and negative β . This work gives more perspective to understand the behavior of the Gutenberg-Richter distributed data.

References

- Abramowitz, M., and I. A. Stegun (1972). «Handbook of mathematical functions», 10th ed., Dover Publ., New York.
- Haarala, M. and L. Orosco (2016a). Analysis of Gutenberg-Richter b -value and m_{\max} . Part I: Exact solution of Kijko-Sellevoll estimator m_{\max} , *Cuadernos de Ingeniería. Nueva Serie*, (9), 51-78. <http://revistas.ucasal.edu.ar/index.php/CI/article/view/145>
- Haarala, M. and L. Orosco (2016b). Analysis of Gutenberg-Richter b -value and m_{\max} . Part II: Estimators for b -value and exact variance, *Cuadernos de Ingeniería. Nueva Serie*, (9), 79-106. <http://revistas.ucasal.edu.ar/index.php/CI/article/view/146>
- Haarala, M. and L. Orosco (2019). Generalized proofs of the Kijko-Sellevoll functions, *Cuadernos de Ingeniería. Nueva Serie*, (11), 55-66. <http://revistas.ucasal.edu.ar/index.php/CI/article/view/262>

Appendix A

Reflection

In this section, we assume that $\eta \in \mathbb{R}_+ \setminus \mathbb{N}$. Let start with formula (18)

$$f_{\eta}^{EKS^{-1}}(\beta(m_{\max} - m_{\min})) = (\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-\eta} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k}{k + \eta} + \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k \left[(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-k} - (\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-\eta} \right]}{k - \eta}. \quad (38)$$

where $\infty < \beta(m_{\max} - m_{\min}) < -\log(2)$. It yields

$$\begin{aligned} & \frac{\sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k}{k + \eta} + \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k \left[(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-k + \eta} - 1 \right]}{k - \eta}}{(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{\eta}} \\ &= \frac{\sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k}{k + \eta} - \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k}{k - \eta} + \frac{1}{\eta} + (\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{\eta} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k (\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-k}}{k - \eta}}{(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{\eta}} \\ &= \frac{\frac{1}{\eta} - 2\eta \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k}{(k + \eta)(k - \eta)}}{(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{\eta}} - \frac{1}{\eta} + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})])^{-k}}{k - \eta}. \end{aligned}$$

Using the cosine series (Abramowitz and Stegun, 1972)

$$\csc(z) = \frac{1}{z} + 2z \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k}{z^2 - k^2 \pi^2}, \quad z \neq k\pi, \quad k \in \mathbb{Z}, \quad (39)$$

we get

$$\frac{1}{\eta} - 2\eta \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k}{k^2 - \eta^2} = \frac{\pi}{\pi\eta} + \pi 2(\pi\eta) \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k}{(\pi\eta)^2 - k^2 \pi^2} = \pi \csc(\pi\eta). \quad (40)$$

If we set

$$1 - \exp[-x] = (1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})])^{-1},$$

we find

$$x = -\log\left(1 - \frac{1}{1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})]}\right).$$

Now, when $-\infty < \beta(m_{\max} - m_{\min}) < -\log(2)$, then it is $-\log(2) < x < 0$ and we find

$$f_{-\eta}^{KS-1}(x) = f_{-\eta}^{KS-1}\left(-\log\left(1 - \frac{1}{1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})]}\right)\right) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})])^{-k}}{k - \eta}. \quad (41)$$

This shows that we could use the KS function also for the negative exponent. The results (40) and (41) let us to write (38) as

$$f_{\eta}^{EKS-1}(\beta(m_{\max} - m_{\min})) = \frac{\pi \csc(\pi\eta)}{(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{\eta}} - \frac{1}{\eta} + f_{-\eta}^{KS-1}\left(-\log\left(1 - \frac{1}{1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})]}\right)\right).$$

Similarly, we can find the reflection formulae for the KS functions. For the KS-1 is

$$\begin{aligned} f_{-\eta}^{KS-1}(\beta(m_{\max} - m_{\min})) - f_{\eta}^{KS-1}(\beta(m_{\max} - m_{\min})) &= \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})])^k}{k - \eta} - \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})])^k}{k + \eta} \\ &= 2\eta \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})])^k}{(k - \eta)(k + \eta)} \\ &= \frac{1}{\eta} - \frac{\pi}{\pi\eta} - \pi 2(\pi\eta) \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})])^k}{(\pi\eta)^2 - k^2 \pi^2} \\ &= \frac{1}{\eta} - \pi \widetilde{\csc}_{\beta(m_{\max} - m_{\min})}(\pi\eta), \end{aligned} \quad (42)$$

where $\widetilde{\csc}_x(z)$ is called as a Generalized Cosine function (GC). The GC has the limits

$$\begin{aligned} \widetilde{\csc}_{-\log(2)}(z) &= \csc(z), \\ \widetilde{\csc}_{\infty}(z) &= \cot(z), \end{aligned}$$

because of (39) and (Abramowitz and Stegun, 1972)

$$\cot(z) = \frac{1}{z} + 2z \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{z^2 - k^2 \pi^2}, \quad z \neq k\pi, k \in \mathbb{Z}.$$

Hence, we can write

$$\begin{aligned} f_{\eta}^{EKS-1}(\beta(m_{\max} - m_{\min})) &= f_{\eta}^{KS-1} \left(-\log \left(1 - \frac{1}{1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})]} \right) \right) \\ &+ \frac{\pi \csc(\pi\eta)}{(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{\eta}} - \widetilde{\pi \csc}_{\beta(m_{\max} - m_{\min})}(\pi\eta). \end{aligned} \quad (43)$$

This is a reflection formula between EKS-1 and KS-1 functions. Moreover, because the EKS-1 and KS-1 are continuous functions, the subtraction

$$\frac{\pi \csc(\pi\eta)}{(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{\eta}} - \widetilde{\pi \csc}_{\beta(m_{\max} - m_{\min})}(\pi\eta)$$

is bounded at the discontinuous points.

In a similar way as above, we can get the reflection formula for the KS-2 from (42) as

$$\begin{aligned} f_{-\eta}^{KS-1}(\beta(m_{\max} - m_{\min})) - f_{\eta}^{KS-1}(\beta(m_{\max} - m_{\min})) \\ &= -f_{-\eta}^{KS-2}(\beta(m_{\max} - m_{\min})) + f_{\eta}^{KS-2}(\beta(m_{\max} - m_{\min})) \\ &= \frac{1}{\eta} - \widetilde{\pi \csc}_{\beta(m_{\max} - m_{\min})}(\pi\eta). \end{aligned} \quad (44)$$

Because

$$f_{\eta}^{KS-2}(\infty) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\eta}{k(k+\eta)} = \psi(1+\eta) + \gamma = H_{\eta},$$

where γ is a Euler constant and H_{η} is a General Harmonic number, the relation (44) gives a reflection formula of the Psi function (Abramowitz and Stegun, 1972)

$$\begin{aligned} \psi(1-\eta) &= \psi(1+\eta) - \frac{1}{\eta} + \pi \cot(\pi\eta) \\ &= \psi(\eta) + \pi \cot(\pi\eta). \end{aligned}$$

These reflection formulae (42)-(44) are not so nice in numerical calculus, even though they are possible to use. They become unstable in the neighborhood of the discontinuous point and we found that the formula (38) is quite powerful in the calculus having only one discontinuity point at $k = \eta$, which we do not need to consider in the case of $\eta > 20$.

Recurrence

The recurrence formula for the KS-1 function can be attained as

$$\begin{aligned} f_{\eta}^{KS-1}(\beta(m_{\max} - m_{\min})) &= \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})])^k}{k + \eta} \\ &= \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})])^k}{k + \eta} - \frac{1}{\eta} \\ &= \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})])^{k-1}}{k + \eta - 1} - \frac{1}{\eta} \\ &= \frac{f_{\eta-1}^{KS-1}(\beta(m_{\max} - m_{\min}))}{1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})]} - \frac{1}{\eta}. \end{aligned}$$

or we can write it as

$$f_{\eta-1}^{KS-1}(\beta(m_{\max} - m_{\min})) = (1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})]) \left\{ f_{\eta}^{KS-1}(\beta(m_{\max} - m_{\min})) + \frac{1}{\eta} \right\}. \quad (45)$$

For the KS-2 function, the recurrence formula can be found as

$$\begin{aligned} f_{\eta}^{KS-2}(\beta(m_{\max} - m_{\min})) &= \beta(m_{\max} - m_{\min}) - f_{\eta}^{KS-1}(\beta(m_{\max} - m_{\min})) \\ &= \beta(m_{\max} - m_{\min}) - \frac{f_{\eta-1}^{KS-1}(\beta(m_{\max} - m_{\min}))}{1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})]} + \frac{1}{\eta} \\ &= \beta(m_{\max} - m_{\min}) - \frac{\beta(m_{\max} - m_{\min}) - f_{\eta-1}^{KS-2}(\beta(m_{\max} - m_{\min}))}{1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})]} + \frac{1}{\eta} \\ &= -\frac{\beta(m_{\max} - m_{\min}) \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})]}{1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})]} + \frac{f_{\eta-1}^{KS-2}(\beta(m_{\max} - m_{\min}))}{1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})]} + \frac{1}{\eta}. \end{aligned}$$

This gives the recurrence formula for the Psi function (and General Harmonic number)

$$\begin{aligned} f_{\eta}^{KS-2}(\infty) = f_{\eta-1}^{KS-2}(\infty) + \frac{1}{\eta} &\Leftrightarrow H_{\eta} = H_{\eta-1} + \frac{1}{\eta} \\ &\Leftrightarrow \psi(1 + \eta) = \psi(\eta) + \frac{1}{\eta}. \end{aligned}$$

The recurrence formula (45) gives an interesting result for the maximum. Let's assume that $\beta > 0$. The formula (45) can be written now as

$$\beta(m_{\max} - E(\bar{M}_{(\eta-1)})) = (1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})]) \left\{ \beta(m_{\max} - E(\bar{M}_{(\eta)})) + \frac{1}{\eta} \right\}$$

or another way as

$$\frac{\beta(m_{\max} - E(\bar{M}_{(\eta-1)}))}{\beta(m_{\max} - E(\bar{M}_{(\eta)})) + \frac{1}{\eta}} = 1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})]. \quad (46)$$

In the same way we have

$$\frac{\beta(m_{\max} - E(\bar{M}_{(\eta)}))}{\beta(m_{\max} - E(\bar{M}_{(\eta+1)})) + \frac{1}{\eta+1}} = 1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})]. \quad (47)$$

We see from (46) and (47), that

$$\frac{\beta(m_{\max} - E(\bar{M}_{(\eta-1)}))}{\beta(m_{\max} - E(\bar{M}_{(\eta)})) + \frac{1}{\eta}} = \frac{\beta(m_{\max} - E(\bar{M}_{(\eta)}))}{\beta(m_{\max} - E(\bar{M}_{(\eta+1)})) + \frac{1}{\eta+1}}.$$

From this, we can find the maximum

$$m_{\max} = \frac{\eta E(\bar{M}_{(\eta-1)}) [\beta(\eta+1) E(\bar{M}_{(\eta+1)}) - 1] - (\eta+1) E(\bar{M}_{(\eta)}) [\beta\eta E(\bar{M}_{(\eta)}) - 1]}{1 + \beta\eta(\eta+1) (E(\bar{M}_{(\eta-1)}) - 2E(\bar{M}_{(\eta)}) + E(\bar{M}_{(\eta+1)}))}$$

If all expected values $E(\bar{M}_{(\eta-1)})$, $E(\bar{M}_{(\eta)})$ and $E(\bar{M}_{(\eta+1)})$ are bounded and the denominator is non-zero, the right-hand side is bounded showing that the m_{\max} is bounded. This gives a condition

$$E(\bar{M}_{(\eta)}) \neq \frac{E(\bar{M}_{(\eta-1)}) + E(\bar{M}_{(\eta+1)})}{2} + \frac{1}{2\beta\eta(\eta+1)}$$

for the bounded data. Thus, the upper bound of the data depends on the shape of the expected value curve $E(\bar{M}_{(\eta)})$, $\eta \in \mathbb{R}_+$.

Proof for the equation (19)

Let's assume that $n \in \mathbb{N}$. Then (38) can be written as

$$f_n^{EKS-1}(\beta(m_{\max} - m_{\min})) = (\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-n} \times \left\{ \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k}{k+n} + \sum_{\substack{k=0 \\ k \neq n}}^{\infty} \frac{(-1)^k \left[(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-k+n} - 1 \right]}{k-n} - (-1)^n \log(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1) \right\}. \tag{48}$$

We can see that

$$\begin{aligned} & \sum_{\substack{k=0 \\ k \neq n}}^{\infty} \frac{(-1)^k \left[(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-k+n} - 1 \right]}{k-n} \\ &= \sum_{k=0}^{n-1} \frac{(-1)^k (\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-(k-n)}}{k-n} + \sum_{k=0}^{n-1} \frac{(-1)^k}{-k+n} \\ & \quad + (-1)^n \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k (\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-k}}{k} - (-1)^n \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k}{k}. \end{aligned}$$

Firstly, we have

$$\sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k}{k+n} + \sum_{k=0}^{n-1} \frac{(-1)^k}{-k+n} = \sum_{k=n+1}^{\infty} \frac{(-1)^{k-n}}{k} + \sum_{k=1}^n \frac{(-1)^{k-n}}{k} = (-1)^n \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k}{k}.$$

Secondly, we get

$$\begin{aligned} (-1)^n \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k (\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1)^{-k}}{k} &= (-1)^n \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})])^{-k}}{k} \\ &= -(-1)^n \log \left(1 - \frac{1}{1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})]} \right) \\ &= -(-1)^n \log \left(\frac{\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})]}{\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1} \right) \\ &= (-1)^n \beta(m_{\max} - m_{\min}) + (-1)^n \log(\exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})] - 1). \end{aligned}$$

Thirdly, we can rewrite the partial sum as

$$\begin{aligned} \sum_{k=0}^{n-1} \frac{(-1)^k (\exp[-\beta(m_{\max}-m_{\min})]-1)^{-(k-n)}}{k-n} &= -\sum_{k=1}^n \frac{(-1)^{n-k} (\exp[-\beta(m_{\max}-m_{\min})]-1)^k}{k} \\ &= -(-1)^n \sum_{k=1}^n \frac{(1-\exp[-\beta(m_{\max}-m_{\min})])^k}{k}. \end{aligned}$$

Now, (48) yields

$$\begin{aligned} f_n^{EKS-1}(\beta(m_{\max}-m_{\min})) &= \frac{(-1)^n \beta(m_{\max}-m_{\min}) - (-1)^n \sum_{k=1}^n \frac{(1-\exp[-\beta(m_{\max}-m_{\min})])^k}{k}}{(\exp[-\beta(m_{\max}-m_{\min})]-1)^n} \\ &= \frac{\beta(m_{\max}-m_{\min}) - \sum_{k=1}^n \frac{(1-\exp[-\beta(m_{\max}-m_{\min})])^k}{k}}{(1-\exp[-\beta(m_{\max}-m_{\min})])^n}, \end{aligned}$$

which was to proof.

Appendix B

We will show here an alternative way to solve the integral of the expected value for negative b . First of all, it is to change the variable as $\mathfrak{m} = -x$. It means that we flip the negative numbers to positive part and vice versa. The integral gives

$$\begin{aligned} \int_{m_{\min}}^{m_{\max}} \left(\frac{1-\exp[-\beta(\mathfrak{m}-m_{\min})]}{1-\exp[-\beta(m_{\max}-m_{\min})]} \right)^\eta d\mathfrak{m} &= -\int_{-m_{\min}}^{-m_{\max}} \left(\frac{1-\exp[\beta(x-(-m_{\min}))]}{1-\exp[\beta((-m_{\max})-(-m_{\min}))]} \right)^\eta dx \\ &= \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} \left(\frac{1-\exp[-\beta(x_{\max}-x)]}{1-\exp[-\beta(x_{\max}-x_{\min})]} \right)^\eta dx \\ &= \dots \end{aligned}$$

where $x_{\min} = -m_{\max}$ and $x_{\max} = -m_{\min}$. It means that $x_{\min} < x_{\max}$, because $m_{\min} < m_{\max}$. Multiplying the denominator and numerator by $\exp[\beta(x_{\max}-x_{\min})]$, we have

$$\begin{aligned} \dots &= \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} \left(\frac{\exp[\beta(x_{\max}-x_{\min})] - \exp[\beta(x-x_{\min})]}{\exp[\beta(x_{\max}-x_{\min})] - 1} \right)^\eta dx \\ &= \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} \left(\frac{\exp[\beta(x_{\max}-x_{\min})] - 1 + 1 - \exp[\beta(x-x_{\min})]}{\exp[\beta(x_{\max}-x_{\min})] - 1} \right)^\eta dx \\ &= \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} \left(1 - \frac{1 - \exp[\beta(x-x_{\min})]}{1 - \exp[\beta(x_{\max}-x_{\min})]} \right)^\eta dx. \end{aligned}$$

Because $\beta < 0$, it is

$$-1 < -\frac{1 - \exp[\beta(x - x_{\min})]}{1 - \exp[\beta(x_{\max} - x_{\min})]} \leq 0$$

when $-\infty < \beta(x_{\max} - x_{\min}) < \beta(x - x_{\min}) \leq 0$. Of course, this gives -1 at x_{\max} , but we do not consider it because the integral is the same, if we integrate over $[m_{\min}, m_{\max}]$ or $[x_{\min}, x_{\max}]$. We can apply now the Binomial Series (Abramowitz and Stegun, 1972) as

$$\begin{aligned} \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} \left(1 - \frac{1 - \exp[\beta(x - x_{\min})]}{1 - \exp[\beta(x_{\max} - x_{\min})]} \right)^\eta dx &= \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} \left\{ \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k \binom{\eta}{k} \left(\frac{1 - \exp[\beta(x - x_{\min})]}{1 - \exp[\beta(x_{\max} - x_{\min})]} \right)^k \right\} dx \\ &= \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k \binom{\eta}{k} \left\{ \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} \left(\frac{1 - \exp[-(-\beta)(x - x_{\min})]}{1 - \exp[-(-\beta)(x_{\max} - x_{\min})]} \right)^k dx \right\} \quad (49) \\ &= -\frac{1}{\beta} \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k \binom{\eta}{k} f_k^{KS-1}(-\beta(x_{\max} - x_{\min})), \end{aligned}$$

where

$$\binom{\eta}{0} = 1, \quad \binom{\eta}{k} = \frac{\eta(\eta-1)(\eta-2)\cdots(\eta-k+1)}{k!}$$

and $f_0^{KS-1}(-\beta(x_{\max} - x_{\min})) = -\beta(x_{\max} - x_{\min})$. This is true, since

$$\int_{x_{\min}}^{x_{\max}} \left(\frac{1 - \exp[\beta(x - x_{\min})]}{1 - \exp[\beta(x_{\max} - x_{\min})]} \right)^0 dx = x_{\max} - x_{\min},$$

but also because of

$$\begin{aligned} -\frac{1}{\beta} f_0^{KS-1}(-\beta(x_{\max} - x_{\min})) &= -\frac{1}{\beta} \lim_{\eta \rightarrow 0^+} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \exp[\beta(x_{\max} - x_{\min})])^k}{k + \eta} \\ &= -\frac{1}{\beta} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(1 - \exp[\beta(x_{\max} - x_{\min})])^k}{k} \\ &= \frac{1}{\beta} \log(1 - (1 - \exp[\beta(x_{\max} - x_{\min})])) \\ &= x_{\max} - x_{\min}. \end{aligned}$$

The terms of the alternating series (49) are all positive term series of KS-1 functions, because of we have $\beta(x_{\max} - x_{\min}) \leq 0$. If we consider that $x_{\max} - x_{\min} = m_{\max} - m_{\min}$, we can write the final result as

$$\int_{m_{\min}}^{m_{\max}} \left(\frac{1 - \exp[-\beta(m - m_{\min})]}{1 - \exp[-\beta(m_{\max} - m_{\min})]} \right)^\eta d m = -\frac{1}{\beta} \sum_{k=0}^{\infty} (-1)^k \binom{\eta}{k} f_k^{KS-1}(-\beta(m_{\max} - m_{\min})). \quad (50)$$

It is interesting to see that we could carry the calculus from negative side to positive side. Anyway, this series is not so desirable because the magnitude of the binomial factor (49) increases quickly, and then decreases quickly, especially when η is big. Anyway, this relation (50) can be used only for small η because of the behavior of the binomial factor, but also because of the time to solve each KS function.

This kind of behavior of the factors is a problem. The binomial factor produces an overflow in the double precision system when η becomes big, for example,

$$\binom{1030}{515} > 1.798E+308 \quad (= \text{maximum value in double precision})$$

meanwhile,

$$\binom{1030}{0} = \binom{1030}{1030} = 1.$$

Mika Haarala Orosco

Mika Haarala Orosco

Consultor. Salta. Argentina

Mika Haarala: MSc. in Mathematics, University of Joensuu (Finland). Researcher in Statistics, Applied Mathematics. Member of Seismic Risk Group of Interdisciplinary Studies in Engineering Institute (I.Es.I.Eng).

