

Actas de las Jornadas Uruguayas de Ciencias de la Computación 2024 “Jorge Vidart”

Instituto de Computación, Facultad de Ingeniería
Universidad de la República, Uruguay



Editores

Sergio Nesmachnow
Pedro Moreno-Bernal



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY



Editores

Sergio Nesmachnow
Universidad de la República, Uruguay

Pedro Moreno-Bernal
Universidad Autónoma del Estado de Morelos, México

Elaborado por el Comité Organizador de las Jornadas Uruguayas de Ciencias de la Computación.

Descargo de responsabilidad: La información contenida en este libro es verdadera y completa según el leal saber y entender del editor. Todas las recomendaciones se realizan sin garantía por parte de los editores. Los editores declinan cualquier responsabilidad en relación con el uso de esta información.

Cómo citar este libro: Nesmachnow, S. y Moreno-Bernal, P. (eds). (2025). Actas de las Jornadas Uruguayas de Ciencias de la Computación. Serie Reportes Técnicos InCo-PEDECIBA. ISSN 3046–4277.



This work is licensed under Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International. To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.

Prefacio

Este volumen presenta artículos seleccionados de las Jornadas Uruguayas de Ciencias de la Computación “Jorge Vidart”, celebradas del 13 al 19 de noviembre de 2024 en la Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Uruguay, en modalidad presencial, con charlas temáticas y presentaciones científicas.

Los objetivos principales de las Jornadas Uruguayas de Ciencias de la Computación incluyeron la diseminación, divulgación y comunicación entre la academia (investigadores, docentes), profesionales, empresas y estudiantes de grado y posgrado en temas relacionados con la informática. Las jornadas proporcionaron un foro para que investigadores, científicos, profesores, empresarios, tomadores de decisiones, estudiantes de posgrado y profesionales de Uruguay y otros países compartieran sus iniciativas actuales relacionadas con diversos ámbitos de la informática. Se desarrollaron bajo un enfoque que combinó temas y actividades académicas, profesionales y empresariales.

El programa principal consistió en seis workshops temáticos que incluyeron doce charlas de expertos internacionales, una sesión de empresas e industria, cuatro sesiones de presentaciones de artículos científicos y dos talleres para estudiantes y público con conocimientos básicos e intermedios de informática. Los workshops correspondieron a las temáticas de Ciberseguridad, Redes Neuronales Generativas, Bioinformática, Informática urbana y movilidad inteligente, Minería de procesos, y Calidad y testing de software. En conjunto, se celebraron dos ceremonias académicas: la ceremonia por los 50 doctores en informática egresados del Programa de Desarrollo de las Ciencias Básicas y la ceremonia de graduación de los programas profesionales y de educación permanente del Centro de Ensayos de Software. En total, más de 500 personas participaron en las diferentes actividades de las jornadas.

El Comité del Programa recibió 18 artículos científicos para su evaluación y presentación en las jornadas. Once trabajos fueron seleccionados para ser publicados en este libro. Todos los artículos fueron sometidos a un proceso de revisión por pares por dos expertos antes de ser seleccionados para su publicación.

Expresamos nuestro profundo agradecimiento a todos los colaboradores de las Jornadas Uruguayas de Ciencias de la Computación, a los integrantes de los comités académicos y de organización y a los autores y revisores por su esfuerzo, que hizo que el proceso de revisión de los artículos fuera eficiente. También agradecemos a los participantes de las Jornadas Uruguayas de Ciencias de la Computación, a todas las instituciones participantes y colaboradoras, a nuestras instituciones y a todos los lectores de este volumen.