Correo electrónico: mika.haaralaorosco@gmail.com

Modelo de sistema UWB-OFDM para la detección del cáncer de mama

UWB-OFDM system model for breast cancer detection

Juan Pablo Rivelli Malcó¹, David Zabala Blanco²

*Ingeniería en Telecomunicaciones/
artículo científico*

Citar: Rivelli Malcó, J. P. y Zabala Blanco, D. (2021). Modelo de sistema UWB-OFDM para la detección de cáncer de mama. Cuadernos de Ingeniería (13). Recuperado de: <http://revistas.ucasal.edu.ar>

Recibido: octubre/2021

Aceptado: diciembre/2021

Resumen

Las telecomunicaciones actualmente proveen soluciones en múltiples ámbitos y constituyen una de las bases que impulsan a la evolución de la sociedad, pues aportan nuevas tecnologías y permiten que se encuentren nuevas soluciones a problemáticas sociales en general. Este trabajo propone un sistema de comunicaciones que encuentra su aplicación en el diagnóstico por imágenes médicas, siendo el objetivo del sistema lograr la detección de anomalías en las mamas con un alto nivel de precisión, permitiendo así que se elaboren diagnósticos en etapas tempranas de un potencial cáncer de mamas.

El sistema es modelado de forma teórica y simulado con la ayuda de cálculos computacionales brindados por la herramienta de programación Matlab®. La solución reúne características de diferentes tecnologías y estándares que fueron combinados para modelar un sistema eficiente que cumpla con los requerimientos y funciones necesarios para constituir una propuesta factible y viable para su futura implementación.

La principal contribución de este trabajo se aprecia en los resultados experimentales numéricos, obtenidos mediante la aplicación del método de diferencias finitas en el dominio del tiempo (FDTD, por sus siglas en inglés), donde se evidencia el hecho de que un tejido maligno (tumor) refleja en mayor proporción la potencia que incide sobre dicha región, en comparación con el tejido sano, compuesto por tejido fibroconectivo, glandular y adiposo. Se destaca también la eficiencia espectral y energética de los sistemas OFDM (*orthogonal frequency division multiplexing*), características que inciden directamente sobre el grado de calidad del sistema. Por último, se realiza una simulación de la formación de imagen mediante la aplicación de un método de filtrado espacial bajo el concepto de *beamforming*.

¹ Universidad Católica de Salta, Argentina

² Universidad Católica del Maule, Talca, Chile

Palabras clave: C3ncer, permitividad el3ctrica, OFDM, *chirp*, *beamforming*.

Abstract

Telecommunications currently provide solutions in multiple areas and constitute one of the bases that drive the evolution of society by providing new technologies and allowing new solutions to be found to social problems in general. This work proposes a communication system that finds its application in medical imaging diagnosis, being the objective of the system to achieve the detection of breasts anomalies with a high level of precision, thus allowing diagnoses to be made in early stages of a potential breast cancer.

The system is modeled theoretically and simulated with the help of computational calculations provided by the Matlab® programming tool. The solution brings together characteristics of different technologies and standards, combined to model an

efficient system that meets the requirements and functions needed to constitute a feasible and viable proposal for its future implementation.

The main contribution of this work can be seen in the numerical experimental results, obtained by applying the finite difference time domain (FDTD) method, where it is evident that a malignant tissue (tumor) reflects in a greater proportion the power that affects this region, compared to healthy tissue, composed of fibroconnective, glandular and adipose tissue. The spectral and energy efficiency of OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) systems, characteristics that directly affect the degree of quality of the system, is also highlighted. Finally, a simulation of the image formation is carried out by applying a novel spatial filtering method under the concept of beamforming.

Key words: Cancer, electrical permittivity, OFDM, *chirp*, beamforming.

1. Introducci3n

Seg3n la Organizaci3n Mundial de la Salud (OMS) el c3ncer de mamas es uno de los que posee mayor incidencia a nivel mundial, con m3s de 2,2 millones de casos para el 2020, a3o en que aproximadamente 685.000 mujeres fallecieron como consecuencia de esta enfermedad. Es evidente el desaf3o al que se enfrentan los profesionales de la salud al momento de ofrecer una respuesta en este escenario. Un factor importante que se tiene en cuenta es el tiempo en que se detecta la enfermedad, esto viene ligado a la eficiencia de los m3todos de diagn3stico por imagen que actualmente se utilizan para ello y para determinar el estadio de un tumor.

El estadio del c3ncer de mama se determina seg3n el tama3o, la ubicaci3n del tumor primario, la diseminaci3n del c3ncer a los ganglios linf3ticos cercanos o a otras partes del cuerpo, el grado del tumor y la presencia de ciertos biomarcadores. Es importante saber el estadio del c3ncer de mama para planificar un tratamiento adecuado y entender el pron3stico (National Cancer Institute, 2021).

Actualmente el m3todo m3s eficaz y utilizado con mayor frecuencia en los ex3menes diagn3sticos es la mamograf3a y en segundo lugar la ecograf3a (Asociaci3n Espa3ola contra el C3ncer, 2021). Otros m3todos complementarios al diagn3stico por imagen son la resonancia magn3tica y la

tomografía computada; estos pueden emplearse de forma combinada, ya que de acuerdo con sus características ofrecen diferentes tipos de información al personal médico.

En la Argentina, el Instituto Nacional del Cáncer (INC) promueve el desarrollo de tecnologías innovadoras que permitan un avance en la detección y diagnóstico del cáncer. Es posible que, en el futuro, la combinación de las técnicas de detección por imágenes y la inteligencia artificial permita identificar la presencia, tipo, estadio y otras características sin la necesidad de realizar una biopsia (Instituto Nacional del Cáncer, 2021). En la literatura actual se logran identificar múltiples enfoques en lo que respecta a las características y mejoras que se buscan en los nuevos métodos para el diagnóstico por imagen, entre ellos los más desatacados son: (i) ofrecer mejoras en los métodos actuales, (ii) detección en estadios tempranos, (iii) conformar exámenes no invasivos, (iv) mitigar exposición a factores de riesgo, (v) identificar nuevos tipos de biomarcadores.

Este trabajo propone un sistema para el diagnóstico por imagen ofreciendo así una solución a la problemática planteada; el principio de funcionamiento del sistema se basa en la transmisión de pulsos electromagnéticos dirigidos a la región de estudio y el fenómeno de reflexión. Los pulsos reflejados son denominados ecos; estos son captados por el receptor y posteriormente procesados para obtener la señal que conformará una imagen como resultado final. Se espera que el sistema logre detectar anomalías en los tejidos que conforman la mama en lo que respecta a diferencias en las magnitudes de las propiedades dieléctricas, como lo son su permitividad y conductividad eléctrica. Las tecnologías empleadas para ello combinan técnicas para la transmisión y recepción a nivel físico (*orthogonal frequency division multiplexing*, OFDM) y la configuración de un radar de apertura sintética (SAR). El sistema fue diseñado en forma teórica y simulado en Matlab® mediante el empleo de métodos de cálculo numérico.

Las características mencionadas en el párrafo anterior conforman finalmente el modelo de un sistema de ultra banda ancha (UWB, por sus siglas en inglés) que utiliza radiación no ionizante para la formación de imágenes médicas, a diferencia de los métodos tradicionales; se destaca la capacidad para diferenciar biomarcadores como lo son la permitividad y conductividad eléctrica, aprovechando el contraste que se presenta entre un tejido sano y uno maligno, explotando esta propiedad para la detección de un posible tumor.

El resto del artículo se organiza de la siguiente forma: en la sección uno se exponen las características anatómicas del seno y la biología del cáncer de mamas, en la sección dos el principio de funcionamiento del sistema y el método empleado para modelar el tejido biológico. La sección tres presenta una demostración en un entorno simulado de la propagación de la onda electromagnética (OEM) en los diferentes perfiles mediante el método FDTD. La cuarta sección trata sobre el modelo del sistema propuesto, sus características principales, configuración, la transmisión y recepción de bloques OFDM. La sección cinco expone los resultados obtenidos y, finalmente, en la última sección se presentan las conclusiones formuladas y las líneas futuras para el presente trabajo.

1.2 Características anatómicas de las mamas

Para el estudio sobre la detección del cáncer originado en las mamas resulta importante comprender los aspectos básicos de la composición y estructura del seno de una mujer.

La gl3ndula mamaria est3 compuesta por diferentes tejidos, principalmente por tejido adiposo y tejido muy denso, conectivo y fibroso. La proporci3n de estos tipos de tejido varían considerablemente entre mujeres, seg3n la actividad hormonal que presenta cada una de ellas durante los periodos como la menstruaci3n, el embarazo y la menopausia (Instituto Nacional del C3ncer, 2021). La Figura 1 presenta la constituci3n de la mama y pueden observarse las regiones y los tipos de tejido que conforman su estructura.

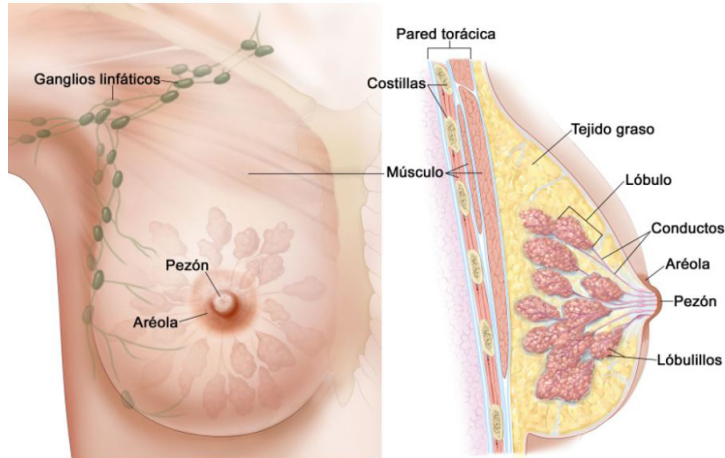


Figura 1. Anatomía de la mama (Winslow, 2011).

Con base en lo observado en la figura anterior se puede clasificar la anatomía de la mama de la siguiente forma (Instituto Nacional del C3ncer, 2021):

- Tejido adiposo: este tejido, est3 formado por c3lulas vesiculares llenas de grasa subcut3nea, recogidas en l3bulos y separadas por el ligamento de Coopers. Este ligamento ayuda a dar soporte a la masa de los tejidos mamarios.
- Por debajo del tejido adiposo, se encuentra el tejido glandular de la mama. Este alberga las gl3ndulas mamarias, encargadas de producir leche para la lactancia. Las gl3ndulas mamarias est3n contenidas dentro de l3bulos, y cada seno consta, aproximadamente, de entre 15 a 20 l3bulos.
- Los conductos lactíferos son tubos cilíndricos delgados que conectan cada l3bulo hasta el pez3n.
- El m3sculo pectoral mayor se separa del pecho por la grasa retromamaria.

La mama también contiene vasos sanguíneos y vasos linfáticos, los cuales nutren las células y drenan los productos de desecho corporal. Los vasos linfáticos terminan en pequeñas formaciones redondeadas denominadas ganglios linfáticos, que ayudan a combatir las infecciones.

1.3 Clasificación del cáncer de mama

El cáncer de mama se clasifica con base en el estadio clínico, la morfología celular y el análisis inmunohistoquímico. Es indispensable contar con métodos que brinden pronósticos más precisos que ayuden en las decisiones terapéuticas y en los tratamientos que se deben realizar.

El cáncer de mama se divide en dos grupos principales, basados en la presencia o ausencia de expresión del receptor de estrógeno (RE). El perfil de expresión genética reveló que dentro de los tumores RE+ existen dos subtipos: luminal A y luminal B. Los tumores RE- comprenden también dos subtipos: HER2 y tipo basal. Estos subtipos muestran cortos periodos libres de enfermedad luego de su tratamiento y un pronóstico más sombrío (Hernández, 2016).

2. Metodología

2.1 Principio de funcionamiento

El sistema se basa en la transmisión de pulsos electromagnéticos (EM). El electromagnetismo y sus fenómenos físicos son descritos mediante las ecuaciones de Maxwell, que permiten estudiar la propagación de una onda electromagnética (OEM) en diferentes medios, caracterizados estos últimos por sus propiedades dieléctricas. El principal fenómeno físico que da lugar al funcionamiento del sistema es el de reflexión de una OEM, expresado por la ley de Snell (Rivelli, 2021). Asociado a este último, debido a la variación de las propiedades de los múltiples medios en los cuales incide la OEM, se produce un segundo fenómeno llamado dispersión. Para su estudio es necesario recurrir a un modelo matemático que describa el comportamiento de los tejidos biológicos que conforman la mama a medida que varía la composición de dicho tejido.

Las propiedades dieléctricas de un tejido mamario que se estudian para este trabajo son la permitividad eléctrica (*epsilon*, ϵ) y la conductividad eléctrica (*sigma*, σ). La diferencia entre la magnitud de los valores que presenta un tejido maligno frente a un tejido sano establece un contraste, que en este trabajo es explotado para dar lugar a la formación de una imagen que detecte e identifique estas regiones de transición para dichas magnitudes.

2.2 Modelo de Cole-Cole

Los organismos vivos están compuestos por tejidos y estos a su vez están compuestos por células. La estructura de la membrana celular se basa en una bicapa lipídica en la cual se encuentran distribuidas las proteínas, permitiendo un intercambio iónico. Se considera que la membrana ce-

lular actúa precisamente como una interfaz dieléctrica y puede ser considerada como las placas de un capacitor (Calder3n et al., 2019). La Figura 2 representa lo mencionado.

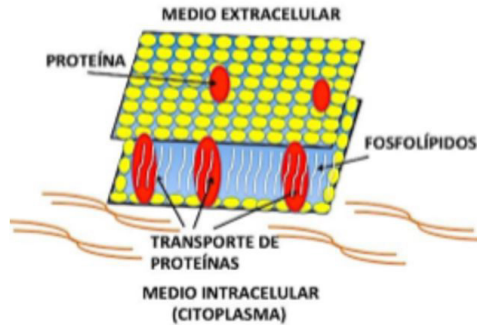


Figura 2. Esquema de la membrana celular (Calder3n et al., 2019).

Se puede postular, por lo tanto, que por la ley de Ampere-Maxwell explicada en Rivelli (2021), cuando se aplica un campo eléctrico externo variable en el tejido biológico, se da lugar a la presencia de una corriente de desplazamiento que circula entre las paredes celulares y un campo magnético que sigue una trayectoria cerrada; por el contrario, cuando el campo eléctrico es constante, es decir $\partial \vec{E} / \partial t = 0$, los iones cargados eléctricamente se acumulan en las paredes polarizadas de la membrana celular, de manera similar al comportamiento de un capacitor. Al efecto de producir una corriente de desplazamiento en un tejido se le denomina fenómeno de relajación, y se define como el movimiento de las cargas que inducen un fenómeno de conducción, siendo resultado de la polarización de varios dipolos.

Los portadores de cargas son principalmente iones y la fuente principal de dipolos son las moléculas polares del agua de los tejidos, siendo entonces altamente dependientes de la frecuencia. Las principales propiedades dieléctricas son la permitividad y la conductividad eléctrica, parámetros que modelan el comportamiento del material cuando es sometido a diferentes frecuencias de excitación. Estas propiedades están relacionadas con el flujo de corriente eléctrica y la magnitud de los efectos de polarización para la conductividad y la permitividad, respectivamente. Como son propiedades intrínsecas al material, los tejidos biológicos conducen la corriente eléctrica en mayor o menor grado dependiendo de su composición, hecho por el cual también existe una relación entre las propiedades químicas (G3mez Mejías, 2017). Analizando por separado estas propiedades se puede decir que la conductividad es dependiente del contenido de sangre que haya en el tejido; como esta se compone de iones en disolución, se puede afirmar entonces que la conductividad

eléctrica es directamente proporcional a la cantidad de iones presentes en los fluidos que conforman el tejido (Schmid et al., 2003).

La deducción y el procedimiento matemático, que parte desde el concepto de permitividad eléctrica y demuestra cómo se llega a la expresión que define el método usado, se presentan en Rivelli (2021). Dicho modelo viene dado por la siguiente expresión:

$$\varepsilon(\omega)_r = \varepsilon_\infty + \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_\infty}{1 + (j\omega\tau)^{1-\alpha}} - j \frac{\sigma_s}{\omega\varepsilon_0} \quad (1)$$

Donde:

$\varepsilon(\omega)_r$ = Permitividad eléctrica relativa en función de la frecuencia

ε_∞ = Permitividad para altas frecuencias ($\omega\tau \gg 1$)

ε_s = Permitividad para bajas frecuencias ($\omega\tau \ll 1$)

$\Delta_s = \varepsilon_s - \varepsilon_\infty$

α = Parámetro de distribución ($0 < \alpha < 1$)

τ = Tiempo de relajación

σ_s = Conductividad del medio

ε_0 = Permitividad del vacío

Siendo Δ_s el parámetro que cuantifica la dispersión. La constante de tiempo τ presenta determinados valores para ciertos rangos de frecuencias, ya que describe el fenómeno de relajación para los tejidos; entonces, para cada valor que toma τ , se tiene una región de dispersión diferente. La función de Debye modela la permitividad eléctrica de un tejido en un determinado rango de frecuencias acotado por el valor de la constante τ . Para eliminar la limitación acotada por el valor de la constante se introduce un parámetro de distribución denotado como α .

2.2.1 Análisis y comportamiento del modelo Cole-Cole

Analizando el modelo propuesto, se observa que debido al mecanismo de polarización que ocurre en las células del tejido, se tiene una determinada dispersión que varía con la frecuencia del campo aplicado. Estudios sobre el tema demostraron que existen tres **regiones de dispersión** principales y una cuarta región que no posee mayor influencia. Estas regiones son denominadas α , β , γ , y δ y se explican a continuación (Torres Betancor, 1999):

- **Regi3n de dispersi3n α :** es la primera regi3n, considerada para frecuencias menores a 100 KHz. En esta regi3n la c3lula es poco conductora comparada con el medio extracelular, el tejido en esta regi3n presenta una alta permitividad y una baja conductividad, este comportamiento se le atribuye a la difusi3n i3nica de la membrana celular.
- **Regi3n de dispersi3n β :** esta regi3n se encuentra comprendida en el intervalo de las frecuencias del orden de los KHz a MHz, en ella predomina el efecto de polarizaci3n de la membrana celular.
- **Regi3n de dispersi3n γ :** la tercera zona es la dispersi3n γ , considerada para frecuencias superiores a 10 GHz y hasta los 100 GHz, donde existe un incremento significativo de la conductividad debido a las p3rdidas diel3ctricas moleculares y a la polarizaci3n diel3ctrica del agua contenida en el tejido.
- **Regi3n de dispersi3n δ :** esta regi3n de dispersi3n puede solaparse con la dispersi3n Gamma, pero comprende frecuencias mayores a los GHz.

La Figura 3 (Salazar, 2004) muestra las regiones nombradas.

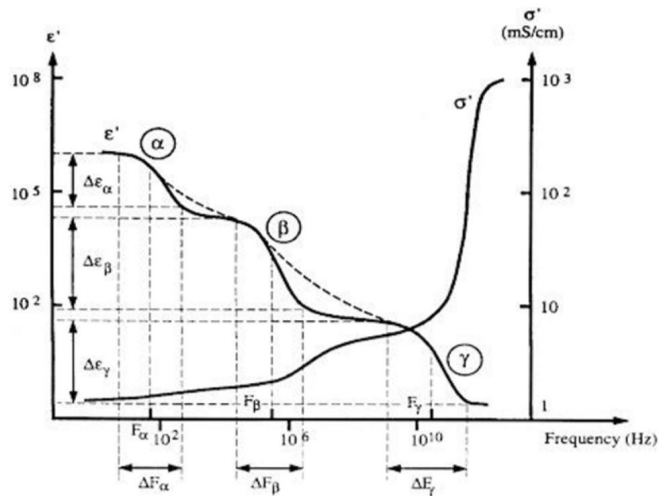


Figura 3. Curvas de permitividad y conductividad eléctrica (Salazar, 2004).

Se puede inferir que la permitividad y la conductividad poseen comportamientos inversos con respecto a la frecuencia. Entonces, si se introducen las cuatro regiones de dispersi3n a la funci3n descripta por la ecuaci3n 1, esta adopta la siguiente forma:

$$\epsilon(\omega)_r = \epsilon_\infty + \sum_{n=1}^4 \frac{\Delta_n}{1 + (j\omega\tau_n)^{1-\alpha_n}} + \frac{\sigma_s}{j\omega\epsilon_0} \quad (2)$$

Cabe destacar que el modelo propuesto, entonces, brinda la posibilidad de realizar un estudio en un amplio rango de frecuencias; por ello este método es elegido para el cálculo y demostración de los fenómenos físicos que ocurren cuando un tejido biológico es expuesto a un campo electromagnético.

2.2 Propiedades dieléctricas de las mamas

Lazebnik y su equipo (2007a) brindan una perspectiva de cómo varían las propiedades dieléctricas del tejido sano en función de la proporción de tejido adiposo que constituye la muestra. En otro trabajo (Lazebnik et al., 2007b) estudian los tejidos malignos y presentan los valores y curvas para estos; los resultados muestran clara evidencia de la diferencia entre los valores de las propiedades dieléctricas en el tejido enfermo con respecto al tejido sano. La principal contribución de este trabajo es el hallazgo empírico de la relación que presentan los tejidos sanos de la mama frente a los tejidos malignos, la cual se establece aproximadamente en 1:10 en lo que respecta a las magnitudes de las propiedades dieléctricas de ambos tipos de tejidos. A tal fin se realizaron 319 mediciones en muestras de tejido mamario extirpado de 196 pacientes sometidas a lumpectomías, mastectomías y biopsias en hospitales de la Universidad de Wisconsin y de la Universidad de Calgary. Luego de aplicar criterio de exclusión histológica y de ajuste y reducción de datos, quedaron 155 muestras para su estudio final, las que se distribuyeron de la siguiente manera:

Tabla 1. Distribución de los tipos de muestras

Tipo de muestra	Cantidad
Maligno	60
Benigno	10
Normal	85

3. Simulación de la propagación de la OEM en el medio

Se procedió a simular el comportamiento de los campos eléctricos y magnéticos en una región que adopta las propiedades dieléctricas de las mamas; propiedades extraídas de Lazebnik (2007a, 2007b). Se aplicó el método de diferencias finitas en el dominio del tiempo (FDTD) y se utilizó el *software* Matlab® para implementar el algoritmo que permite pasar al tiempo discreto las ecuaciones de Maxwell que se deben resolver.

3.1 M3todo FDTD

Si en una primera instancia se postula que una onda se propaga en un medio homog3neo, donde no existen fuentes de cargas ni de corrientes, es decir, ($\rho = \vec{J} = 0$), la direcci3n de propagaci3n sigue la del eje 'z' siendo el campo el3ctrico (\mathbf{E}) paralelo al eje x y el campo magn3tico (\mathbf{H}) paralelo al eje 'y'. Teniendo en cuenta esto, las ecuaciones de Maxwell para la ley de Ampere-Maxwell y Faraday-Lenz, respectivamente, adoptan la siguiente forma:

$$\frac{\partial}{\partial t} E_x(z, t) = -\frac{c}{\epsilon} \frac{\partial}{\partial z} H_y(z, t) \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} H_y(z, t) = -\frac{c}{\mu} \frac{\partial}{\partial z} E_x(z, t) \quad (4)$$

Por convenci3n, en esta ocasi3n se presentan en su forma diferencial para facilitar la explicaci3n del m3todo. Se puede decir entonces que ambas expresiones son ecuaciones diferenciales puntuales; en otras palabras, son v3lidas para cada valor continuo del espacio (z) y tiempo (t). Para lograr una formulaci3n discreta de estas, se realiza una aproximaci3n de las derivadas espacial y temporal mediante su equivalente en diferencias finitas.

Esta es la expresi3n de una derivada en diferencias centrales:

$$\frac{df(z_0)}{dz} = \lim_{\Delta z \rightarrow 0} \frac{f(z_0 + \Delta z/2) - f(z_0 - \Delta z/2)}{\Delta z} \quad (5)$$

Para un valor muy cercano a cero, la expresi3n anterior se define como una ecuaci3n de diferencias finitas, donde su derivada est3 definida por el valor de la funci3n en puntos distantes a $a \pm \Delta z/2$ de z_0 .

El m3todo FDTD consiste en cambiar los valores continuos de la coordenada espacial 'z' por valores discretos indexados por el n3mero entero 'k', de tal forma que los valores espaciales son obtenidos por medio de la ecuaci3n $z = k\Delta z$. Con estas consideraciones, la forma discreta de la derivada espacial para el campo el3ctrico (\mathbf{E}) es:

$$\frac{\partial}{\partial z} E_x(k\Delta z, n\Delta t) \cong \frac{E_x[(k + 1/2)\Delta z, n\Delta t] - E_x[(k - 1/2)\Delta z, n\Delta t]}{\Delta z} \quad (6)$$

Se aprecia que de manera an3loga la componente temporal tambi3n est3 indexada por el entero 'n' por medio de la relaci3n $t = n\Delta t$, y la forma discreta de la derivada del campo el3ctrico con respecto al tiempo queda como se ve a continuaci3n:

$$\frac{\partial}{\partial t} E_x(k\Delta z, n\Delta t) \cong \frac{E_x[k\Delta z, (n+1/2)\Delta t] - E_x[k\Delta z, (n-1/2)\Delta t]}{\Delta t} \quad (7)$$

De la misma forma pueden obtenerse las expresiones equivalentes a las (6) y (7) para el campo magnético H_y . Para simplificar la notación se hace uso del superíndice discreto temporal, por ejemplo: $E_x(n+1/2, k) \equiv E_x^{n+1/2}(k)$

Entonces, al implementar las ecuaciones en diferencias finitas para ambos campos $E_x(z, t)$ y $H_y(z, t)$ la ley de Ampere-Maxwell expresada en (3) adopta la siguiente forma:

$$\frac{E_x^{n+1/2}(k) - E_x^{n-1/2}(k)}{\Delta t} = -\frac{c}{\varepsilon} \frac{H_y^n\left(k + \frac{1}{2}\right) - H_y^n\left(k - \frac{1}{2}\right)}{\Delta z} \quad (8)$$

Para obtener la forma discreta de la ley de Faraday, expresión (4), se toman en consideración las derivadas en el punto $\left(z + \frac{\Delta z}{2}, t + \frac{\Delta t}{2}\right)$, por lo que queda como sigue:

$$\frac{H_y^{n+1}\left(k + \frac{1}{2}\right) - H_y^n\left(k + \frac{1}{2}\right)}{\Delta t} = -\frac{c}{\mu} \frac{E_x^{n+1/2}(k+1) - E_x^{n+1/2}(k)}{\Delta z} \quad (9)$$

Al evaluar la ecuación (3) en (z, t) y la ecuación (4) en $\left(z + \frac{\Delta z}{2}, t + \frac{\Delta t}{2}\right)$ se obtiene una relación donde los campos están intercalados:

$$E_x^{n+1/2}(k) = E_x^{n-1/2}(k) - \frac{c}{\varepsilon} \frac{\Delta t}{\Delta z} \left[H_y^n\left(k + \frac{1}{2}\right) - H_y^n\left(k - \frac{1}{2}\right) \right] \quad (10)$$

$$H_y^{n+1}\left(k + \frac{1}{2}\right) = H_y^n\left(k + \frac{1}{2}\right) - \frac{c}{\mu} \frac{\Delta t}{\Delta z} \left[E_x^{n+1/2}(k+1) - E_x^{n+1/2}(k) \right] \quad (11)$$

En cada punto del espacio el valor del campo se obtiene a partir de los valores de los campos en los puntos vecinos. Esta forma de escribir las ecuaciones de Maxwell sigue la regla del algoritmo de Yee (Sullivan, 2000).

3.1.1 Resultados

En primer lugar, se presentan los gráficos que describen el comportamiento de los perfiles para los tejidos mamarios maligno y sano en lo que respecta a sus propiedades dieléctricas (Figuras 4 y 8) y, posteriormente, los gráficos que se obtienen de la simulación de la propagación de la onda en

cada uno de los perfiles. En Rivelli (2021) se pueden consultar detalles de la implementaci3n del algoritmo y la estabilidad del m3todo, entre otros aspectos.

Perfil 'a': interacci3n con tejido mamario maligno.

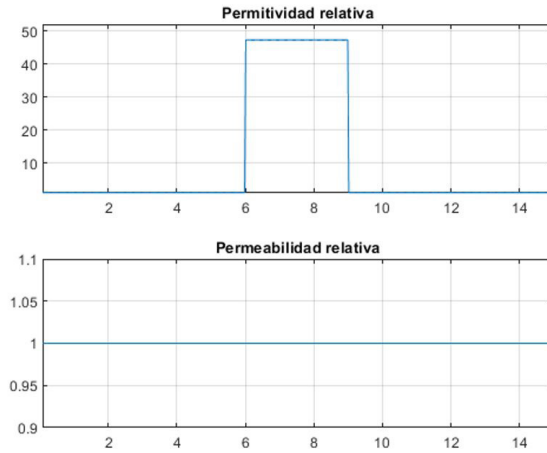


Figura 4. Par3metros constitutivos del perfil 'a'. Los gr3ficos muestran los valores que adoptan la permitividad relativa y la permeabilidad relativa a lo largo de la regi3n de simulaci3n.

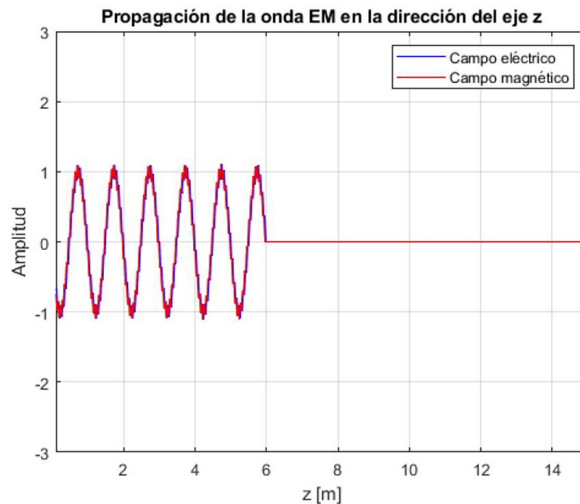


Figura 5. Propagaci3n de una onda EM en el aire antes de incidir en la regi3n que describe las propiedades diel3ctricas de un tejido maligno.

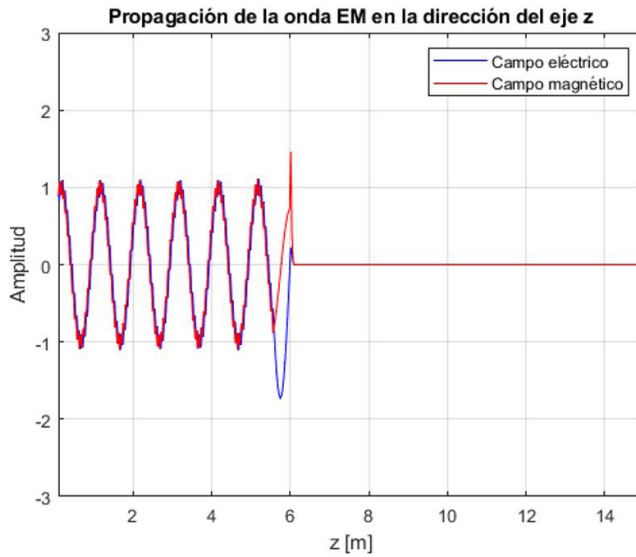


Figura 6. Comportamiento de la onda EM en el punto de incidencia.

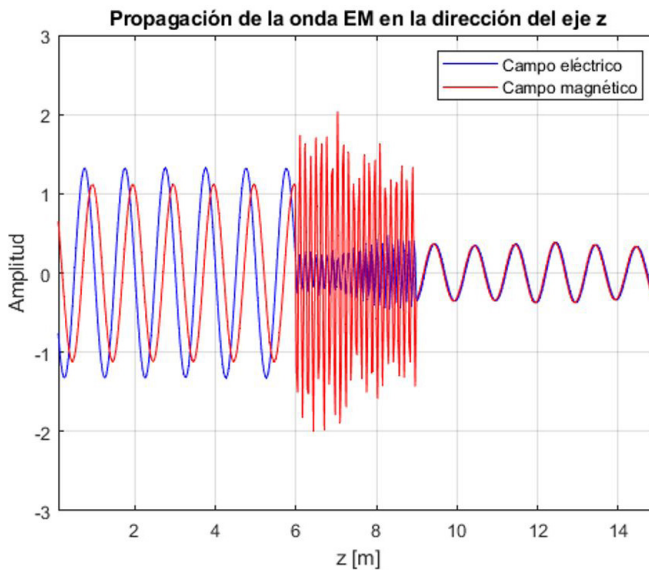


Figura 7. Propagación de la onda EM luego de pasar por la región que presenta propiedades dieléctricas de un tejido maligno.

Perfil 'b': interacci3n con tejido mamario sano.

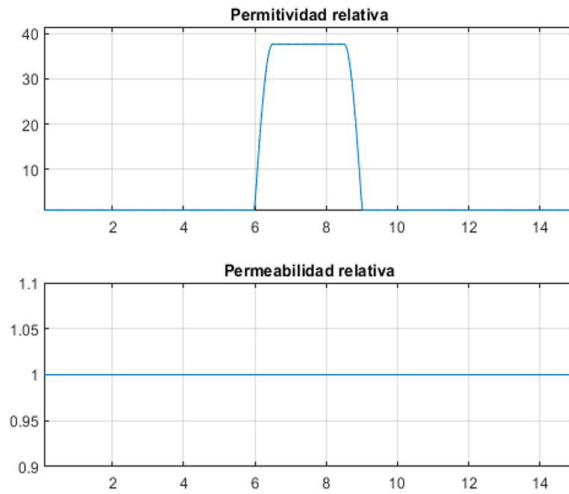


Figura 8. Par3metros constitutivos del perfil 'b'. Los gr3ficos muestran los valores que adoptan la permitividad relativa y la permeabilidad relativa a lo largo de la regi3n de simulaci3n.

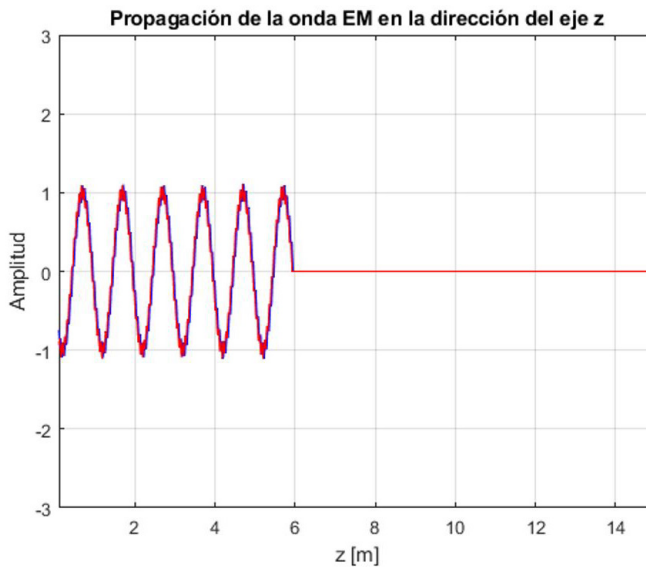


Figura 9. Propagaci3n de una onda EM en el aire antes de incidir en la regi3n que describe las propiedades diel3ctricas de un tejido mamario sano.

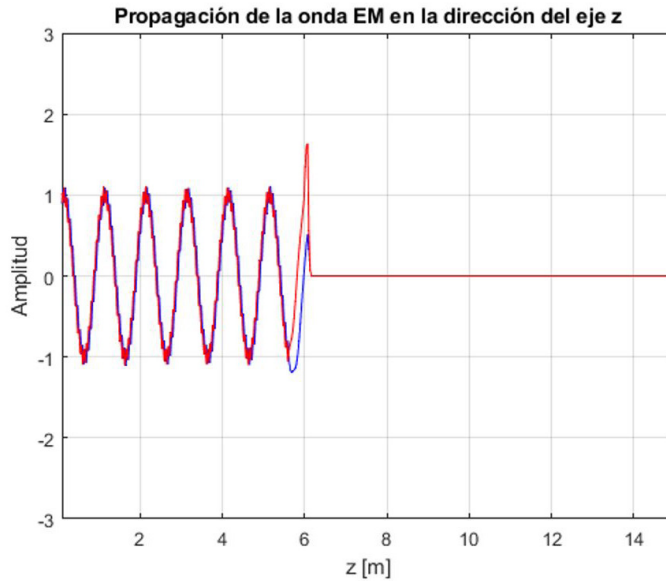


Figura 10. Comportamiento de la onda EM en el punto de incidencia.

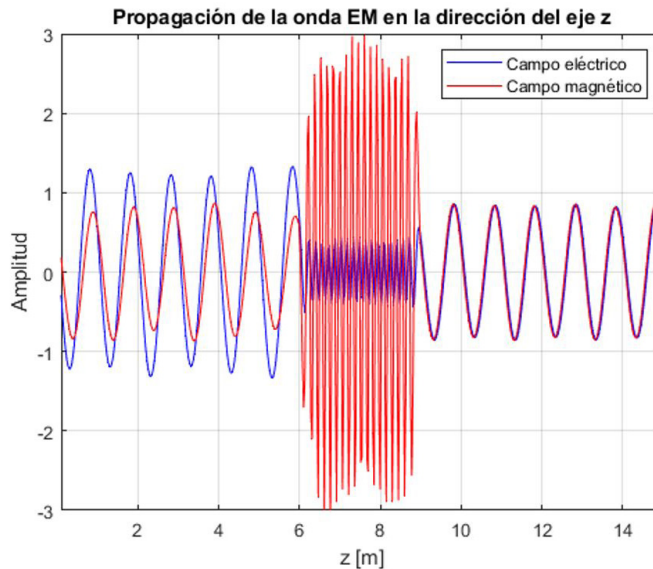


Figura 11. Propagación de la onda EM luego de pasar por la región que presenta propiedades dieléctricas de un tejido mamario sano.

3.1.2 Observaciones

Un esquema que represente de forma ideal la composici3n de toda la regi3n de propagaci3n de la onda para este trabajo debera respetar la siguiente secuencia: (i) aire, (ii) tejido sano, (iii) tejido maligno. En la presente demostraci3n se sigue otro esquema; en 3l s3lo se involucra al aire en primer t3rmino y luego a los tejidos tanto maligno como sano, por separado. El objeto de este apartado es demostrar que el tejido maligno absorbe m3s potencia que el tejido sano y, en consecuencia, inferir que la potencia que no se refract3 a trav3s de la regi3n fue reflejada y esta posteriormente ser3 utilizada para los c3lculos propuestos por los algoritmos de detecci3n y formaci3n de im3genes. Es por ello que se juzga que el esquema elegido cumple con la finalidad planteada.

En las Figuras 7 y 11 se observa que es evidente que un tejido aten3a m3s que el otro; esto se puede ver al observar las amplitudes de las ondas transmitidas o refractadas de la regi3n del tejido. La onda emitida desde una fuente hipot3tica posee una amplitud de 2 unidades; posteriormente, al pasar por la regi3n definida con propiedades diel3ctricas de un tejido maligno, esta queda con una amplitud menor a la unidad en t3rminos aproximados. Analizando ahora el perfil «b» (tejido sano) nuevamente la amplitud de la se3al transmitida es de 2 unidades y luego de ser atenuada por el tejido sano esta disminuye su magnitud en una proporci3n menor a la que se produce en comparaci3n con el tejido maligno. Si bien no es posible simular el fen3meno de reflexi3n para geometr3as complejas debido a su gran dificultad a nivel computacional, esta herramienta s3 permite apreciar el fen3meno de refracci3n, por lo que permite inferir que si se plantea un sistema ideal, la potencia que no fue refractada es reflejada. Es posible afirmar y concluir, adem3s, que un tejido con mayor permitividad el3ctrica (tejido maligno) aten3a en mayor proporci3n la onda incidente respecto a otro tejido con menor permitividad el3ctrica (tejido sano).

4. Modelo del sistema

4.1 Sistema UWB

El sistema propuesto conforma un sistema de banda ultra ancha (UWB, por sus siglas en ingl3s) que combina caracter3sticas de m3ltiples tecnolog3as. Estas consisten en la t3cnica usada para la transmisi3n de se3ales a nivel f3sico del sistema de comunicaciones, conocida como multiplexaci3n por divisi3n de frecuencia ortogonales (*orthogonal frequency division multiplexing*, OFDM por sus siglas en ingl3s) y el procesamiento est3ndar de los radares de apertura sint3tica (SAR, por sus siglas en ingl3s) para determinar la posici3n de un blanco en estudio.

Un radar de banda ultra ancha (UWB) es aquel que funciona en la banda de frecuencias de los 3.1 a 10.6 GHz; por su amplio rango de frecuencias presenta ciertas ventajas, pues resulta ser un radar con un rango din3mico amplio. Estos sistemas emplean el principio b3sico de operaci3n del radar convencional, que consiste en extraer informaci3n de una respuesta en el tiempo de una se3al reflejada por el escenario bajo inspecci3n, entre una antena transmisora y una receptora. Esta

respuesta en el tiempo está asociada a un espectro en frecuencia, lo que sugiere que dicho espectro puede ser caracterizado por un barrido en el rango de frecuencias.