Enero de 2025

[Sergio Nesmachnow, Pedro Moreno-Bernal]



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY



CENTRO DE
ENSAYOS
DE SOFTWARE

Organización

Comité organizador

Javier Baliosian
Gonzalo Tejera
Sergio Nesmachnow
Andrea Delgado
Gustavo Betarte
Álvaro Martín
Laura González
Renzo Massobrio

Comité Académico

Javier Baliosian
Gonzalo Tejera
Sergio Nesmachnow
Andrea Delgado
Gustavo Betarte
Regina Motz
Álvaro Martín
Alberto Pardo
Laura González
Pedro Moreno
Diego Rossit
Renzo Massobrio
Lorena Etcheverry
Flavia Serra
Adriana Marotta
Aiala Rosá
Dina Wonsever
Luis Chiruzzo
Guillermo Moncecchi
Juan José Prada
Pedro Piñeyro

Contenido

Algoritmo evolutivo multiobjetivo para diseñar redes de distribución de contenido en la nube.....	1
<i>Gerardo Goñi, Sergio Nesmachnow</i>	
Exploring Biopolitics Through Design Fiction	4
<i>Tomas Laurenzo</i>	
Data Quality Management in Data Lakes	19
<i>Carolina Cortés, Adriana Marotta</i>	
Redes Neuronales Generativas Adversarias para Superresolución de Modelos Digitales de Elevación	22
<i>Franco Filipponi, Juan Pablo Lorenzo, Facundo Locatelli, Sergio Nesmachnow</i>	
Construcción de compiladores extensibles con AspectAG	26
<i>Juan García-Garland, Alberto Pardo, and Marcos Viera</i>	
Extending EDALoCo to Support the Development of Enterprise Blockchain-based Applications Following a Low-code Approach	29
<i>Guzmán Llambías, Jesús Rosa-Bilbao, Juan Boubeta-Puig, Laura González</i>	
Electromyographic Signals for Controlling an Electric Wheelchair: Interface Development and Control Strategies	32
<i>Richard Busca, Valery Nater, Mario Ibañez, Sabrina Cervetto, Federico Andrade</i>	
WGAN para aumentar datos de consumo de energía de nodos de cómputo de alto desempeño	47
<i>Jonathan Muraña, Sergio Nesmachnow</i>	
Implementación y estudio de una maqueta de red 5G SA basada en srsRAN.....	50
<i>Facundo Pedreira, Bruno Tió, Leonardo Barboni, Claudina Rattaro</i>	
WACE: Un Integrador de Clasificadores de Ataques Web.....	62
<i>Agustín de León, Tobias Iroa, Juan Diego Campo, Rodrigo Martínez, Felipe Zipitria</i>	
Medición de Credibilidad en Plataformas de Redes Sociales	65
<i>Sebastián García Parra and Adriana Marotta</i>	

Algoritmo evolutivo multiobjetivo para diseñar redes de distribución de contenido en la nube

Gerardo Goñi, Sergio Nesmachnow

Universidad de la República, Uruguay {gerardo.goni,sergion}@fing.edu.uy

Abstract. Este artículo presenta un enfoque evolutivo multiobjetivo para diseñar redes de distribución de contenido en la nube, un problema NP-difícil de importancia actual. Se propone un algoritmo evolutivo multiobjetivo específico para optimizar métricas relacionadas con el sistema y el usuario. Las soluciones calculadas son altamente competitivas en costo y en calidad de servicio en comparación con soluciones exactas, y el método propuesto es altamente eficiente y escalable para resolver instancias realistas del problema, de gran dimensión.

Keywords: Redes de distribución de contenido · algoritmos evolutivos

1 Introducción

Una red de distribución de contenido (CDN) es una red de servidores distribuidos ubicados estratégicamente para entregar contenido web de manera eficiente a los usuarios. Las CDN funcionan almacenando en caché contenido estático (imágenes, videos, hojas de estilo y scripts, etc.) en servidores ubicados cerca de los usuarios finales, para reducir la distancia que deben recorrer los datos y mejorar los tiempos de carga y el rendimiento general [1, 2].

El diseño de CDN es un problema relevante ya que desempeñan un papel para garantizar la distribución eficiente de contenidos, la escalabilidad, la fiabilidad, la seguridad y el rendimiento general de los servicios y aplicaciones digitales.