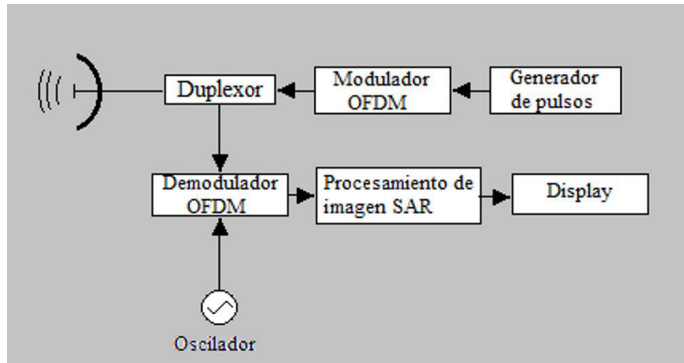


Figura 12. Diagrama de bloques: etapas funcionales del sistema UWB.

4.1.1 Características del sistema

Los sistemas OFDM se destacan por presentar múltiples ventajas. Se adaptan para diversas aplicaciones, lo que hizo que fueran elegidos como técnica de modulación en la capa física para estándares, como lo son *Wireless Fidelity* (WiFi), *Wireless Personal Area Network* (WPAN) y *fifth generation* (5G). Las ventajas que brinda el uso de este tipo de sistemas son:

- ✓ Alto grado de eficiencia espectral.
- ✓ Robustez contra interferencia intersimbólica.
- ✓ Buena respuesta ante canales AWGN.
- ✓ Respuesta buena ante canales de desvanecimiento por trayectoria múltiple.
- ✓ Simplicidad para su implementación.
- ✓ Bajo costo.

4.2 Configuración del sistema de transmisión y recepción

Para este modelo se optó por una configuración monoestática, empleándose el mismo elemento irradiante para la transmisión y la recepción de la señal (Figura 13).

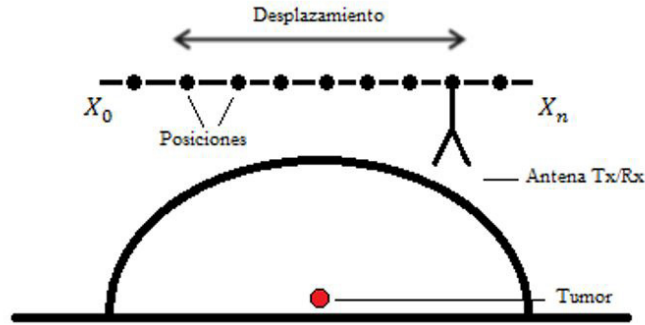


Figura 13. Configuración monoestática para el sistema de antena.

La configuración monoestática para radares de UWB no resulta complicada de implementar, ya que solo requiere de una antena para realizar el escaneo del objeto. Se observa en la Figura 13 que la antena se desplaza una determinada cantidad de posiciones 'n' en la dirección del eje 'x', por lo tanto, el sistema toma 'n' mediciones que posteriormente serán procesadas para la formación de una imagen. La cantidad de puntos de medición está relacionada con la apreciación que tendrá el sistema, por lo que una mayor cantidad de muestras permitirá obtener una mejor imagen; en este punto es importante tener en cuenta los recursos computacionales y buscar el punto óptimo entre dos aspectos, como lo son la calidad de la imagen y la complejidad computacional.

4.3 Modem OFDM

Un sistema OFDM se caracteriza por trabajar con pulsos que son ortogonales entre sí en el dominio de la frecuencia. El principio de funcionamiento se basa en la transformada de Fourier de un pulso, es decir, la señal OFDM se construye en el transmisor a partir de la transformada inversa de Fourier y en el receptor, esta se obtiene realizando la transformada de Fourier, alternando del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia, respectivamente.

Un modulador y demodulador OFDM convencional obedece al siguiente esquema:

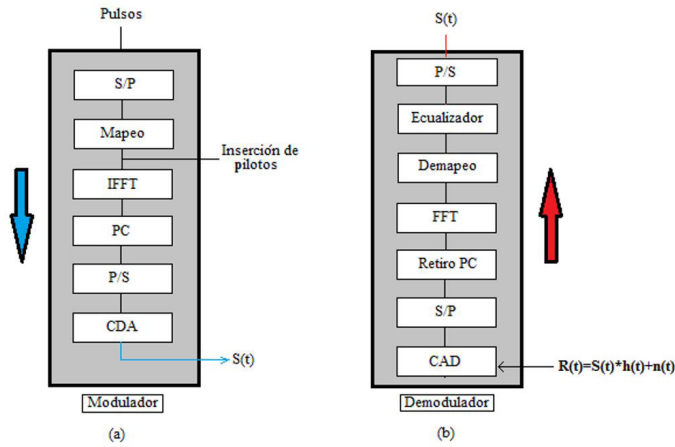


Figura 14. (a) Etapas que conforman al modulador OFDM. (b) Etapas que conforman al demodulador OFDM. S/P: Conversor serial a paralelo. IFFT: Transformada rápida de Fourier Inversa. PC: Prefijo cíclico; P/S: Conversor de paralelo a serial. CDA: Conversor digital a analógico. CAD: Conversor analógico a digital.

Combinando lo presentado en las figuras 12 y 14 (a) se aprecia que la entrada al demodulador OFDM no son datos —ya que el sistema consiste en un radar de apertura sintética— sino pulsos obtenidos a partir de un oscilador local, cuyas formas serán analizadas posteriormente; estos pulsos son tratados como una trama serial de datos binarios que son transformados a un formato paralelo a través del convertidor (S/P). Los bits son agrupados de acuerdo con el formato de modulación de subportadora, se eligió BPSK para el sistema propuesto, y luego son mapeados a símbolos complejos usando codificación de Gray. Estos símbolos de constelación son modulados a las frecuencias de las subportadoras a través de la transformada inversa rápida de Fourier (IFFT) conformando así lo que se denominó símbolo OFDM; estos se encuentran en el dominio temporal y son ortogonales entre sí en el dominio de la frecuencia, lo que mitiga eficientemente la interferencia intersimbólica (ISI) y también la interferencia interportadora (ICI). Finalmente, los datos son transformados a una trama serial y convertidos a una forma analógica para su posterior transmisión, donde la señal de salida es indicada como $S(t)$.

Si se expresa matemáticamente lo descrito en los párrafos anteriores, las expresiones que se usan para implementar estos sistemas son las siguientes:

- Sean $[X_0, X_1, X_2, \dots, X_N]$ el conjunto de símbolos en un formato de modulación (BPSK para este caso). Entonces los símbolos OFDM a la salida del modulador se pueden describir como sigue:

$$\begin{aligned}
 S_0 &= X_0 \cdot P\left(\frac{t}{\tau}\right), \\
 S_1 &= X_1 \cdot P\left(\frac{t}{\tau}\right) \cdot e^{j\omega t}, \\
 S_2 &= X_2 \cdot P\left(\frac{t}{\tau}\right) \cdot e^{j2\omega t}, \\
 &\vdots \\
 S_N &= X_N \cdot P\left(\frac{t}{\tau}\right) \cdot e^{jN\omega t},
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

donde $\omega = 2\pi f$ y $f = 1/\tau$ y siendo τ la duraci3n del pulso en el dominio del tiempo.

La separaci3n entre pulsos contiguos es de $1/\tau$ en el dominio de la frecuencia. El espectro transmitido de una se1al OFDM se debe visualizar como una secuencia de SINCS separadas por el factor ' $1/\tau$ ' siendo cada una de ellas ortogonales entre s3 (Figura 15).

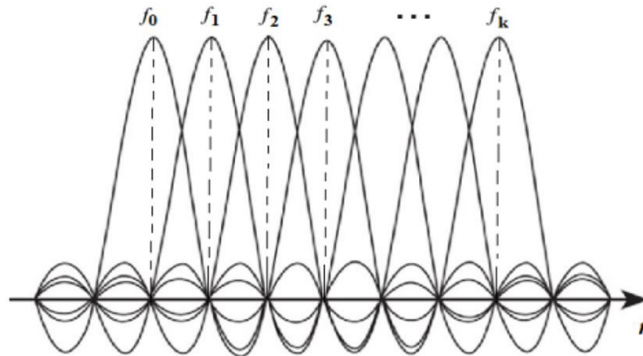


Figura 15. Espectro de una se1al OFDM (Guti3rrez Ortega, 2016).

4.3.1 Transmisi3n y recepci3n de se1al OFDM

La metodolog3a que se usar3 m3s adelante para la simulaci3n del sistema se basa en la transmisi3n y recepci3n de una se1al OFDM. Para una mejor aproximaci3n a un entorno real, se considera la presencia del ruido blanco aditivo Gaussiano (AWGN) ligado a los procesos t3rminos aleatorios presentes en todos los sistemas de comunicaciones (Haykin, 2002). En este trabajo se plantea un

escenario compuesto por una acotada región donde la onda se propaga en el aire y posteriormente incide sobre dos tipos de tejidos constituidos por propiedades diferentes, lo que dará lugar a la dispersión y a la reflexión en múltiples trayectorias; este tipo de escenarios pueden describirse por un canal Rayleigh (Tomasi, 2003).

Con base en el esquema presentado en la Figura 14 y partiendo de las ecuaciones se obtiene una generalización para estas y se expresa un símbolo OFDM en banda base con una duración de T_s , como

$$s(t) = \sum_{k=1}^N a_k e^{\frac{j2\pi kt}{T_s}} \quad (13)$$

siendo N y a_k el número de subportadoras y las constelaciones de símbolos, respectivamente, y a_k pueden ser los pulsos que emite el radar («datos») ' a_d ' o los pilotos de entrenamiento ' a_p '. El sistema OFDM estudiado en este trabajo se encuentra sometido a dos canales: (i) Canal AWGN, (ii) Canal de desvanecimiento Rayleigh. Teniendo en cuenta esto, un símbolo OFDM transmitido por estos dos canales y recibido en el demodulador puede interpretarse mediante la siguiente expresión:

$$r(t) = s(t) * h(t) + n(t) \quad (14)$$

Para el caso del canal (i) $h(t)$ es una delta de Dirac centrada en cero y $n(t)$ es el término aditivo asociado al ruido blanco gaussiano. Para el canal (ii) $h(t)$ es la respuesta al impulso del canal de desvanecimiento por trayectoria múltiple Rayleigh y esta última puede representarse de la siguiente manera (Liu et al., 2019):

$$h(t) = \sum_m a_m \delta(t - \tau_m T_s) \quad (15)$$

donde las amplitudes a_m toman valores complejos, T_s es el período del símbolo y los retardos de ruta $\tau_m \geq 0$. Se puede apreciar en (15) que la señal recibida en el demodulador OFDM está modificada por ruidos de fase, frecuencial y amplitud, todos incluidos en $h(t)$ y $n(t)$ respectivamente (Zabala Blanco, 2019). Esto quiere decir que la señal se somete a un canal AWGN y/o Rayleigh.

4.4 Procesamiento de la señal

En el presente trabajo el SAR es un sensor activo montado sobre una estructura que orienta a la antena sobre una guía que describe un movimiento en línea recta; a partir de la geometría que presenta el sistema se tienen como base expresiones que permiten obtener magnitudes físicas de la señal (Figura 16).

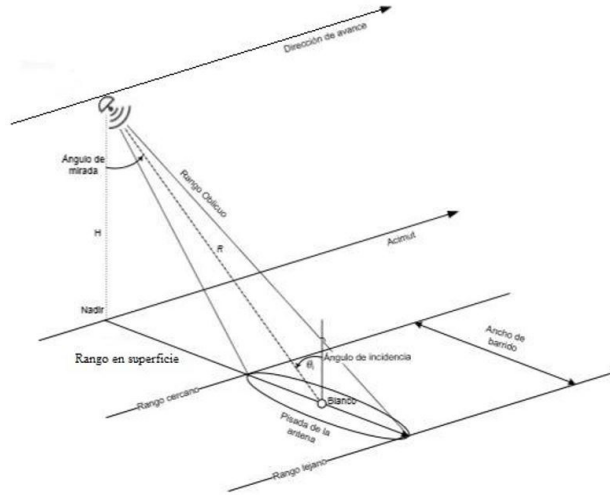


Figura 16. Adquisición geométrica del SAR.

Para que la captura de ecos sea posible, los pulsos deben ser emitidos en forma perpendicular a la dirección de desplazamiento de la antena y con un ángulo de mirada hacia el objetivo distinta de cero con respecto al nadir; esto evita el arribo de ecos simultáneos que corresponden a blancos diferentes (Llalau, 2017).

En la Figura 16 puede apreciarse la dirección de desplazamiento de la antena, denominada «acimut» y la dirección de observación del blanco denominada «rango oblicuo», valor que determina la distancia entre el blanco y el radar. La distancia más cercana, respecto del sensor, a la que se encuentran los blancos iluminados es denominada rango cercano, mientras que la mayor distancia es denominada rango lejano (Uranga, 2018).

El ancho de la superficie que es iluminada por el SAR para formar la imagen es llamado ancho de barrido y está determinado por la distancia entre los rangos cercano y lejano. La proyección del rango oblicuo sobre la superficie es denominada rango en superficie, y se obtiene mediante la división del rango oblicuo por el seno del ángulo de incidencia local θ_i . El ángulo de incidencia se define como el ángulo entre la normal a la superficie que pasa por el blanco y el rango oblicuo R de él. Es importante notar también que, debido a la esfericidad de la superficie de la mama y a la variabilidad de θ_i a lo largo del ancho de barrido, el ángulo de incidencia local es diferente del ángulo de mirada (Jackson y Apel, s.f.)

4.4.1 Chirp

Los pulsos que emite un SAR, denominados *chirps*, poseen una corta duración y están modulados linealmente en frecuencia. Los *chirps* en el contexto de este trabajo se identifican como los «datos» que son multiplexados por división de frecuencia ortogonal formando así símbolos OFDM donde, a su vez, estos símbolos son modulados con el formato BPSK.

Los pulsos complejos transmitidos con una señalización OFDM se expresan como $a = [a_0, a_1, a_2, \dots, a_N]^T$ siendo estos los mencionados *chirps*. Cada *chirp* es enviado en dirección aproximadamente perpendicular al vector velocidad del radar y está determinado por una duración τ_p , una frecuencia central f_c y una tasa de variación de la frecuencia K_r . La forma compleja del *chirp* es descripta por la siguiente ecuación:

$$a(t) = e^{j2\pi\left(f_c t + \frac{K_r t^2}{2}\right)} \quad (16)$$

donde $t \in I = [-\tau/2, \tau/2]$, el término multiplicado por la tasa de variación K_r indica que la frecuencia del *chirp* aumenta a medida que la variable de tiempo 't' se acerca a los extremos de su intervalo definido anteriormente. El ancho de banda B de la señal está determinado por el rango de frecuencias que abarca el *chirp*, y al estar linealmente modulado en frecuencia, este valor es directamente proporcional al tiempo de duración τ_p (Torrealba Meléndez, 2014).

4.4.2 Datos crudos

Un eco recibido es muestreado durante el tiempo que la ventana de muestreo (*sampling window time*, SWT) permanece abierta, durante el intervalo de recepción, concepto que viene asociado a la frecuencia de repetición de pulsos (PRF) (Rivelli, 2021). Estos datos son acomodados en una fila de la matriz de datos crudos denominada RAW por su traducción al inglés. La separación entre las celdas de cada fila, es decir, entre columnas, está dada por la frecuencia de muestreo f_s y el tiempo correspondiente a esta distancia es $t_c = 1/f_s$. Se obtiene un matriz de dimensiones $N \times M$, en la que:

- El sistema de recepción se abre 'N' veces para escuchar los ecos y esto lo hace cada $\frac{1}{PRF}$ segundos.
- El sistema de recepción toma 'M' muestras cada $\frac{1}{f_s}$ segundos.
- La separación entre columnas viene dada por $\frac{1}{f_s}$ segundos.
- Se denomina «tiempo rápido» al tiempo en la dirección del rango.
- La separación entre filas es $\frac{1}{PRF}$ segundos.
- A este último se lo denomina «tiempo lento» y refiere a la dirección en acimut.

4.4.3 Focalizaci3n de la imagen

La matriz de datos RAW est3 conformada por la suma coherente de una gran cantidad de ecos correspondientes a distintos blancos retrodispersores distribuidos en la regi3n en estudio. Esta suma resulta en una matriz de datos que presenta caracter3sticas similares a un ruido gaussiano (Agrawal y Venugopalan, 2008). Es por ello que resulta necesario un procesamiento que permita obtener una imagen a partir de estos datos crudos, com3nmente denominado focalizaci3n o compresi3n, que reconstruye la informaci3n de cada punto de la escena. La imagen obtenida luego de la focalizaci3n recibe el nombre de *single look complex* (SLC), la cual es una imagen con valores complejos (magnitud y fase). El hecho de almacenar los datos en formato complejo permite guardar informaci3n de la amplitud y fase de la se1al recibida.

Para realizar la focalizaci3n en direcci3n de rango (filas de la matriz) generalmente se utiliza una t3cnica denominada «*matched filtering*», la cual realiza la correlaci3n de los datos RAW con el complejo conjugado del pulso emitido por el SAR para resolver el problema inverso y obtener as3 la reflectividad de la superficie. La ecuaci3n de correlaci3n cruzada entre la se1al retornada y el *chirp* transmitido que realiza el *matched filtering* est3 dada por (Cumming y Wong, 2005):

$$S_o(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} S_r(u) g^*(u-t) du \quad (17)$$

Donde $S_o(t)$ es la se1al a la salida del filtro, $S_r(t)$ es la se1al recibida y $g^*(t)$ es el complejo conjugado de la r3plica del *chirp* enviado.

Este proceso tambi3n es aplicado en la direcci3n de acimut correlacionando las columnas de los datos previamente enfocados en rango con el complejo conjugado del *chirp* Doppler, proceso conocido como compresi3n en acimut. La respuesta de un blanco puntual a un *chirp* procesado utilizando la t3cnica *matched filtering* es una se1al con forma de una «SINC» centrada en el tiempo de retardo del eco.

4.4.4 Migraci3n de rango

La curva que describe los tiempos de retardo de los ecos en el rango oblicuo debe ser corregida para que toda la trayectoria del blanco a lo largo del tiempo de integraci3n pertenezca a una sola columna antes de que se realice la compresi3n de acimut. Para esto se requiere ejecutar un proceso llamado correcci3n de migraci3n de celdas en rango (RCMC). Existen m3ltiples algoritmos para implementar la soluci3n; entre los m3s mencionados en la literatura se encuentran el algoritmo de Range-Doppler, el algoritmo de *Chirp* Scaling y el Omega-K, entre otros. El algoritmo elegido es de gran importancia y caracteriza al sistema. Este art3culo propone un modelo donde la se1al es filtrada espacialmente para luego formar la imagen que se observa en los resultados; este algoritmo es llamado *beamforming* y es explicado en Rivelli (2021). Cabe aclarar que, al considerar un escenario ideal como sucede en el presente trabajo, la imagen se reconstruye exitosamente y no se observa la distorsi3n producida por la variaci3n del rango oblicuo. Sin embargo, se debe tener en cuenta como criterio de dise1o al momento de implementaci3n del sistema.

5. Simulación y resultados

Se desarrolló un código que permitió simular la transmisión de pulsos de un radar de apertura sintética monoestático que se desplaza en acimut con una velocidad constante ($\alpha=0$). La simulación permite visualizar la propagación de los pulsos en el aire, pudiéndose observar características como la frecuencia y potencia mediante un espectrograma; incluye un escenario de reflexión creando una plataforma reflectora que refleja la onda que incide en ella.

El escenario considerado para la demostración representa uno ideal, donde el tumor se encuentra en el centro de la mama y no se contempla la presencia de ruido y otras interferencias. En esta sección se consideró oportuno mostrar cómo se realiza la formación de la imagen a partir de los ecos emitidos por el blanco que, para este caso, sería un tumor maligno ubicado en el centro de la mama. Para el radar se eligió una posición relativa en uno de los extremos del pecho donde su antena se desplazará a una velocidad constante.

Los valores de los parámetros del sistema se muestran en la Tabla 2, tomados de los trabajos de Llalau (2017) y Uranga (2018).

Tabla 2. Parámetros del radar SAR

Parámetros	Valores
Frecuencia central	$f_c = 3.1 \text{ GHz}$
Frecuencia de muestreo	$f_s = 6.7 \text{ GHz}$
Duración del chirp	$\tau_c = 3 \mu\text{s}$
AB del chirp	$BW_c = 50 \text{ MHz}$
Frecuencia de repetición de pulso	$PRF = 15 \text{ MHz}$
Posición del tumor	$[0, 0, 0]$
Velocidad de apertura del SAR	$V_r = 0.04 \frac{m}{s}$

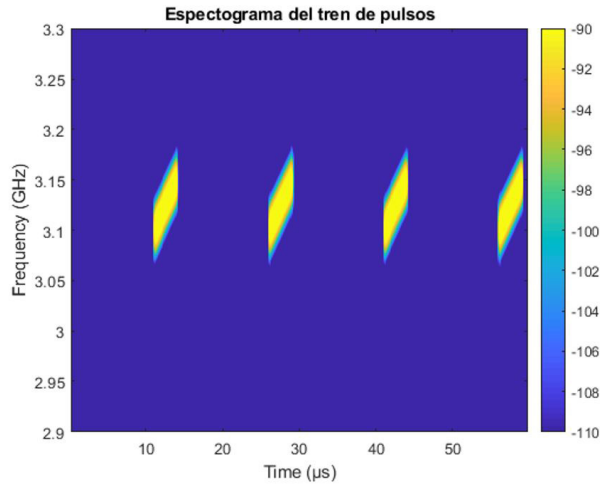


Figura 17. *Chirps* transmitidos hacia la mama durante su propagaci3n en el aire.

El espectrograma de la Figura 17 muestra detalles tales como la duraci3n del *chirp*, el espacio entre los pulsos, su ancho de banda y tambi3n su potencia; en este caso se contempla un nivel de potencia bajo (aproximadamente -90 dB) que ser3 emitido hacia el tejido biol3gico.

Se aprecia que los par3metros elegidos respetan el l3mite que exige el teorema de Nyquist con un cierto margen de redundancia.

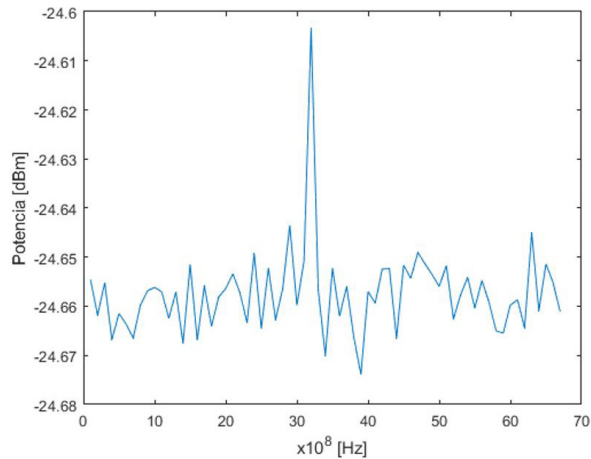


Figura 18. Potencia de un eco producido por un tumor en la regi3n de estudio.

Se observa que el «eco» recibido sigue centrado en 3.1 GHz, debido a que en la demostración no se considera el desplazamiento Doppler, ya que el tumor es un blanco estático y el desplazamiento de la antena con respecto al tumor se da a una velocidad relativa baja que se puede despreciar.

Si se considera la recepción de una cantidad N de ecos, los cuales provienen de diferentes direcciones y con niveles de potencia distintos, antes de ser procesados para la formación de la imagen, esta señal adopta la siguiente forma:

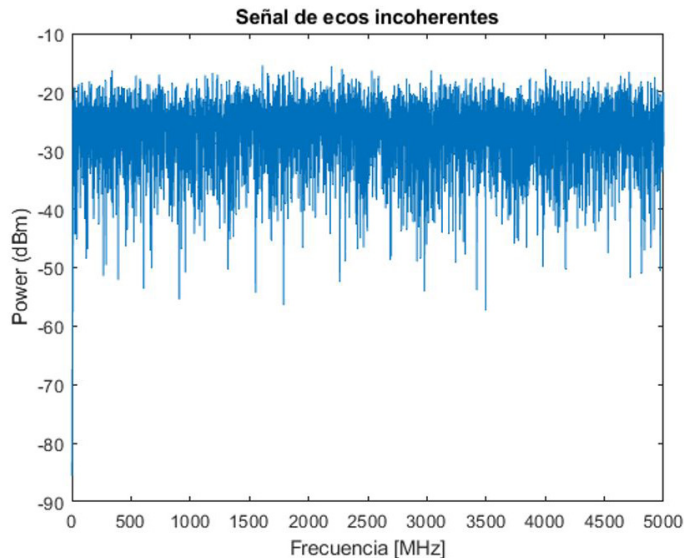


Figura 19. Suma coherente de N ecos recibidos por el radar de diferentes blancos retrodispersores.

Lo expuesto en la figura anterior coincide con lo explicado en apartados anteriores y lo expresado por Uranga (2018). Esta es la señal que conforma las celdas de la matriz de datos crudos, resultante de una suma coherente de una N cantidad de ecos correspondientes a distintos blancos retrodispersores distribuidos en el escenario. Esta suma presenta características similares al ruido gaussiano y conforma los datos que posteriormente serán procesados.

Una vez que estos datos son almacenados en la matriz, deben posteriormente ser procesados para la formación de la imagen. Para este caso se introduce el concepto de filtrado espacial para realizar la detección de un punto reflectante. El método elegido y aplicado para la elaboración del código que permitió formar la imagen a partir de las intensidades de potencia recibida en múltiples direcciones es el algoritmo de *beamforming* (Stillo, s.f).

Una vez que la señal es procesada y filtrada espacialmente se da lugar a la formación de la imagen de detección (Figura 20).

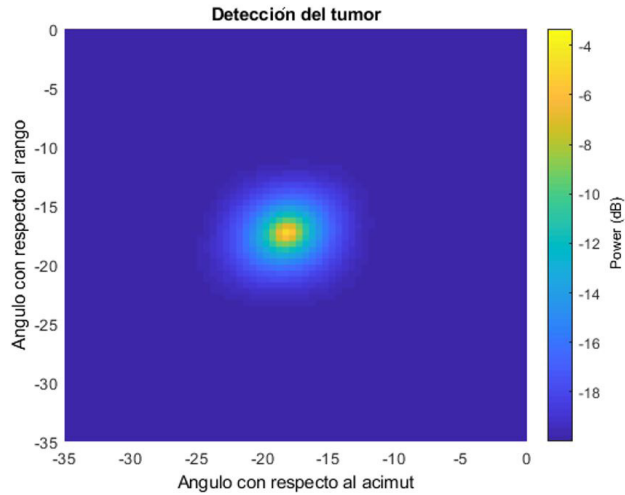


Figura 20. Simulaci3n de la detecci3n de un blanco en la regi3n de estudio.

La imagen formada permite detectar un blanco en la regi3n de estudio del sistema, que se caracteriza por los altos niveles de intensidad de potencia reflejados de los pulsos incidentes. Para este caso se simula una plataforma reflectora (tumor) ideal ubicado en el centro de coordenadas. La posici3n del punto est3 determinada por los 3ngulos formados con respecto al rango oblicuo y al acimut del radar.

6. Conclusiones

El sistema propuesto re3ne las propiedades y ventajas de m3ltiples tecnolog3as emergentes para conformar un sistema UWB; entre las m3s relevantes se citan las t3cnicas basadas en OFDM y las ventajas que ofrecen para la formaci3n de imagen y estudio de superficie, los radares SAR. El grado de complejidad del sistema viene directamente relacionado con los requerimientos que debe cumplir; se considera que el modelo propuesto y desarrollado en este trabajo presenta buenas perspectivas para su implementaci3n pr3ctica.

Una primera simulaci3n (con aplicaci3n del FDTD) permite fundamentar el principio de funcionamiento del sistema exponiendo resultados aproximados a lo que sucede en un escenario real; en este caso se reproducen los fen3menos de propagaci3n y refracci3n de una OEM. Posteriormente, una segunda simulaci3n demostr3 el funcionamiento del sistema en lo que respecta a la transmisi3n, recepci3n, procesamiento y formaci3n de la imagen.

La herramienta utilizada para tales demostraciones es Matlab®; las ventajas de los entornos virtuales son muy grandes e implementar un c3digo que permita simular entornos reales constituye una herramienta valiosa, por ello se considera que uno de los puntos relevantes de este trabajo lo constituyen las simulaciones llevadas a cabo mediante este *software*.

La solución propuesta ofrece grandes ventajas frente a los métodos usados actualmente, los cuales emplean en la mayoría de los casos radiaciones ionizantes como son los rayos X, para el caso de la mamografía y tomografía computada, y otros sistemas como los de resonancia magnética, que no fueron diseñados específicamente para este fin y no conforman una solución eficiente para dicha problemática por múltiples razones que se exponen en Rivelli (2021).

Para cerrar con el trabajo se presentó una demostración en Matlab®, mostrando posibles resultados en casos de implementación. Las ventajas de los entornos de simulación son muy grandes e implementar un código que permita simular entornos reales constituye una herramienta valiosa, por ello se considera que uno de los puntos relevantes de este artículo son las simulaciones llevadas a cabo en Matlab®.

Referencias

- Agrawal, N. y Venugopalan, K. (2008). *Analysis of Complex SAR Raw Data Compression*. En Progress in Electromagnetics Research Symposium, Cambridge, USA.
- Asociación Española Contra el Cáncer (2018). *Cáncer de mama*. Depósito legal: M-34308.
- Calderón Ramón, C. M.; López Calderón, H. D.; Escalante, J. E. y Cruz, M. I. (2019). Comparison between the Cole-Cole function and the Debye function to model the biological tissue. *Revista de Ingeniería Biomedica y Bioingeniería*, 3 (9) 1-5. DOI: 10.35429/JBEB.2019.9.3.1.5.
- Cumming, I. G. y Wong, F. H. (2005). *Digital processing of Synthetic Aperture Radar Data: Algorithms and Implementation*. Artech House remote sensing library. Artech House.
- Gómez Mejías, S. (2017). *Estudio de las propiedades dieléctricas de los tejidos: una aproximación mediante modelo computacional y experimentación*. [Trabajo final de grado en Ingeniería Espacial]. Universidad de Sevilla.
- Gutiérrez Ortega, J. C. (2016). *Diseño e instrumentación de un sistema de recepción OFDMA en plataforma FPGA*. [Tesis de Maestría en Ciencias de la Electrónica opción en Automatización]. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Repositorio Institucional <https://repositorioinstitucional.buap.mx/handle/20.500.12371/2562>
- Haykin, S. (2002). *Sistemas de comunicación*. Editorial Limusa.
- Hernández, D. E. (2016). Biología del cáncer de mama. *Revista Venezolana de Oncología*, 28(3), 188-200
- Instituto Nacional del Cáncer (s.f.). *Investigación sobre la detección y el diagnóstico del cáncer*. <https://www.cancer.gov/espanol/investigacion/areas/diagnostico>
- Jackson, C. R., y Apel, J.R. (s.f.) *Synthetic Aperture Radar Marine User's Manual. Capítulo 1: Principles of Synthetic Aperture Radar*. NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). <http://www.sarusersmanual.com/>
- Lazebnik, M.; McCartney, L.; Popovic, D.; Watkins, C.B.; Lindstrom, M.J.; Harter, J.; Sewall, S.; Magliocco, A.; Booske, J. H.; Okoniewski, M. y Hagness, S.C. (2007a). A large-scale study of the ultrawideband microwave dielectric properties of normal breast tissue obtained from reduction surgeries. *Physics, Medicine and Biology* 52. DOI:10.1088/0031-9155/52/10/001.

- Lazebnik, M.; Popovic, D.; McCartney, L.; Watkins, C. B.; Lindstrom, M. J.; Harter, J.; Sewall, S.; Ogilvie, T.; Magliocco, A.; Breslin, T.M.; Temple, W.; Mew, D.; Booske, J.; Okoniewski, M. y Hagness, S. (2007b). A large scale study of the ultrawideband microwave dielectric properties of normal, benign and malignant breast tissues obtained from cancer surgeries. *Physics, Medicine and Biology* 52. 6093– 6115. DOI:10.1088/0031-9155/52/20/002.
- Liu, J.; Mei, K.; Zhang, X.; Ma, D. y Wei, J. (2019). Estimaci3n y ecualizaci3n de canales basados en m3quinas de aprendizaje extremo en l3nea para sistemas OFDM. *IEEE Communications Letters* 23 (7). 1276-1279. DOI:10.1109/LCOMM.2019.2916797.
- Llalau Guallo, D.A. (2017). *Desarrollo de un prototipo mediante un radar de apertura sint3tica (SAR) para la detecci3n de objetos en ambientes internos con una tarjeta USRP B210*. [Tesis de grado]. Escuela Superior Polit3cnica de Chimborazo. Repositorio Institucional. <https://1library.co/document/ye11090z-escuela-superior-polit%C3%A9cnica-de-chimborazo.html>
- National Cancer Institute (NCI) – Bethesda MD. (s.f.). *PDQ® sobre el tratamiento para adultos. PDQ Tratamiento del c3ncer de seno (mama) en adultas*. <https://www.cancer.gov/espanol/tipos/seno/paciente/tratamiento-seno-pdq>
- Rivelli Malc3, J. P. (2021). *Modelo de un sistema para detecci3n de c3ncer de mamas*. [Trabajo final de grado en Ingenier3a en Telecomunicaciones]. Universidad Cat3lica de Salta.
- Salazar Y. (2004). *Caracterizaci3n de tejidos card3acos mediante m3todos m3nimamente invasivos y no invasivos basados en espectroscopia de impedancia el3ctrica*. [Tesis doctoral]. Universidad Polit3cnica de Catalu1a, Departament d'Enginyeria de Sistemes, Autom3tica i Inform3tica Industrial. Repositorio Institucional UPC. <http://hdl.handle.net/2117/93499>
- Schmid, G.; Neubauer, G. y Mazal, P.R. (2003). Dielectric Properties of Human Brain Tissue Measured Less Than 10 h Postmortem at Frequencies from 800 to 2450 MHz. *Bioelectromagnetics* 24 (6). 423–430.
- Stillo, G. (s.f). *T3cnicas adaptivas de filtrado espacial: Beamformers*. https://www.fing.edu.uy/iie/ense/assign/tes/materiales/monografias/Beamforming_GonzaloS.pdf
- Sullivan D. M. (2000). *Electromagnetic Simulation using the FDTD Method*. IEEE Press Series on RF and Microwave Technology. Wiley-IEEE Computer Society Press.
- Tomasi, W. (2003). *Sistemas de comunicaciones electr3nicas*. Pearson Educaci3n.
- Torrealba Mel3ndez, R. (2014). *Sistemas de radar de banda ultra ancha con aplicaciones en imagenolog3a y caracterizaci3n de materiales*. [Tesis doctoral]. Instituto Nacional de Astrof3sica, 3ptica y Electr3nica, Tonantzintla, Puebla. Repositorio Institucional. <https://inaoe.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1009/159/1/TorrealbaMeR.pdf>
- Torres Betancor, M. E. (1999). *Efectroscop3a diel3ctrica y otras propiedades f3sicas de tratados simples: puros y dopados*. [Tesis doctoral en Ciencias F3sicas]. Universidad de la Laguna. Repositorio Institucional <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/12415>.
- Uranga, J. N. (2018). *Implementaci3n Paralela en GPGPU portable del algoritmo WK para enfoque SAR*. [Tesis de maestr3a]. Universidad Nacional de la Matanza. Repositorio Institucional. <http://repositoriocyt.unlam.edu.ar/handle/123456789/440>

Winslow, T. (2011). *Información general del cáncer de mamas*. Instituto Nacional del Cáncer. <https://nci-media.cancer.gov/pdq/media/images/710874-750.jpg>

Zabala Blanco, D.; Mora, M.; Azurdia-Meza, C.A. y Firoozabadi, A. D. (2019). Extreme Learning Machines to Combat Phase Noise in RoF-OFDM Schemes. *Electronics* 8(9).

Juan Pablo Rivelli Malc6

Perfil acad6mico y profesional: Ingeniero en Telecomunicaciones (Universidad Cat6lica de Salta, 2021).

Correo electr6nico: privelliucasal@gmail.com

David Zabala Blanco

Perfil acad6mico y profesional: Doctor en Tecnologías de Información y Comunicaciones (Instituto Tecnol6gico de Monterrey, M6xico). Desde el 2019 es investigador posdoctoral en la Universidad Cat6lica del Maule (Talca, Chile), en temas tales como sistemas de comunicaci6n **6pticos e inal6mbricos, formatos de modulaci6n multipor-tadora, m6quinas de aprendizaje extremo y clasificaci6n de huellas digitales.**

Correo electr6nico: dzabala@ucm.cl

Una apreciación sobre la llamada «edad de oro» de la ciencia y la tecnología en la universidad argentina

An appraisal of the so-called «golden age» of science and technology in Argentine universities

Roberto Daniel Breslin¹

Ciencias de la Ingeniería/ ensayo

Citar: Breslin, R. D. (2021). Una apreciación sobre la llamada «edad de oro» de la ciencia y la tecnología en la Universidad Argentina. *Cuadernos de Ingeniería* (13). Recuperado de: <http://revistas.ucasal.edu.ar>

Recibido: octubre/2021

Aceptado: diciembre/2021

Resumen

En este ensayo el autor indaga en la presunción de que el período 1955-1966 es de alguna manera subestimado por los historiadores de la ciencia en la República Argentina. A tal fin, con datos de una profusa investigación bibliográfica, detalla los hitos de ese período en el área de las ciencias de la ingeniería y de la tecnología.

Palabras clave: ciencia, tecnología, universidades argentinas, edad de oro

Abstract

In this essay, the author inquiries into the assumption that the period 1955-1966 is somehow underrated by the science historians from Argentina. To that end, with data extracted from a profuse bibliographic research, he details the milestones of those years in the areas of engineering sciences and technology.

Keywords: science, technology, Argentine Universities, golden age

1 Universidad Católica de Salta.

1. Introducción

Las ciencias de la ingeniería y de la tecnología en la Argentina han tenido un desarrollo histórico estrechamente ligado a los vaivenes políticos e ideológicos del país. Los propios investigadores sobre esta temática toman posiciones políticas tendientes a encomiar determinados avances y desarrollos, minimizando otros. Esto lo he podido percibir al hacer la búsqueda bibliográfica y documental sobre el tema. Se hace notorio que el período comprendido entre 1955 y 1966 (e incluso posterior a 1966) en muchos casos es examinado con un tratamiento limitado, contrastando severamente con otros contextos históricos más ligados con algunos gobiernos de raíz peronista.

No deja de llamar la atención que en las propias descripciones históricas de universidades nacionales se haga poca o ninguna mención a este periodo, teniendo en cuenta que fue la etapa en la que las investigaciones y los desarrollos albergados en el seno de las universidades nacionales tuvieron un vigoroso reconocimiento internacional, lo que posicionó a nuestro país en los niveles de excelencia científica de la época, con grandes hitos en diversas áreas científicas y tecnológicas; pero que en este artículo se centrarán en el campo de las ingenierías (Breslin, 2021).

Como evidencia de la precedente afirmación se menciona un artículo de Fabiana Beckerman (2016) que trata específicamente sobre la investigación científica desde 1950; solo se refiere al período histórico 1955-1966 en un párrafo, mientras que el artículo completo posee 21 páginas. En un artículo de Eduardo Mallo (2016) sucede una situación similar. Solo se expresa el cambio institucional que se vive en el período histórico posterior a la Revolución Libertadora sin hacer referencia a los avances científicos y tecnológicos.

Un claro ejemplo de minimización de esta etapa se puede ver en la página institucional de la Universidad Nacional del Sur, en donde su reseña histórica dedica un gran párrafo a los antecedentes durante el gobierno peronista y, sin embargo, apenas un par de renglones a la propia creación de la universidad, en 1956 (Mallo, 2016).

Sin embargo, esta perspectiva tiene como contrapartida el análisis que hace Hernán Comas-tri sobre el periodo:

... este consenso, construido desde la oposición al peronismo, se retroalimentó de la producción historiográfica y alcanzó su mayor expresión en la construcción simbólica de una «Edad Dorada» de la UBA [Universidad de Buenos Aires] que se generalizó de forma acrítica a todas las universidades argentinas. Culminación de largas luchas por la libertad académica, el autogobierno y la excelencia académica (ideales de la Reforma Universitaria de 1918), la centralidad y eficacia narrativa de esta «Edad Dorada» en la Universidad exigió un rebajamiento valorativo del período precedente. Tal ruptura fue una necesidad lógica de la narrativa: no podía reconocerse continuidad alguna. (Comas-tri, 2015).

Tal como se aprecia, las posiciones divergentes sobre el mismo tema están planteadas. En este ensayo se busca poner en evidencia la importancia de una cantidad de hitos en el campo de la investigación y del desarrollo tecnológico (en el área de las ingenierías) que considero altamente relevantes y que posicionaron a la República Argentina como un integrante notable en el concierto de la ciencia y de la tecnología mundiales.