Este artículo presenta un algoritmo evolutivo multiobjetivo (MOEA) para el diseño de CDNs en la nube, considerando la optimización simultánea de métricas desde el punto de vista del sistema (costos de infraestructura, incluido el alquiler de máquinas virtuales (VM), el almacenamiento y el ancho de banda) y de los usuarios (calidad de servicio, QoS). El modelo incorpora características de la plataforma en la nube: la ubicación geográfica de los recursos, descuentos por compras al por mayor y el alquiler de VM reservadas y presenta un modelo de negocios general con un agente virtual, que reduce los costos mediante la gestión simultánea de varios proveedores de contenido, aprovechando los precios con descuento para VMs y estrategias para compartir recursos.

Se propone un MOEA específico para resolver el problema utilizando representaciones y operadores de soluciones ad-hoc. Los principales resultados sobre instancias de problemas reales muestran que el MOEA propuesto es altamente competitivo con soluciones exactas, requiriendo un tiempo significativamente menor y brindando una alta diversidad que contempla las diferentes ponderaciones entre los objetivos del problema.

2 G. Goñi, S. Nasmachnow

2 MOEA para el diseño de redes de contenido

2.1 Descripción del problema

El objetivo del problema de optimización para el diseño de CDN en la nube es calcular soluciones que minimicen simultáneamente el costo total de infraestructura y una métrica de QoS. El costo total de infraestructura suma el costo de alquiler de VMs (reservadas y a demanda), el costo de almacenamiento de datos y el costo de transferencia desde cada datacenter a Internet. La métrica de QoS suma la QoS entre cada región de usuario y cada datacenter durante el tiempo de planificación, para cada tipo de contenido.

Se deben cumplir cuatro restricciones: i) la demanda de cada recurso debe satisfacerse en cada instante de tiempo y en cada región, ii) una instancia de VM no proporciona contenido de dos proveedores diferentes simultáneamente, iii) cada VM procesa hasta un número máximo de solicitudes simultáneas y iv) un datacenter puede satisfacer solicitudes de un recurso solo si lo tiene almacenado.

2.2 MOEA propuesto

Las soluciones tienen la forma $\langle S\text{-Plan}, S\text{-Route} \rangle$ y se construyen en tres fases:

1. Inicialización: $\langle S\text{-Plan}, \emptyset \rangle$; los componentes de S-Plan se seleccionan al azar de soluciones generadas con heurísticas greedy con variaciones aleatorias.
2. Planificación: se determina para cada datacenter las VMs asignadas en cada hora y los recursos a almacenar.
3. Routeo: se determina qué datacenter sirve qué contenido, usando Content Resource Order Routing y estrategias para optimizar costo y QoS.

Las soluciones se representan utilizando cuatro matrices: Y matriz de enteros ($H \times m$), X matriz binaria ($n \times m$), \tilde{Y} matriz de enteros ($m \times 1$) y Z matriz de enteros ($H \times 60$). H es el número de horas a planificar, m es el número de datacenters, n es el número de recursos, s es el número de regiones de usuario y v es el número de VMs asignadas.

S-Plan se representa con las matrices Y , que indica las VMs a demanda necesarias para satisfacer la demanda de contenidos para cada hora y datacenter, \tilde{Y} , que indica las VMs reservadas asignadas a cada datacenter, y X , que define la asignación de contenidos a cada datacenter. S-Route se representa por la matriz Z . $Z[l, i, e, v, t] = b$ indica que los usuarios de la región rl descargan el contenido k_i un total de b veces desde la VM v en el datacenter c_e en el minuto t .

Los operadores de recombinación y mutación actúan sobre la componente *S-Plan* en soluciones factibles para generar nuevas soluciones factibles. El operador de recombinación toma dos soluciones, intercambia entre ellas la asignación de recursos de contenido, el total de VMs asignadas y la proporción de VMs reservadas y bajo demanda en cada datacenter, seleccionando aleatoriamente qué categorías intercambiar con una probabilidad uniforme (0.5). Por su parte, el operador de mutación modifica una solución ajustando la asignación de recursos de contenido garantizando que todos los recursos estén asignados y altera la proporción de VMs reservadas y bajo demanda en los centros de datos, asegurando que se cubre la demanda.

3 Validación experimental

Los resultados obtenidos con el MOEA propuesto fueron evaluados utilizando el Hipervolumen Relativo (HVR). El HVR mide dos aspectos clave: la convergencia hacia el frente de Pareto del problema y la diversidad de las soluciones obtenidas.

La evaluación se realizó sobre instancias realistas generadas con GlobeTraff [3], un generador de tráfico de Internet, con divisiones geográficas basadas en datos de Cisco y solicitudes extraídas de estadísticas de un servicio de video en línea.

Los resultados del MOEA se compararon con soluciones exactas calculadas usando CPLEX y con soluciones heurísticas generadas por un método greedy que minimiza costo. El análisis comparativo incluyó la métrica HVR, los valores de las funciones objetivo y los tiempos de ejecución.

La Fig. 1 presenta los resultados y los frentes de Pareto para la instancia 1. La tabla reporta las medianas del HVR (con un rango intercuartílico de ± 0.01) para cada instancia y el tiempo de ejecución en segundos entre paréntesis.

#I	CPLEX	MOEA	greedy
I1	1.00 (18414)	0.98 (120)	0.74
I2	0.99 (30332)	0.94 (158)	0.69
I3	1.00 (66422)	0.94 (141)	0.68
I4	0.82 (120651)	0.95 (210)	0.75

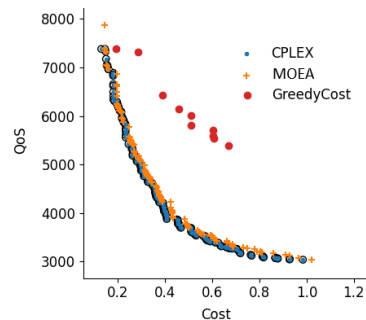


Fig. 1: Resultados y ejemplo de frente de Pareto calculado.

Los resultados demostraron que el método greedy tuvo dificultades para generar soluciones diversas en el componente QoS. El MOEA destacó al formar parte o acercarse al frente de Pareto de referencia y ofrecer mayor diversidad de soluciones. En conclusión, el MOEA produjo mejores soluciones en tiempos de cómputo significativamente mejores que CPLEX.

Referencias

1. Gao, G., Zhang, W., Wen, Y., Wang, Z., Zhu, W.: Towards Cost-Efficient Video Transcoding in Media Cloud: Insights Learned from User Viewing Patterns. *IEEE Transactions on Multimedia* **17**(8), 1286–1296 (2015)
2. Jokhio, F., Ashraf, A., Lafond, S., Lilius, J.: A computation and storage trade-off strategy for cost-efficient video transcoding in the cloud. In: *39th Euromicro Conference Series on Software Engineering and Advanced Applications*. pp. 365–372 (2013)
3. Katsaros, K., Xylomenos, G., Polyzos, G.: Globetraff: A traffic workload generator for the performance evaluation of future internet architectures. In: *5th International Conference on New Technologies, Mobility and Security*. pp. 1–5 (2012)

Exploring Biopolitics Through Design Fiction

Tomas Lorenzo^[0000-0002-3482-8389]

University of Colorado Boulder, Boulder CO, 80309, USA
tomas@laurenzo.net

Abstract. This paper presents a set of research efforts that leverage HCI-based speculative design to explore the sociopolitical impact of current and near-future biotechnologies. Our studies focus on genetic engineering-supported processes, of which we present two fictional services that have proved being effective as tools for unearthing previously hidden oppressive processes. While fictional, our designs adhered to strict feasibility requirements and were shown through the implementation of interactive mock-up services.

Keywords: Biotechnology, Design Fiction, HCI, Genetic Engineering, Biopolitics.

1 Introduction

Genetic engineering –the modification of organisms by manipulating their genetic material– is not a recent development. If we consider selective breeding and similar forms of intervention, humankind has been practicing some forms of genetic engineering for centuries [1].