2. Contexto histórico

El 2 de octubre de 1955, a pocos días de consumada la denominada «Revolución Libertadora», el flamante ministro de Educación, Atilio Dell’Oro Maini, un influyente intelectual de los círculos católicos y exdecano interventor de la Facultad de Derecho en 1943, oficializaba la designación del historiador José Luis Romero como rector de la Universidad de Buenos Aires (UBA). La postulación de Romero había surgido de una terna presentada por la Federación Universitaria de Buenos Aires (FUBA), circunstancia que no hacía sino exteriorizar la capacidad de presión de la dirigencia estudiantil, dirigencia que por su actuación se había visto fortalecida como una de las principales fuerzas de agitación del dilatado arco antiperonista (Ceballos, 1985). El «acuerdo desperonizador» entre sectores con pertenencias políticas, ideológicas, confesionales y generacionales completamente disímiles constituye el telón de fondo de los años por venir (Tortti y Blanco, 2004).

Comastri (2015), haciendo una crítica desde la historia oral, para el caso específico de la memoria sobre la política científico-tecnológica y de la historiografía sobre el decenio peronista que va de 1946 a 1955, caracteriza el período como de estancamiento o retroceso académico en un sentido amplio y, más puntualmente, en el ámbito universitario. Siguiendo la misma lógica, la caída del gobierno peronista es tomada como la condición necesaria para el desarrollo de las potencialidades de la ciencia argentina que para el caso específico de la UBA desembocarían en la llamada «edad dorada» que se extiende hasta la intervención en 1966. Esta visión cumple tanto la función de historia oficial académica como la de recuerdo vivo de los miembros del movimiento estudiantil de la época, coincidencia que permite inferir que ambos registros no actúan de forma completamente independiente y aislada.

Asimismo, en ese proceso se dio un papel protagónico al movimiento estudiantil, con la participación en las políticas oficiales dentro de la universidad.

Las etapas previas de la universidad argentina y, en particular, de la Universidad de Buenos Aires habían sido caracterizadas por una universidad orientada a la formación de profesionales; es decir, una universidad profesionalista. Esta característica se acentúa fuertemente durante el gobierno de Perón, y es por ello que una de las transformaciones que experimenta la universidad es la de constituirse en una universidad de característica científica, es decir, existe una articulación de los criterios de la función universitaria que conjuga investigación y docencia, y la docencia misma es producto y fruto de la propia investigación. Este enfoque no estaba totalmente generalizado, ya que ni la Facultad de Derecho ni de Ciencias Económicas (hegemonizada por los contadores públicos) adherían a un modelo de esta naturaleza. De hecho, en la disputa por la distribución del presupuesto estas dos facultades se enfrentaban a la de Ciencias Exactas y a otras.

En el modelo planteado se constituye una universidad de tipo científico-docente, y es justamente esta impronta —que en el caso de la Universidad de Buenos Aires se recuerda que esa etapa entre los años 1955 y 1966 fue como una verdadera «edad de oro» caracterizada por la transformación de las estructuras curriculares y el prestigio adquirido por sus docentes e investigadores— la que, si bien era un objetivo y una aspiración de comienzo del siglo, nunca había sido perseguida de forma sistemática en el mundo de la posguerra.

La ciencia cumplía un papel central y las iniciativas en este sentido, que se habían desarrollado durante el primer peronismo, habían logrado resultados modestos —no obstante, importantes dentro de Latinoamérica—; el atraso en materia científica era particularmente evidente en el ámbito de las ciencias sociales.

3. Fortalecimiento de la actividad de I+D en la universidad argentina

Según Buchbinder (2005) los ejes principales de la transformación universitaria en la «edad dorada» son los enumerados a continuación:

1. Depuración del cuerpo docente con la idea de desperonizar la universidad.
2. Sanción de nuevos estatutos, con la participación estudiantil con voz y voto.
3. Fortalecimiento de la autonomía universitaria.
4. Normalización de las autoridades.
5. Transformación de las estructuras curriculares.
6. Reordenamiento de la estructura basada en facultades.
7. Creación de nuevas carreras y reorganización de la estructura curricular.
8. Renovación de la infraestructura y del equipamiento.
9. Fortalecimiento del perfil científico y de investigación de la universidad.
10. Creación del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).
11. Creación del Consejo Interuniversitario Argentino.
12. Inclusión de la función de extensión universitaria.
13. Creación de la editorial universitaria de Buenos Aires (EUDEBA).

En este trabajo abordaré centralmente el aspecto del fortalecimiento del perfil científico y de investigación en algunas universidades argentinas, destacando los logros que tuvieron mayor significación y trascendencia.

La atención pública al desarrollo científico en la Argentina fue temprana y explícita. Ya el gobierno de Domingo Faustino Sarmiento importó investigadores y creó instituciones científicas, como el Observatorio Astronómico de Córdoba, en un intento de replicar las capacidades innovadoras de la sociedad norteamericana; de hecho, los primeros grupos de investigación científica reconocibles como tales surgieron al comienzo del siglo XX, en particular en ciertas ramas de la Física y en el llamado complejo biomédico. Estos grupos tuvieron su localización institucional en las universidades que por entonces eran solo de gestión pública. Tres de ellas sobresalieron como las más destacadas con relación al desarrollo de la ciencia del país: la Universidad Nacional de Buenos Aires, la Universidad Nacional de La Plata y la Universidad Nacional de Córdoba, aunque cabe mencionar importantísimas investigaciones de la Universidad Nacional de Tucumán (durante el rectorado de Horacio Descole, que comenzó en el gobierno peronista con la concreción de institutos y la radicación de científicos), y de la Universidad Nacional del Sur.

La investigación científica alcanzó su momento de mayor visibilidad y madurez durante las décadas de los 50 y los 60, cuando se conjugaron diversos factores que permitieron producir lo que se recuerda como la «época de oro de la ciencia del país». Si bien el premio Nobel le había sido otorgado a Bernardo Houssay en 1947, fue en las dos décadas siguientes cuando la investigación científica estuvo a la par de la desarrollada en el máximo nivel internacional. Aquellos esfuerzos de investigación obtuvieron el reconocimiento mundial con el posterior otorgamiento del premio Nobel a Luis Leloir en 1970 y a César Milstein en 1984 (aunque en este último caso el premio investigaba fuera del país).

Es justo decir que lo sucedido en la época dorada fue la conclusión de algunos esfuerzos, que aunque sectarios y sesgados por la ideología predominante del peronismo, sí dieron continuidad a una cantidad de esfuerzos previos. De tal forma, la creación del CONICET puede aproximarse, entre otras, a la evolución de la Comisión Permanente de Investigación Científica y Técnica y el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) tuvo como precedente al Instituto Tecnológico. Es real que el segundo plan quinquenal de 1952 contenía interesantes disposiciones en relación con la ciencia y con la difusión de la información científica y tecnológica, tales como la creación del Centro Nacional de Documentación Científica y Técnica, destinado a difundir el conocimiento científico y tecnológico dentro de la comunidad empresarial, y la designación de agregados en ciencia y tecnología para embajadas argentinas en los países más desarrollados, con el objeto de mantenerse en la avanzada en esos campos (Brennan, 1997). Un hito fundacional fue la creación de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) que produce importantes desarrollos tecnológicos.

El surgimiento de estas instituciones orientadas hacia la producción y la difusión tecnológica, sobre todo el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), el INTI y la CNEA, se orientaba a resolver problemas que eran complejos y críticos para afrontar los problemas que enfrentaba la economía argentina desde principios de la década del 50, cuando se hicieron evidentes algunas restricciones y «cuellos de botella» de la industrialización sustitutiva (Bisang, 1995); no obstante, es significativo que se inició un proceso de venta al exterior de tecnología y de servicios de ingeniería de origen local, así como que cobró impulso el desarrollo de ramas de mayor complejidad como la electrónica, la farmacoquímica y la de maquinarias y herramientas (Nun, 1995).

Sin embargo, a partir de 1955, con Bernardo Houssay al frente del CONICET, se renovó el reclamo hecho público al Estado tiempo atrás, para que este dispusiera de los mecanismos institucionales y sobre todo de los recursos necesarios para la promoción de la investigación científica, al tiempo que se reclamaba la autonomía de la comunidad científica para la toma de decisiones.

La política de ciencia y tecnología constituye, entonces, un aspecto de modernización cultural social y económica que tuvo su punto de referencia más sistemático en el programa del desarrollismo, e implicó la creación y puesta en marcha de un conjunto de instituciones y normas orientadas a posibilitar la existencia de carreras formales de investigación; sobre todo, a través de los sistemas de becas del CONICET, de las dedicaciones exclusivas en la universidad, de la carrera de investigador científico como un sistema de categorización de los investigadores (principalmente universitarios), sin relación laboral y salarial. El CONICET abonaba una beca o estipendio a los investigadores categorizados, lo que constituía un reconocimiento científico y también económico.

La problemática de la tecnología tuvo relevancia a partir de los años 60 en el contexto del auge del pensamiento desarrollista inspirado por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y de la apuesta pública. Esta última fue el impulso de grandes emprendimientos en la actividad de investigación y desarrollo que tuvieron cierto grado de implantación en las empresas públicas, particularmente en las áreas de energía y de defensa.

La Comisión Nacional de Energía Atómica se convirtió en un emblema de la capacidad científica y tecnológica local; ya que, además de cumplir con su cometido, potenció la creación de empresas capaces de producir bienes con muy alto valor agregado (algunas de ellas siguen activas actualmente).

Sin embargo, la historia institucional de la política científica y tecnológica ha transcurrido en la Argentina más próxima a la perspectiva y a los intereses de la investigación académica que de las demandas del sector productivo. Según Albornoz (2007), la creación de los organismos mencionados precedentemente puede ser explicada en función de tres factores: el auge de la teoría de desarrollo, la creencia acerca de que el Estado debe desempeñar un papel protagónico en el estímulo y la producción de conocimientos científicos tecnológicos, con una verdadera planificación de dichas actividades y la difusión de modelos institucionales para planificación promoción y producción de conocimientos difundidos por agencias internacionales, como la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y la Organización de Estados Americanos (OEA).

Para comprender la impronta del perfil científico de la universidad argentina nos tenemos que referir a un artículo escrito por el propio doctor Bernardo Houssay en el diario *La Nación* en 1939, denominado «Concepto de la universidad como alma y como cuerpo». En este sentido, Houssay dice textualmente:

... la universidad tiene como función crear los conocimientos, propagarlos y formar los hombres dirigentes de un país, la función primera es pues, la de crear los conocimientos para que luego puedan enseñarse. Los problemas a resolver son y seguirán siendo infinitos y corresponde su aclaración a la universidad como centro superior del conocimiento. Por estas razones la investigación es la característica esencial que distingue a una facultad o escuela o instituto universitario. Un centro que no investiga puede ser una escuela técnica o de arte u oficio pero no es verdaderamente universidad, aunque ostente ese título en virtud de lo cual no son verdaderamente universitarias sino técnicas las escuelas industriales o politécnicas, no son tampoco universitarias sino auxiliares de la universidad las escuelas donde se aprenden oficios o técnicas conocidas pero no hayan los nuevos conocimientos ni investigan problemas como son las escuelas de parteras y enfermeras, contra maestras, masajistas auxiliares de laboratorio, etcétera. (Houssay, 1939)

Este enfoque de Houssay está plasmado en el informe que Vannevar Bush (Bush, 1999) le hace al entonces presidente de Estados Unidos, Roosevelt, titulado *La frontera sin fin*, que fundamenta, años después, la creación de la National Science Foundation como órgano estatal de apoyo a la investigación básica en las universidades estadounidenses.

Continúa Houssay diciendo que

... otra función esencial de la universidad es formar la clase dirigente de una nación, o sea, los hombres cultos y educados que se distinguen por su manera más acertada de hallar, plantear y resolver los problemas y por su amor a las cosas bellas y elevadas, la función social de la universidad es entonces múltiple, ya que debe crear y difundir ampliamente los conocimientos cada vez más perfectos que se alcancen por la investigación, debe preparar profesionales que apliquen experta y razonadamente técnicas y métodos útiles a la sociedad y que sean capaces de seguir, atentamente, el adelanto de sus profesiones durante toda su vida. Debe formar los hombres más sobresalientes de la sociedad por su cultura general y su preparación, su actitud de comprender, su decisión y capacidad hombres de acción, inteligentes realizadores, pero no impulsivos o intuitivos. (Houssay, 1939)

En el plano político, el pensamiento de Houssay también es memorable, cuando dice: «Una verdadera democracia es la que asegura que las posiciones dirigentes sean ocupadas por los más capaces y más rectos, no por los más audaces ni por los que compran las voluntades mediante la venalidad o la corrupción» (Houssay, 1939).

Finalmente, y referido específicamente a la investigación científica, expresa Houssay:

La potencia de un país y en cierto grado de independencia dependen de su continuo adelanto técnico mantenido por la investigación permanente, un país técnicamente débil no es una potencia poderosa no hay más que dos posiciones ser independientes e ir a la par de los mejores por medio de la investigación, o bien ir remolcado en situación subordinada dependiente y tributaria de los demás. (Houssay, 1939)

Cabe señalar que Houssay presidió la Asociación Argentina para el Progreso de la Ciencias, fundada a principios de los años 30, que expresaba, en ese entonces, la necesidad del financiamiento estatal a la investigación científica. Años más tarde, con el apoyo filantrópico de empresas, se crea el Instituto de Biología y Medicina Experimental (IBYME) y, a principios de los años 50, con Braun Menéndez y otros, promueve la creación de una «universidad libre» con enfoque humboldtiano, para lo cual, habían manifestado su compromiso de apoyo económico empresas como Rigolleau y Fabril Financiera, entre otras. La ruptura del vínculo del gobierno con la Unión Industrial Argentina (UIA) provocó que los empresarios desistieran de apoyar esa nueva universidad de investigación (se debe recordar que una universidad humboldtiana no se sostiene con los aranceles).

4. EI CONICET

Uno de los organismos nacionales icónicos del periodo dorado, que mayor interacción tuvo y tiene con el ámbito académico universitario, es el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, CONICET.

Fue creado en 1958 como un ente autárquico al que se le asignó la misión de promover, coordinar y ejecutar investigaciones en el campo de las ciencias puras y aplicadas. Este órgano, íntimamente vinculado con las universidades, fue dotado de tres instrumentos fundamentales: la carrera de investigador científico y tecnológico con su correspondiente carrera del personal de apoyo, las becas para formación de investigadores y los subsidios para el financiamiento de la investigación.

La creación del CONICET tiene como principales antecedentes a la Sociedad Argentina para el Progreso de las Ciencias, que fue presidida por Bernardo Houssay desde 1934 hasta 1957, y al Consejo Nacional de Investigaciones Técnicas y Científicas (CONITYC) durante la primera presidencia de Juan Domingo Perón, que nació con el objeto de desarrollar y modernizar el país bajo un estado promotor de la ciencia y de la tecnología. En 1958, el CONICET es creado y Houssay lo preside desde su fundación hasta su fallecimiento, en 1971.

Entre los mecanismos más importantes que implementó el consejo, se pueden mencionar el sistema de subsidios y el programa de becas. Sin embargo, la carrera de investigador científico y tecnológico, creada en 1961, fue el instrumento más importante en la construcción del vínculo con las universidades, porque daba la posibilidad de desarrollar la actividad en cualquier ámbito institucional válido en la especialidad.

5. El desarrollo científico en las universidades de Argentina

El desarrollo científico-tecnológico se manifestó principalmente en la Universidad Nacional de Buenos Aires, la Universidad Nacional de La Plata y la Universidad Nacional de Córdoba. En la UBA se dio particularmente en la Facultad de Ciencias Exactas. Deseo referirme a hitos en avances de ciencia y técnica en las universidades en el período considerado, para validar la importancia que indudablemente tiene y que, a mi parecer, se soslaya injustamente.

5.1 Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas

Particularmente a partir de 1957, la participación de Manuel Sadosky como vicedecano y de Rolando García como decano de la Facultad de Ciencias Exactas y, al mismo tiempo, vicepresidente del CONICET, contribuye de una manera decisiva al apoyo de la investigación en la universidad. Uno de los hitos de la Facultad de Ciencias Exactas de la UBA fue en el área de la computación.

El grupo conformado por Sadosky, García, y la profesora Rebeca Guber afrontó un proyecto de gran repercusión como fue el de dotar a la Universidad de Buenos Aires con la primera computadora del país. La financiación estuvo a cargo del CONICET, organismo que aportó los 400.000 USD necesarios para comprarla. Si bien el doctor Bernardo Houssay no estaba muy entusiasmado con la idea, algunos amigos en común intercedieron y de esta manera la facultad pudo iniciar la búsqueda de la computadora. Se optó por la que se denominaba Mercury y era de la firma Ferranti de la ciudad de Manchester, en Inglaterra. Esta computadora usaba un lenguaje de programación denominado Autocode y se pudo inaugurar el 15 de mayo de 1961, tenía 14 gabinetes para el procesador y cuatro para una memoria de 5 kilobytes. Cabe acotar que ese mismo año llegaron al país otras cuatro com-

putadoras, entre ellas dos UNIVAC de Remington Rand con tecnología de transistores (más modernas que la Mercury). Su nombre «Clementina» se origina a que vino preparada para ejecutar con sencillos bips la canción *Oh My Darling Clementine*, muy popular en Inglaterra; sin embargo, en la Argentina fue preparada para ejecutar ciertas óperas y *La cumparsita* (Balmaceda, 2017). Más allá de las anécdotas, se fundó el Instituto del Cálculo, donde Clementina fue la herramienta vital y especialmente eficaz para los especialistas en matemática aplicada. El primer curso de programación automática, en mayo de 1961, puede considerarse la iniciación del Instituto de Cálculo y el comienzo del funcionamiento de la primera computadora universitaria argentina. La lista de las empresas e instituciones públicas que enviaron miembros de su personal a realizar este primer curso es elocuente con respecto a las expectativas múltiples que despertaba la computadora a comienzos de los años 60 (Hurtado, 2013). Jacovkis (2013) refiere a que el grupo dirigente de esta facultad se propuso «crear una facultad de nivel científico internacional, interesada en los problemas nacionales, a cuya solución, en forma tal vez ingenua, se pensaba que contribuiría mucho».

Se realizaron investigaciones para establecer pautas en el sistema de ahorros y préstamos, el estudio de los ríos patagónicos, la resolución de cálculos astronómicos (por ejemplo, para establecer la órbita del cometa Halley), la construcción de centros comerciales, el análisis del funcionamiento de reactores nucleares, las investigaciones cardiológicas y las traducciones de textos. Con base en todo el conocimiento adquirido, la Facultad de Ciencias exactas creó en 1963 la carrera de Computador Científico. Tal fue la trascendencia de esta carrera que, comparativamente con los Estados Unidos, fue pionera; ya que fue el primer currículum general de la Association for Computing Machinery. En 1968 el profesor emérito de la Universidad de Buenos Aires y exdecano de la facultad, Pablo Jacovkis, expresó que la idea de la creación de la carrera era más que nada como auxiliar del científico. El desarrollo inmenso que tendría la computación comercial e incluso su impacto enorme en la sociedad no estaba todavía en la mente de Manuel Sadosky, que fue uno de los principales promotores de la carrera. En Argentina, así como en Estados Unidos, el impulso principal para el desarrollo de la computadora estuvo en manos de científicos, quienes necesitaban hacer cuentas más rápido y con más variables.

En razón de que los primeros inscriptos eran alumnos que ya tenían las materias de ciencias básicas aprobadas, y considerando que la carrera era de tres años y medio de duración, en 1964 se pudieron recibir los primeros computadores científicos que tuvieron que aprobar las materias puramente de computación para obtener esta especialidad pensada como auxiliar de la labor científica.

Un área que constituyó un gran prestigio internacional fue la radioastronomía. En 1957, el astrónomo estadounidense Eugene Merle Shoemaker de la Carnegie Institution for Science of Washington, comenzó a extender la actividad radioastronómica al hemisferio sur e incluyó a la Argentina en sus planes de construir un radiobservatorio de carácter nacional; instaló en la Universidad de Buenos Aires un interferómetro solar de 86 MHz en el marco de la creación de la Comisión de Astrofísica y Radioastronomía. Con posterioridad se crea el Instituto Nacional de Radioastronomía con el apoyo del CONICET y se elige al doctor Carlos Varsavsky, de la Universidad de Buenos Aires, como director. Varsavsky había regresado a la Argentina en 1960, como doctor en astronomía por la Universidad de Harvard y, de hecho, su tesis sobre transiciones atómicas de interés astrofísico fue durante décadas una obra de referencia.

Uno de los primeros hitos fue la detección por primera vez, el 11 de abril de 1965, de la línea de emisión del hidrógeno neutro en la frecuencia de 1420 MHz.

5.2 Universidad Nacional de la Plata

En el trabajo de Pis Diez (2018; 2015) respecto al caso de la Universidad Nacional de la Plata (UNLP) en el posperonismo, se hace referencia a un conjunto de trabajos de investigación que se abocan a reconstruir la historia de la UNLP en el marco de aniversarios claves o programas institucionales de recuperación de la memoria de dicha casa de estudios. Estos estudios tienen en común el presentarse como breves reconstrucciones de amplios periodos históricos basadas, asimismo, en la *racconto* de importantes transformaciones, debates y conflictos a partir del trabajo documental en general.