A paradigm shift occurred when, two decades after the DNA model was introduced, recombinant DNA was discovered [2]. By the early 1970s, researchers had developed techniques to isolate DNA sequences from a variety of organisms and insert them in bacteria, enabling the sequences to replicate as the bacteria multiplied [3].

These techniques blurred the frontier between applied and basic research in biology. Genetics, a field once confined to academia, became the seed of immense biotechnology industry that exists today [4].

Research in genetics has quickly advanced since then. [4]. In 1983, the first genetically engineered plant was produced by inserting an antibiotic-resistant gene into tobacco [5]. Also in 1983, Kary Mullis, developed the Polymerase Chain Reaction (PCR), a technique that revolutionised genetic research by enabling the easy replication of DNA [6].

In 1985, the discovery of Zinc Finger Nucleases (ZFNs) marked another significant milestone. Zinc fingers are proteins that recognise specific DNA sequences, allowing precise targeting of genetic material. Their discovery opened the door for “reverse genetics”, a method used to help understand the functions of a specific gene by studying the phenotypic effects of targeted genetic mutations [7].

2 T. Laurenzo

1.1 CRISPR/Cas9

Many advances in molecular biology have occurred since the 1970s with profound scientific, social, and economic impact. The biotech market is now predicted to soon reach a value of \$775 billion [8].

Of particular significance is the 1983 discovery of CRISPR (clustered regularly interspaced short palindromic repeats) and their function by Francisco Mojica. CRISPR are DNA sequences acting as a form of genetic “memory” for bacteria, enabling them to recognise previously encountered viruses and direct the Cas9 protein to cut the viral genome [9].

This bacterial defence mechanism was adapted by different researchers –most notably Jennifer Doudna (UC, Berkeley), Feng Zhang, (Broad Institute of MIT and Harvard), and scientists in George Church’s lab (Harvard University)– into a genetic engineering tool able to make precise, targeted cuts in DNA, radically simplifying genetic engineering while significantly reducing costs—experiments that previously cost thousands of dollars can now be conducted for as little as \$30 [10]. Moreover, the accuracy of this tool has reduced unintended off-target effects, enhancing its safety and efficacy [11].

In 2018, while US companies began the first human trials using CRISPR [12], Chinese researcher He Jiankui reported the germline editing of two human embryos. This announcement sparked international outrage due to its ethical implications, underscoring the urgent need for a global regulatory framework.

In the words of Jennifer Doudna, He’s “reckless experimentation on the girls” proved “human embryos editing is relatively easy to do but incredibly difficult to do well,” adding that He’s work “will likely be remembered as one of the most shocking misapplications of any scientific tool in our history” [13]. Margaret Riley further emphasised that He’s work “has changed the nature of the ethical discussion”, introducing the complex question of how society should treat beings created via genetic engineering [1].

2 Design Fiction

Genetic engineering techniques like CRISPR/Cas9 have had profound and rapid impact on biotechnology. While they have been widely embraced by academia and industry, their broader societal implications remain uncertain, especially in light of the absence of robust legal and ethical frameworks.

Design fiction –the creation of fictional products, processes or services– enables a shift from short-term utility-driven research to the exploration of more complex, long-term challenges [14]. Additionally, it draws upon a rich tradition of technical, literary, philosophical, and artistic explorations of emerging and future technologies. As Bruce Sterling describes it, design fiction is “the deliberate use of diegetic prototypes to suspend disbelief about change” [15].

This type of speculative exploration often enriches not only the understanding of contemporary technologies but also contributes to the reflection, testing, and simulation of plausible sociotechnological developments. These activities are increasingly crucial

for, as Dunne and Raby wrote, “we need to dream new dreams for the twenty-first century as those of the twentieth century rapidly fade” [3].

Fictional explorations of biotechnologies have often taken the form of dystopian extrapolations [16], frequently proposing a meta-level propagandistic discourse promoting or justifying within the biotechnology industry [17].

Notable examples are the explorations of genetic and environmental engineering found in Andrew Niccol’s film *Gattaca* and Aldous Huxley’s novel *Brave New World* [18]. Paradoxically, such works have often been employed to obscure legitimate concerns about these technologies.

Nevertheless, fictional and speculative narratives remain crucial tools for exploring possible futures. These explorations become essential if the political implications of scientific and technological advances are to be considered. As Gramsci argues, which notions are relegated to the ‘common sense’ and thus considered beyond critique or analysis, always constitutes a space of political struggle [19]. It is therefore necessary to engage in speculative reflection on both the immediate and longer-term effects of emerging technologies incorporating an “analysis of the political rationality underpinning them” [20].

2.1 A Political Framework for Design and Technology

Donna Haraway’s *Cyborg Manifesto*, first published in 1985, revolutionised feminist thought by recontextualising feminism as a political movement within the framework of technology and science.

Haraway’s revolutionary approach lies in her reclamation of feminist politics through the introduction of the cyborg, a construct that allows for a simultaneous gendered and genderless political reading. This dual perspective positions the cyborg as both a subject of political struggle and an object of reference for broader political needs. The manifesto proclaims a powerful call for “pleasure in the confusion of boundaries and for responsibility in their construction” [21]. Within the context of biotechnology, Haraway’s cyborg—conceived as the convergence of human and machine—can be interpreted as a human-made, purely biological being that embodies technology.

Contemporary perspectives on gender cannot be fully understood without incorporating a capitalist worldview, particularly in terms of ownership over the means of production and reproduction. Coherently, when integrating bioproduction into the praxis of HCI design, it is essential to consider the emergence of potential new ‘gender/political divides’ that distinguish between those with control over reproduction and those lacking agency in their relationship with techno-biological production.

Haraway’s call for political unity to effectively confront the dominations of “race,” “gender,” “sexuality,” and “class,” while framed through a now obsolete taxonomic lens, highlights the necessity of a political framework for addressing contemporary and future biotechnologies. As Jana Sawicki argues, “we can build political unities not on the basis of some naturalised identity as women, or mothers, but on the basis of common political opposition and affinities with other political struggles” [22].

4 T. Laurenzo

3 Genetic Surveillance

Surveillance can be defined as ‘any collection and processing of personal data, whether identifiable or not, for the purposes of influencing or managing those whose data have been garnered’ [23]. Genetic surveillance, in turn, uses DNA samples (sources of which include not only solid tissues, but also blood, saliva, and any other nucleated cells [24]) as “genetic fingerprints” to identify a person or a group of people.

While legitimate uses for DNA-based identification do exist (for example, matching a sample obtained in a crime scene with an entry at a DNA database) [25]), genetic surveillance has been shown to have a profound negative social impact, exacerbating racial inequities, threatening privacy and dignity interests, and undermining the legitimacy of law enforcement [26]. States and private organisations have assembled massive genetic databases, whose mere existence subject individuals to a state of permanent and lifetime surveillance [27].

The oppression intrinsic to surveillance is epitomised by the “immediate indignity” of forced swabbings that used to obtain genetic material. These swabbings, even in countries where laws requiring consent exist, systematically end up with “police exerc[ing] significant power over the targeted citizen”.

Genetic surveillance conveys the classification of the subject as a (potential) future criminal, justifying their DNA to be stored in eternity [26]. Genetic surveillance encodes *future surveillance*, entrenching conditions of structural injustice and oppression *in eternum*, normalising processes of dehumanization and depersonalization [26]. Moreover, it also operates as a deterrent of potential future political activities: “when your DNA is taken after an arrest at a political demonstration, it can have a silencing effect on political action” [28]. In this context the body itself becomes an instrument of surveillance, not only reinforcing conditions of injustice but also often rendering individuals and communities powerless against current and future oppression.