El período iniciado en 1955 se caracterizó en las universidades por un clima plural, democrático y modernizador, atravesado por ambigüedades. Por un lado, una lógica progresista que se ve acompañada con otra excluyente y sectaria hacia los actores identificados con el peronismo y, por otro, se destacó una suerte de intento de las autoridades universitarias por mantener separadas las esferas académicas de la esfera política que habría derivado en una dinámica institucional con un grado de ajenidad llamativo respecto del devenir político institucional.

Suasnábar (2004) afirma que la Universidad Nacional de la Plata habría estado menos atravesada por los conflictos políticos que se desplegaron con la propuesta de modernización. Esta suerte de estabilidad se explica por varias razones: entre ellas, la propia tradición institucional dada por la idea de una universidad centrada en la investigación y con la cual el proceso en ciernes se encontraba en consonancia. Señala además la existencia de una suerte de clima de optimismo basado en la articulación con el liberalismo democrático que, en clave reformista, propiciaba una investigación científica, enseñanza profesional y cultura general. Otra hipótesis del autor en relación con el menor nivel de conflictividad es que dentro del cuerpo docente no había una voluntad de constituir a la casa de estudios como un actor social y político y existía una escasa faccionalización de la vida académica, por consiguiente, una mayor susceptibilidad a posiciones más radicalizadas que no tardaron en presentarse.

5.2.1 La Radioastronomía

Uno de los hitos científicos que atravesó a la Universidad Nacional de la Plata y también a la Universidad de Buenos Aires en consonancia con el CONICET fue la creación del Instituto Argentino de Radioastronomía en 1962, para promover y coordinar la investigación y el desarrollo técnico de la radioastronomía en la Argentina, colaborando en la enseñanza y la difusión de la astrofísica y disciplinas afines. Tal trascendencia tuvo este instituto, que en el año 1966 comenzó la construcción del primer radiotelescopio de Latinoamérica y el segundo del hemisferio austral en colaboración con estudiantes avanzados de física e ingenieros de la Universidad de Buenos Aires. La iniciativa partió del doctor Merle Anthony Tuve, un científico norteamericano integrante de Department of Terrestrial Magnetism (DTM), de la Carnegie Institution of Washington (CIW). En 1952, median-

te el descubrimiento de Edwin y Purcel, en Harvard, de la emisión de Hi proveniente de nuestra galaxia (la Vía Láctea), Tuve tiene la idea de crear un observatorio radioastronómico en Sudamérica que, además de permitir las observaciones a los miembros del DTM, tuviera un carácter regional.

Separadamente, también en 1958, el doctor Jorge Sahade, quien se encontraba en Estados Unidos, y el entonces director del National Radio Astronomy Observatory (NRAO), el doctor Otto Struve, organizaron el viaje de dos ingenieros jóvenes y de un astrónomo al NRAO con el propósito de especializarlos en Radioastronomía. A través del ingeniero Barcala, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata, se seleccionaron dos ingenieros recién recibidos, Emilio Filloy y Ruben Dugatkin, quienes, por medio de becas de la Comisión de Investigaciones Científicas (CIC) de la Provincia de Buenos Aires, viajaron a Estados Unidos en septiembre de 1961. En vista del éxito de la experiencia promovida por la CIW-DTM, esta decidió progresar con esta colaboración. Originalmente, el doctor Tuve pensaba enviar a Sudamérica el radiotelescopio que tenían funcionando en Derwood, consistente en una antena de 8 m de diámetro y un receptor de 60 canales para la observación de la línea de 21 cm del Hi. Cuando se enteraron del costo de desmantelarla y enviarla por barco, decidieron que era mejor construir una antena nueva en el lugar, enviando solo la mínima parte armada y el resto en forma de caños de acero y aluminio, lo cual era sensiblemente más barato.

Los profesores Carlos Jaschek de la UNLP y Gaviola y Cernuschi fueron de los primeros organizadores del proyecto; sin embargo, la decisión sobre la instalación de un radiotelescopio estuvo signada por la impronta de la UNLP, ya que contaba con un observatorio astronómico y facilidades para la instalación. Carlos Varsavsky, que había regresado en 1960 luego de doctorarse en Harvard, fue el elegido para llevar a cabo el proyecto, que se decidió instalar en el Parque Pereyra Iraola en La Plata. El 1 de enero de 1963, el entonces presidente de la nación argentina, doctor José María Guido, firmó el decreto por el cual entraban libres de impuestos los componentes del radiotelescopio que fue inaugurado el 26 de marzo de 1966.

5.2.2 Motores cohete

El desarrollo de motores cohete fue icónico dentro de la UNLP, proceso que comenzó en 1942. El 30 de septiembre de ese año el decano de la Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas, ingeniero Julio Castiñeiras, presenta dos proyectos de ordenanza: el primero, la creación del Instituto de Aeronáutica; segundo, el plan de estudios para la carrera de Ingeniería Aeronáutica.

Ambos fueron aprobados y posteriormente sancionados por el Poder Ejecutivo Nacional el 1.º de junio de 1943, y se designó personal directivo y docente encargado de organizar los cursos y la estructura definitiva del Instituto. Las clases se iniciaron inmediatamente, dictándose los cursos hasta cuarto año inclusive. El plan de estudios inicial constaba de 35 asignaturas a desarrollarse en seis años (UNLP, s.f.).

En 1944 la especialidad ya contaba con 92 alumnos. Ese mismo año se construye un banco balanza, de prueba de motores alternativos radiales y en línea, para una potencia máxima de 400 HP. Con la colaboración de instituciones militares y civiles de la Nación y Provincia se lleva a cabo su instrumentación.

A fines de 1944, se construye el túnel aerodinámico de circuito cerrado con sección de prueba de forma elíptica, de dimensiones aproximadas 0,6 m x 1,2 m, impulsado por un motor de corriente continua de 50 HP, que mueve una hélice especial de 6 palas. Se emplaza en forma vertical en el edificio provisorio del Departamento, en una sala en la que más tarde funcionará un aula, encontrándose parte de este un metro bajo el nivel del suelo.

En diciembre de 1947, obtienen el título en la especialidad los primeros egresados en Ingeniería Aeronáutica, los señores Leonardo D'Attorre y Gerardo Luis Ventura.

A fines de la década del 40, comienza la construcción de aeroplanos, siendo un planeador primario la primera aeronave construida.

Durante el año 1953, se inauguran las nuevas instalaciones de Aeronáutica, a la cual se trasladan la jefatura, la secretaría administrativa y académica, la biblioteca, y las aeronaves y motores que se encontraban en dependencias de la Escuela Superior de Hidráulica, situada en terrenos ubicados en El Dique, partido de Ensenada.

En 1960, de la a mano del ingeniero electromecánico graduado de la entonces Facultad de Ciencias Físico Matemáticas de la Universidad Nacional de la Plata, Teófilo Tabanera, se funda la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales, que convoca a universidades del país y, entre ellas, a la Universidad Nacional de La Plata para que su departamento de aeronáutica participe en la actividad espacial. Es así que grupos de docentes investigadores comienzan a desarrollar motores cohete y, por un pedido de la Armada Argentina, se comienza el estudio de la factibilidad de construcción de un motor cohete a combustible líquido con un empuje de 1000 kg.

Durante esta década y la del 70 se complementa dicha investigación con la de motores de combustible sólido; además, con la instrumentación del banco de pruebas. También se llevan a cabo ensayos de verificación y aptitud de motores cohete de combustible sólido para las fuerzas armadas y la industria civil, en bancos de prueba estáticos acondicionados a tal fin.

Como fruto de esas investigaciones, se generó el Grupo Propulsión en cuyo seno se construyeron un gran número de unidades propulsoras, como resultado de un acuerdo entre la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales para el desarrollo de investigaciones con motores cohete.

En 1964, con la colaboración de la Armada Argentina, se logra la construcción del misil para fines experimentales denominado «Pifusio» (UNLP, s.f.).

Debido al buen funcionamiento del túnel aerodinámico, la experiencia en cálculo y diseño de estructuras que poseían los investigadores en estas décadas combinan esfuerzos para el diseño y verificación de estructuras metálicas de uso civil. La combinación de cargas estructurales y aerodinámicas obtenidas a partir de sendas maquetas hace de estos estudios una materia vinculada estrechamente con la aeronáutica. (Aranda Durañona, 2017; Sabando et al., 2019)

5.2.3 Química y petroquímica

La carrera de Ingeniería Química fue creada en la UNLP en el año 1953, quedando el Departamento de Mecánica a cargo de su administración. La mayor parte de las materias se cursaban por correlación en la Facultad de Química y Farmacia (Ciencias Exactas, en la actualidad).

En el año 1956 el doctor Jorge J. Ronco tomó el cargo de jefe de departamento del Departamento de Tecnología Química de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNLP. Con la ayuda del recién creado CONICET, desarrolló una nutrida actividad de investigación en el área de ingeniería química en todo el país. Realizó contactos con las mejores universidades de Estados Unidos y Europa, donde los más brillantes estudiantes graduados realizaron estadias de perfeccionamiento. En pocos años concretó de esa manera una renovación total de la enseñanza de la Tecnología Química en universidades nacionales como la de Buenos Aires; la del Litoral, en Santa Fe; la de San Luis; la de San Juan y la de Salta, entre otras.

En 1958 se comenzaron a dictar las primeras materias específicas de la carrera: Ingeniería Industrial (doctor Alejandro Arvia), Proyecto de Instalaciones Industriales (ingeniero Américo Chiaravelli) y Procesos Unitarios (doctor Roberto Cunningham).

En septiembre de 1959 se creó en el Departamento de Mecánica la división Ingeniería Química, siendo nombrado como jefe el profesor de Mecánica Aplicada, ingeniero Atilio Zanetta López. La división fue creciendo con la incorporación de nuevas materias y el 1.º de octubre de 1965 se creó el Departamento de Ingeniería Química (DIQ), designándose como jefe de departamento al ingeniero Miguel de Santiago.

En ese contexto, se formaron grupos de investigación en Ingeniería de Procesos que fueron pioneros en la Argentina. Y obtuvieron apoyo de la UNESCO, del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), de la OEA; recibieron equipamiento y profesores extranjeros y llevaron a cabo el primer curso de posgrado en Ingeniería Química entre 1970 y 1974 (Laborde, 2011).

A principios de la década del 60 se publica el libro *Transport Phenomena*, de Bird, Stewart y Lightfoot, que marca un punto de inflexión en la enseñanza de la ingeniería química, ya que intenta —y logra— una explicación científica a partir de un análisis microscópico de los fenómenos macroscópicos de transferencia de cantidad de movimiento, calor y materia que ocurren habitualmente en una planta química. Ronco se percató rápidamente de este acontecimiento e invita profesores de universidades extranjeras a impartir cursos de posgrado. Los profesores Smith, de la Universidad de Davies, en California, y García de la Banda, del Instituto de Catálisis y Petroquímica de Madrid, respondieron positivamente a la invitación. Ambos tenían la particularidad de que trabajaban en catálisis y, como consecuencia de esas visitas, muchos discípulos de Ronco fueron a California y a Madrid a especializarse en esta disciplina. Este hecho, sumado a la existencia de un fuerte grupo liderado por el ingeniero Parera en Santa Fe, hizo que la catálisis en la Argentina tuviera un desarrollo destacado. Fue Ronco, secundado por Parera, el que impulsó la creación del Consejo Nacional de Coordinación Agraria (CONACA) en 1972, como herramienta fundamental que facilitó la interacción universidad-industria. Fruto de esa interacción se desarrollaron proyectos, como el de reformado de naftas, que involucraban a distintos grupos universitarios, o la fabricación del primer y único catalizador nacional, cuyo desarrollo se realizó en el Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica (INCAPE). Tal es la influencia del doctor Ronco, que actualmente existe un premio a la innovación en materia tecnológica en la industria petroquímica que lleva su nombre. Asimismo, del doctor Ronco se afirma que «se especializó en la ingeniería de procesos catalíticos y consolidó un equipo de trabajo que luego ayudaría a expandir la investigación sobre el potencial petroquímico en todo el territorio nacional, apoyando a distintas universidades, como la UBA, la de Santa Fe y la de Entre Ríos, entre otras» (Matharan y Feld, 2016; Laborde, 2011).

6. Universidad Nacional de Córdoba

Entre mediados de 1956 y fines de 1957 un conjunto de decisiones de carácter regulativo modificó sustancialmente la vida universitaria de la Universidad Nacional de Córdoba; decisiones que perduraron desde entonces a pesar de los profundos cambios políticos que se plantearon diez años más tarde con la nueva intervención de la universidad, producto del golpe de estado encabezado por el general Onganía.

Uno de los hitos históricos de la Universidad de Córdoba es la creación del Instituto de Matemática Astronomía y Física concebido por Enrique Gaviola, y con el apoyo explícito y particular del entonces rector, el doctor Jorge Núñez, que le brindó todas las facilidades posibles para lograrlo y que fuera concebido como un centro de excelencia en investigación y docencia en estas disciplinas. Su dependencia directa con el rectorado le proveyó un grado de flexibilidad que permitió la incorporación en planta permanente, o como visitantes, de los mejores profesores de que disponía el país.

El IMASF publicó sucesivos ejemplares de un boletín a partir del año 1963 y la mayoría de los artículos allí publicados, aún hoy, son dignos de leerse; como el que escribiera José Babini, entonces presidente de la Unión Matemática Argentina y destacado historiador de la ciencia, denominado «Galileo en la historia de la ciencia».

En el área de biología de la Universidad de Córdoba se crea, en 1964, la Planta de Fraccionamiento de Proteínas Plasmáticas, que actualmente se denomina Laboratorio de Hemoderivados. Fue el primer paso en el desarrollo de medicamentos hemoderivados de producción nacional (UNC, s.f.).

La creación de este laboratorio se da en el marco de la presidencia de Arturo Illia, hacia fines de 1963, cuando presentó al Congreso de la Nación dos proyectos de ley que colocaban a los medicamentos en el terreno de los bienes sociales y al servicio de la salud pública.

Mediante el decreto 3681, incorporó 60 millones de pesos al presupuesto de la Universidad de Córdoba, destinados a la construcción de la Planta de Fraccionamiento de Proteínas Plasmáticas, que se constituye hoy en la mayor planta fraccionadora de plasma de Latinoamérica.

El primer director fue el titular de la cátedra de Farmacología de la Facultad de Ciencias Médicas, el doctor Ricardo Landáburu, quien fuera el iniciador de la idea de la creación de este laboratorio, y quien trasladó la inquietud al presidente de la nación, Arturo Illia (UNCiencia, s.f.).

7. Universidad Nacional de Tucumán

La Universidad Nacional de Tucumán (UNT) tampoco permaneció ajena al desarrollo científico en el área de las ciencias de la Ingeniería. Se destaca la gestión del rector, doctor Horacio Descole, científico del área de la botánica, dinámico y que tenía buenas relaciones con la política. Como director del Instituto Universitario Miguel Lillo realizó una enorme cantidad de contribuciones hasta su separación del ámbito de la UNT. Posteriormente fue nombrado rector interventor el 6 de mayo de 1946. A partir de allí trazó una serie de líneas que marcaron un proyecto general que promovía la investigación. Hubo avances en arquitectura, medicina regional, biología y bioquímica, y en el instituto de investigación agrícola. A partir de 1950 arribaron a la UNT, especialmente a la Facultad de

Ciencias Exactas y Tecnología, gran parte de profesores extranjeros convocados por el decano, el ingeniero Prebisch (además vicerrector de la UNT, acompañado en su gestión por el doctor Würschmidt, como vicedecano). Entre los docentes investigadores incorporados se puede destacar la llegada al Instituto de Electrotecnia en 1949 del doctor Gottfried Gotter y en 1950 del ingeniero alemán Ernst Paul F. Wittich, de amplia experiencia en centrales eléctricas de Siemens-Schuckert Werke. Estos y otros docentes de renombre generaron, especialmente en ciencias exactas, los primeros trabajos destacados en las áreas de matemática y cálculo. Estas investigaciones condujeron a que en 1965 fuera incorporada una computadora IBM 1620 con programación Fortran, y dedicada al cálculo numérico.

Por gestiones realizadas a fines del año 1962 por la dirección del Instituto de Matemática de la Universidad de Tucumán, ante el Consejo de Investigaciones Científicas y Técnicas, se concretó la repatriación del prestigioso ingeniero Juan Carlos Escudé, que se encontraba radicado en los Estados Unidos hacía seis años. En Tucumán dictó cursos para estudiantes de ingeniería matemática y física, y preparó la recepción de la mencionada computadora (Jacovkis, 2015).

En el marco de la reforma del plan de estudios de ingeniería eléctrica que tenía dos orientaciones, potencia y electrónica, se contrató a destacados profesores, en su mayoría ingenieros electrónicos, que arribaron a Tucumán provenientes de países europeos y de otras zonas del país.

Esto posibilitó la creación de los laboratorios de Investigación y Desarrollo en Alta Tensión, Luminotecnia, Electrónica y Bioingeniería en los años sucesivos.

En el año 1963 aparece el primer número de la revista del Instituto de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Nacional de Tucumán.

Si bien la Universidad Nacional de Tucumán, en el área de ingeniería y de la mano de la gestión del rector Horacio Descole en 1946, ya venía desarrollando una actividad muy intensa en las áreas de mecánica y electrotecnia —como la creación del Instituto de Radiocomunicaciones, y la contratación de académicos extranjeros en la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías—, el animador intelectual y ejecutor de muchas propuestas innovadoras fue el ingeniero Ernesto Prebisch, quien convocó a un nutrido grupo de profesores que habían perdido su ubicación en universidades alemanas después de la Segunda Guerra Mundial para el Instituto de Electrotecnia.

Con el asesoramiento del doctor Walther Greve y del físico José Würschmidt se contrató al doctor ingeniero Gottfried Gotter para el área de máquinas eléctricas y al ingeniero Pablo Wittich para el área de centrales y redes eléctricas.

En 1948 asumió Daniel Frías la dirección del Instituto de Radiocomunicaciones, quién adquirió para el instituto un equipamiento para establecer una radio universitaria. Uno de los hitos fue la contratación en 1952 del ingeniero en Telecomunicaciones de la Universidad de Buenos Aires Roque López de Zavallía, quien formó y dirigió la Estación Ionosférica de la Universidad Nacional de Tucumán.

A partir de 1955 se llaman a concurso todas las cátedras y en 1957 se aprobó un nuevo plan de estudios para la carrera de ingeniero electricista con la orientación de técnica industrial y electrónica. A partir de ese momento se inició un período de sostenido crecimiento académico y este despliegue estuvo traccionado por la existencia de financiamiento nacional para inversiones universitarias y las claras convicciones del rector Eugenio Virla respecto al papel de la tecnología en el desarrollo nacional y la buena gestión de sus dirigentes, particularmente del ingeniero Bühler del Instituto de Ingeniería Eléctrica, y de Roberto Herrera como decano de la facultad.

La Estación Ionosférica de la Universidad Nacional de Tucumán, dirigida por López de Zavalía, fue un pedido expreso del Laboratorio Ionosférico de la Armada para participar del año geofísico internacional, un periodo de máxima actividad solar. Por ello el laboratorio participó de la Red de Ionosondas de la Armada. Un estudiante de la licenciatura en Física, Sandro Radicella, fue enviado durante algunas semanas para capacitarse en la interpretación de los registros de la ionosonda, y, teniendo en cuenta el incremento y la especificidad de los trabajos que se llevaban a cabo en la estación, se constituyó en ella un grupo de física y un grupo de electrónica que operaba y mantenía el equipamiento.

Particularmente importantes son los desarrollos científicos y tecnológicos que se realizan mediante un convenio con la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales y en asociación con el Instituto de Física de la facultad, uno para investigar la radiación X en la alta atmósfera por medio de balones sonda y otro para medir la densidad electrónica de la ionósfera.

Por medio del convenio con la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales que operaba a través de convenios con organismos internacionales y en particular con la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA), universidades extranjeras y locales, permitió que se le provea un equipo para recepción de las señales que emite el satélite explorador Beacon B lanzado por la NASA.

El desarrollo de equipamiento para medir y registrar los rayos X con los balones estaba a cargo de los ingenieros Luis Rocha y Mauricio Thomae, mientras que su colega ingeniero Carlos Boquete y el estudiante Mario Acuña estaban asignados al diseño y puesta en funcionamiento del instrumental contador de densidad electrónica; en este último caso los detectores, posteriormente, serían montados sobre cohetes sondas de dos etapas Nike Cajun, que proveía la NASA.

Para familiarizarse con esta tecnología, Boquete y Acuña fueron invitados a trabajar seis meses en el Goddard Space Flight Center de Maryland, Estados Unidos.

En los últimos días de 1963 se realizó en la Universidad Nacional de Tucumán la reunión Latinoamericana de Investigaciones Espaciales y de la Atmósfera, a donde asistieron los máximos responsables de actividades similares de Brasil, Perú, Chile y Bolivia, además del agregado científico de la Embajada de Estados Unidos, un delegado del instituto Goddard y prestigiosos expertos nacionales entre los cuales se destacaban Teófilo Tabanera, primer presidente de la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales, y el físico Carlos Varvasky.

Hacia fines de 1964, desde la base de lanzamiento del Centro de Experimentación y Lanzamiento de proyectiles Autopropulsados (CELPA) de Chamental, La Rioja, se disparan dos cohetes Nike Cajun, cargando instrumentos para medir densidades electrónicas e iónicas, temperatura de electrones y radiación ultravioleta en la capa de la atmósfera.

En el marco de esta prolífica labor los ingenieros Toma y Rocha se propusieron en 1962 desarrollar un dispositivo para convertir el discurso hablado en escritura, con el nombre de fonetógrafo; dos años más tarde, el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas les otorga un subsidio que les permitió avanzar con este trabajo y en 1965 se unió al equipo el ingeniero Juan Yálor.

Para entonces, Rocha ya también tenía resultados en el diseño y la construcción de un marcapasos cardíaco implantable que probaba con perros.

En 1966 estas iniciativas y otras experiencias que se realizaban junto a la Facultad de Bioquímica de la Universidad Nacional de Tucumán se conjugaron en la creación del Laboratorio de Bioelectrónica del Instituto de Ingeniería Eléctrica.

En 1960 los ingenieros Gotter y Bühler viajaron a Europa para informarse sobre la recomposición, después de la guerra, de la enseñanza disciplinar de investigación y la profesión en Europa. Para ello visitaron universidades y fábricas en numerosas ciudades alemanas, en Zúrich y en Viena. Así se concretó la compra, en Basilea, de equipamiento para montar un laboratorio de alta tensión en Tucumán. A partir de entonces se establecerán las herramientas organizativas para fomentar la actividad de investigación científica y el desarrollo tecnológico, y se emprende una ambiciosa ampliación del edificio. Se avanzó en el equipamiento de laboratorio y en 1963 se puso en vigencia el plan de estudio de la carrera de ingeniero electricista con sus orientaciones industrial y electrónica (Tagashira, 2018).

8. Universidad Nacional del Sur

La Universidad Nacional del Sur (UNS) tiene su antecedente fundacional durante el gobierno peronista, cuando un legislador de origen bahiense y nombrado ministro de Hacienda de la provincia de Buenos Aires propuso la creación de un Instituto Tecnológico en la ciudad de Bahía Blanca, que se denominó Instituto Tecnológico del Sur y adquirió un prestigio relativo en cuanto a la formación profesional, especialmente de contadores, químicos e ingenieros químicos. Contó, además, con diversos profesorado. La dependencia funcional fue con la Universidad Nacional de La Plata.

El 5 de enero de 1956, el Instituto Tecnológico del Sur se transformó en Universidad Nacional del Sur.

En la década del 60 se radicaron en la zona una gran cantidad de industrias químicas y petroquímicas, altos hornos y refinerías, y se ve incentivada la producción petrolera, por lo que, en la Universidad Nacional del Sur y de la mano del ingeniero doctor Enrique Rotstein, con la colaboración de estudiantes y graduados, se crea la Planta Piloto de Ingeniería Química (PLAPIQUI) en la UNS, Bahía Blanca. Las primeras investigaciones fueron sobre los procesos de polimerización en sí mismos, es decir, cómo se producen los materiales, y para eso viajaron algunos becarios al exterior. Además, se hicieron trabajos finales sobre películas turbulentas generadas por vibración, transferencia de calor y reacción química heterogénea en dichas películas, absorción con reacción química en torres rellenas, flujo en lechos empacados, y deshidratación de alimentos.

Rotstein se concentró en trabajar en los problemas que debía superar el país para que hubiera una fructífera relación industriauniversidad y generar capacidad local de investigación y desarrollo tecnológico (Brignole, 2018).

El PLAPIQUI propició jornadas especializadas con profesores de renombre, como Smith y Stewart que llegaron a la Argentina. Con el apoyo del doctor Ronco de la UNLP, se coordinaron una serie de seminarios en los que participaron, entre otros, el doctor Roberto Cunningham, por entonces profesor en la Universidad de Buenos Aires.

9. Universidades argentinas de gestión privada

Los principales referentes de los antecedentes históricos de la investigación en las universidades privadas argentinas fueron Enrique Gaviola, Eduardo Braun Menéndez y Augusto Durelli, que junto con el doctor Houssay fueron impulsores de discusiones vinculadas con la creación de universidades científicas privadas.

Particularmente Gaviola, en 1931, publica *Reforma de la universidad argentina y breviario del reformista*, en donde propone la necesidad de profesores de dedicación exclusiva para dedicarse a la investigación, incluso subsidiar a estudiantes para estos fines. También abogaba por un modelo parecido al de las universidades norteamericanas, en donde el aporte se realiza incluso con los graduados.

Si bien Gaviola permaneció en su cargo en el Observatorio Astronómico de Córdoba hasta 1947, ya en 1943 Houssay y Juan Lewis de la Universidad del Litoral y Óscar Arias de la Universidad de Córdoba convencían a Gaviola de la necesidad de impulsar un esquema institucional alternativo, y es por eso que se comenzaron negociaciones con Eduardo Braun Menéndez.

Braun Menéndez había realizado estudios de posgrado y perfeccionamiento en Europa y tenía el convencimiento de la necesidad de una alternativa al esquema universitario profesionalista.

El 5 de septiembre de 1945 pronunció una conferencia en el Instituto Popular de Conferencias del periódico *La Prensa* con el título «Universidades no oficiales e institutos privados, investigación científica». En dicha conferencia proponía que las universidades libres privadas, no oficiales, presentan ventajas sobre las estatales tomando como modelo la universidad John Hopkins, el instituto Pasteur y la Sociedad Kaiser Wilhelm, para adelantar las ciencias.

De esta forma Braun Menéndez trataba de convencer a grandes empresas locales de solventar entidades nuevas basadas en institutos de investigación científica, ya que juzgaba poco práctico reformar las universidades existentes, incluso señalaba que la creación de universidades privadas en un hecho imprescindible para propia supervivencia de los empresarios, incorporando científicos de dedicación exclusiva para ejercer las funciones de investigación y docencia.

En tanto Augusto Durelli, que se había perfeccionado en el Instituto Tecnológico de Massachusetts y desde 1943 trabajado en la Universidad de Buenos Aires como asesor del Laboratorio de Ensayo de Materiales e Investigaciones Tecnológicas de la Provincia de Buenos Aires, planteó en su libro *Del universo de la universidad al universo del hombre* suprimir el monopolio estatal universitario, en un esquema similar al de países desarrollados; incluso mencionaba al Colegio Libre de Estudios Superiores, al propio Instituto de Fisiología creado por el doctor Houssay y al Instituto Francés de Estudios Superiores, que podrían convertirse en universidades como Harvard, Princeton y Oxford.

La autorización de funcionamiento de las universidades privadas mencionada en la ley 14557 de 1958 y reglamentada en 1959 fue el resultado de una puja de sectores que participaron en la Revolución Libertadora, liberales y católicos.

En su artículo 28 la ley señala la iniciativa privada podrá crear universidades con capacidad para expedir títulos y diplomas académicos, la habilitación para ejercicio profesional será otorgada por el Estado nacional, los exámenes que habiliten para el ejercicio de las distintas profesiones serán públicos y estarán a cargo de organismos que designa el Estado nacional; dichas

universidades no podrán recibir recursos estatales y deberán someter sus estatutos, programas y planes de estudios a la aprobación previa de la autoridad administrativa, la que reglamentará la demás condiciones para su funcionamiento.

Esta prohibición de acceder a un financiamiento estatal constituyó un escollo para el desarrollo de carreras científicas, que tiene altos costos en insumos y en equipamientos y también con la posibilidad de contratar científicos de alta calidad con la dedicación necesaria; sin embargo, la investigación científica incipiente quedó a cargo de iniciativas de algunos investigadores que se integraron a este nuevo esquema institucional (Barsky y Giva, 2010).

10. Conclusiones

De la lectura de la documentación disponible sobre la historia del desarrollo de las ciencias de la Ingeniería en Argentina, he tomado como ventana de estudio el período denominado «edad de oro», asociado a los años 1955 y hasta 1966. La fuente de información consistió en libros, artículos periodísticos, artículos institucionales, artículos científicos, etc.

En el proceso de recopilación y posterior lectura del material se nota una suerte de minimización o soslayo del período referido, existiendo, aun en ámbitos de sitios oficiales, abundante información que destaca el período previo y operando un salto temporal hacia la situación contemporánea, especialmente a partir del año 2003.

Uno de los casos más emblemáticos es el de la Universidad Nacional del Sur, anteriormente Instituto Tecnológico del Sur, cuyo bastión tecnológico es la Planta Piloto de Ingeniería Química creada en 1962. Llama la atención que el propio sitio del CONICET, de quien depende, minimiza su creación y desarrollo, centrándose en los años 90 casi con exclusividad.

Si bien resulta complejo el hallazgo de evidencia abundante y detallada sobre el ámbito científico y tecnológico argentino de la edad dorada, la magnificencia de algunos hitos que pusieron a nuestro país en los primeros planos científicos internacionales emergen, dejando en evidencia la tendencia de toda la documentación en contrario, haciendo que sea imposible, aun con esfuerzo, esta minimización. Por ello, en este trabajo he querido detallarlos, para poder dimensionar su valor y trascendencia, no solo en el ámbito regional sino mundial.

Este tipo de impronta informativa se dio en la Argentina de manera habitual, hallándose en 1947 su antecedente más notable, cuando el doctor Bernardo Houssay ganó el premio Nobel y la noticia apenas salió en un par de renglones en un diario; igualmente, en la propia página de CONICET, se hace una breve referencia a su fundador.

Referencias

Albornoz, M. (2007). *Argentina: modernidad y rupturas. Claves del desarrollo científico y tecnológico de América Latina*. ISBN 978-84-323-1305-9, pp. 185-223 <https://dialnet.unirioja.es/servlet/autor?codigo=404071>

- Aranda Durañona, O. L. (2017). La patria alada: factores que debilitaron la cohesión institucional de la aeronáutica argentina entre 1945 y 1955 [Tesis doctoral, Universidad del Salvador].
- Balmaceda, D. (2017). Clementina, la primera computadora que tuvo la UBA. En *La Nación*. <https://www.lanacion.com.ar/sociedad/clementina-primera-computadora-tuvo-uba-nid2315966/>
- Barsky, O. y Giva, G. (2010). *La investigación en las universidades privadas argentinas*. Editorial de la Universidad del Aconcagua. http://bibliotecadigital.uda.edu.ar/objetos_digitales/175/la-investigacion-en-las-univ-privadas.pdf
- Bekerman, F. (2016). El desarrollo de la investigación científica en Argentina desde 1950: entre las universidades nacionales y el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. *Revista Iberoamericana de Educación Superior*, 7(18), 3-23.
- Bisang, R. (1995). Libremercado, intervenciones estatales e instituciones de Ciencia y Técnica en la Argentina: apuntes para una discusión. *Redes: Revista de Estudios Sociales de la Ciencia*, 2(3), 13-58. Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Quilmes <http://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/298>
- Breslin, R. D. (2021). Aportes de las universidades argentinas a la ciencia y la tecnología en la «Era Dorada» de la educación universitaria (1955-1966). *Debate Universitario*, (18), 25-62.
- Brennan, J. (1997). Industriales y bolicheros: La Actividad económica y la alianza populista peronista 1943-1976. *Boletín del Instituto de Historia Argentina y americana «Dr. Emilio Ravignani»*, tercera serie, n.º 15, primer semestre de 1997. <https://es.scribd.com/document/363484846/Brennan-James-Industriales-y-Bolicheros-pdf>
- Brignole, E. (2018). *Medio siglo en un proyecto en ciencia y tecnología para el desarrollo*. Planta Piloto de Ingeniería Química UNSCONICET. <http://aargentinapciencias.org/wp-content/uploads/2018/01/Resenas/R-tomo1-4/2.Brignole.pdf>
- Buchbinder, P. (2005). *Historia de las universidades argentinas*. Editorial Sudamericana.
- Bush, V. (1999). Ciencia, la frontera sin fin. Un informe al presidente, julio de 1945. *Redes* 6(14), 91-137. <https://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/715>
- Ceballos, C. (1985). *Los estudiantes universitarios y la política (1955-1970)*. CEAL.
- Comastri, H. (2015). Memorias sobre la Universidad de Buenos Aires durante el primer peronismo (1946-1955). *Revista Testimonios*, año 4 (4). https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/44938/CONICET_Digital_Nro.b6594fd8-4a15-4567-8362-1e1688d21fc8_C.pdf?sequence=5
- CONICETUNC. (s.f.). *Historia*. <http://ifeg.famaf.unc.edu.ar/es/institucional/historia/>
- Hurtado, D. (2013). Reseña del libro de Pablo Miguel Jacovkis, De Clementina al Siglo XXI. Breve historia de la computación en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires. *Revista argentina de educación superior*. ISSN 1852-8171 / Año 5, n.º 6, junio 2013. Centro de Estudios de Historia de la Ciencia y la Técnica José Babini. UNSAM.
- Jacovkis, P. (2013). *De Clementina al Siglo XXI. Breve historia de la computación en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires*. EUDEBA. ISBN: 978-950-23-2155-4.

- (2015). *Juan Carlos Escudé y la computadora Argentina*. Secretaría de Investigación y Desarrollo Universidad Nacional de Tres de Febrero Caseros, Argentina. <http://untref.edu.ar/sitios/ciea/wp-content/uploads/sites/6/2015/06/Juan-Carlos-Escude.pdf>
- Laborde, M. (2011). La historia de la catálisis en la argentina y la figura del Dr. Jorge J. Ronco. *Revista de Petroquímica, Petróleo, Gas y Química*. <http://revistapetroquimicapetroleogasquimica.com/la-historia-de-la-catalisis-en-la-argentina-y-la-figura-del-dr-jorge-j-ronco>
- Mallo, E. (2013). Ciencia, tecnología y política en la Argentina. La persistencia de perspectivas divergentes. *Voces En El Fenix*, 24, 106-115.
- Matharan, G. A., y Feld, A. (2016). *La constitución del campo de la investigación petroquímica en la Argentina (1942-1983)*. Ed. Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales.
- Nun, J. (1995). Argentina: El Estado argentino y las actividades científicas y tecnológicas. *Redes: Revista de estudios sociales de la ciencia*, 2(3), 59-98. Repositorio Institucional Digital de Acceso Abierto de la Universidad Nacional de Quilmes <http://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/382>
- Pis Diez, N. (2015). *Oscar Terán: Nuestros años sesenta. La formación de la nueva izquierda intelectual argentina, 1956-1966*. Siglo XXI. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/52841>
- Pis-Diez, N. (2018). 1958 y después: la radicalización temprana del movimiento estudiantil reformista. Una reconstrucción para la ciudad de La Plata, Argentina. *Izquierdas*, (38), 89-112. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50492018000100089>
- https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50492018000100089
- Sabando, J., Sarmiento, R., y Hough, T. (2019). Un análisis de la tecnopolítica aeroespacial argentina. *Ciencia, tecnología y política*, 2(2), 022.
- Suasnábar, C. (2004). *Universidad e intelectuales: educación y política en Argentina*. Buenos Aires-FLACSO Manantial.
- Tagashira, R. (2018). *El Instituto de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de Tucumán*. https://www.academia.edu/12703913/El_Instituto_de_Ingenier%C3%ADa_El%C3%A9ctrica_de_la_Facultad_de_Ciencias_Exactas_y_Tecnolog%C3%ADa
- Tortti, M. y Blanco, C. (2004). Los socialistas en el movimiento universitario tras la caída del peronismo. VI Jornadas de Sociología. Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.
- UNC (s.f). *El Laboratorio de Hemoderivados celebra un nuevo aniversario con una iniciativa solidaria*. <https://www.unc.edu.ar/comunicaci%C3%B3n/el-laboratorio-de-hemoderivados-celebra-un-nuevo-aniversario-con-una-iniciativa>
- UNCiencia (s.f). *Hace 35 años el laboratorio de Hemoderivados iniciaba la producción de medicamentos*. <https://unciencia.unc.edu.ar/sin-categoria/hace-35-anos-hemoderivados-iniciaba-la-produccion-de-medicamentos/>
- UNLP (2019). *La UNLP será la primera universidad del país en tener la carrera de Ingeniería Aeroespacial*. <https://unlp.edu.ar/institucional/la-unlp-sera-la-primera-universidad-del-pais-en-tener-la-carrera-de-ingenieria-aeroespacial-16490>
- (s.f). Historia del Departamento de Aeronáutica. <http://www.aero.ing.unlp.edu.ar/historia.php>

Roberto Daniel Breslin

Perfil académico y profesional: Ingeniero electricista con orientación en Electrónica, especialista en Educación y TICS. Master en Dirección Estratégica de Telecomunicaciones. Jefe de carrera en Ingeniería en Telecomunicaciones de la Universidad Católica de Salta (UCASAL). Docente de la Facultad de Ingeniería de UCASAL, y UFIDET. Fue director general de Educación Superior de la Provincia de Salta. Es investigador en el Área de Radiaciones No Ionizantes, Mecatrónica y Biomedicina.

Correo electrónico: rbreslin@ucasal.edu.ar

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SALTA

AUTORIDADES

Rector	Ing. Rodolfo Gallo Cornejo
Vicerrectora Académica	Mg. Prof. Lilian Constanza Diedrich
Vicerrector de Investigación y Desarrollo	Dr. Federico Colombo Speroni
Vicerrector Administrativo	Dr. Darío Eugenio Arias
Vicerrector de Fomación	Pbro. Dr. Cristian Arnaldo Gallardo
Director General del Sistema de Educación a Distancia	Ing. Lic. Daniel Torres Jiménez
Secretaria General	Lic. Silvia Milagro Álvarez

CONSEJO DE INVESTIGACIONES

Director	Dr. Federico Colombo Speroni
----------	------------------------------

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Decano de la Facultad de Ingeniería	Mg. Ing. Néstor Eugenio Lesser
Secretario Académico	Ing. Mario Alfredo Ochoa
Secretaria Técnica	Sec. Tec. Andrea Burgos
Jefa del Departamento de Investigación	Dra. Ing. Lía Elizabeth Orosco Segura
Jefe del Departamento de Extensión, Graduados y Bienestar	Ing. Juan Francisco Linares
Jefe del Departamento de Ingeniería Industrial	Esp. Ing. Manuel Luis Zambrano Echenique
Jefe del Departamento de Ingeniería Civil	Ing. Fernando Javier Albarracín
Jefe del Departamento de Ingeniería en Informática	Mg. Ing. Gullermina Nieves
Jefe del Departamento de Ingeniería en Telecomunicaciones	Ing. Roberto Daniel Breslin
Jefe de Carrera Licenciatura en Higiene y Seguridad en el Trabajo	Lic. Néstor Alberto Valdiviezo
Coordinadora de Carrera Licenciatura Higiene y Seguridad en el Trabajo	Esp. Ing. María Eugenia Soria
Coordinador Académico del Sistema de Educación a Distancia	Mg. Ing. Rafael F. Visa
Coordinador de Laboratorios	Esp. Ing. Myriam Cecilia Botelli

EUCASA

Ediciones Universidad Católica de Salta

Directora	Lic. Rosanna Caramella
Comercialización	Lic. Mariana Remaggi
Administración	Lic. Agustina Joaquín

Sumario

Editorial

Dr. Federico Colombo Speroni

Creación de corpus de palabras embebidas de tweets generados en Argentina

Creation of a corpus of embedded words from tweets generated in Argentina

María Lorena Talamé, Agustina Monge, Matías Nicolás Amor
y Carolina Cardoso

Visual WebShawn: Herramienta visual para el análisis de simulaciones
de redes de sensores inalámbricos en la web

*Visual WebShawn: Visual tool for the analysis of wireless sensor networks
simulations on the web*

Diego Alberto Godoy, Santiago H. Bareiro y Fabián E. Favret

Analysis of Gutenberg-Richter b-value and Mmax

Part III: Non-positive Gutenberg-Richter b-value

Análisis del parámetro b y Mmax del Modelo de Gutenberg-Richter

Parte III: valor no positivo del parámetro b de Gutenberg-Richter

Mika Haarala Orosco

Modelo de sistema UWB-OFDM para la detección de cáncer de mama

UWB-OFDM system model for breast cancer detection

Juan Pablo Rivelli Malcó y David Zabala Blanco

Una apreciación sobre la llamada “edad de oro” de la ciencia
y la tecnología en la Universidad Argentina

*An appraisal of the so-called “golden age” of science and technology
in Argentine universities*

Roberto Daniel Breslin