This state of permanent supervision and oversight, however, is often the product of implicit asymmetries, rather than responding to explicit decisions of a centralised, official, controller. Thus, instead of a genetic panopticon we often find a complex array of “people, technologies and organizations that become connected in ‘surveillance assemblages’ [29]”.

These complex networks do, however, respond to the *established power*, understood as the set of interrelated forces that manifest in larger constructions of material, economic, social, and symbolic relationships [30]).

Speculative projects need to, at the very least, to be aware of how complex is to model power distribution and negotiation. Once again, speculative explorations are often able to simulate potential future distributions of power providing valuable insights on future needs and struggles.

An “unslakable thirst for massive amounts of clinical and genotypic data” has become pervasive in contemporary societies [31]. For example, some American states have already implemented systematic genetic screening of newborns [32], and several countries are considering the implementation of universal biometric registries [29].

To understand these “technologies of power” it is necessary to analyse the “political rationality underpinning them” [20], as well as the “discursive field in which exercising power is rationalized” [20].

That mandatory requirement since 2015 for all citizens and residents in Kuwait to submit tissue samples for DNA screening and storage under penalty of imprisonment for noncompliance [33] underscores the urgent need for designers to disentangle privacy rights from property rights [34]. This highlights the importance of moving beyond simplistic, techno/market-optimistic approaches that often disenfranchise individuals lacking the political, social, or economic contexts necessary to exert ownership as a means to secure their rights.

3.1 Subversive Fictions

Biotechnologies bring into question deeply rooted perceptions of life, identity, the self, and the position of the human regarding other living beings and the environment [35].

Speculative designs have already been instrumental in the establishing of new places of dialogue, sometimes also playing an educational role withing society.

Heather Dewey-Hagborg’s artwork *Stranger Visions* consists of 3D-printed faces created from DNA extracted from “genetic artefacts: cigarette butts littering the sidewalks, chewing gum, hair [36]”. Although the faces were, *strictu sensu*, fictional, the artwork had a noticeable impact (although perhaps transitory) in genetic privacy’s social relevance. Earlier, Dutch artist Jalila Essaïdi proposed creating bulletproof skin by seeding human skin cells with spider silk; a purely symbolic gesture that was understood by many as real action [37]. Other artists, designers, and activists, such as Ionat Zurr, Oron Catts, Steve Kurtz, Heath Bunting, and Rachel Baker, have also explored the fertile space of art, design, and activism in the context of biotechnology [38].

4 Race

The Human Genome Project, a 13-year international scientific research project funded mainly by the US Dept. of Energy and the National Institutes of Health, successfully achieved its objectives of identifying, mapping, and sequencing all the base pairs that constitute human DNA, as well as locating and cataloguing all human genes.

The project’s findings have had enormous impact in different areas, from purely theoretical (e.g. it drastically improving our understanding of evolution and mutations) to practical applications such as genetic tests that reveal predispositions to numerous diseases.

Moreover, this comprehensive analysis of human DNA unequivocally demonstrated the absence of any genetic basis for race. Instead, it confirmed that race is entirely an “invented, fictional form of identity” [39].

6 T. Laurenzo

4.1 Scientific Racism

Scientific racism refers to a pseudoscientific ideology that posits that the human species is composed of biologically distinct groups or “races” hierarchically ordered according to biology or natural law [25].

Various forms of scientific racism were widely accepted from the 1600s onward. Influential early works, such as François Bernier’s *New Division of the Earth by the Different Species or ‘Races’ of Man that Inhabit It* (1684), Richard Bradley’s *Philosophical Account of the Works of Nature* (1721), and Lord Kames’s *Sketches on the History of Man* (1734), identified differing racial categories but consistently upheld a Eurocentric worldview, asserting the supposed superiority of the white race.

Modern scientific racism emerged in the 19th century when evolutionary thought was paired with ideas promoting the supremacy of northern European races. This ideological shift catalysed the eugenics movement, profoundly influencing Western perceptions of race [40].

Key figures such as Francis Galton successfully advanced eugenics into the scientific canon by the early 20th century. Under the guise of improving humanity, eugenics promoted selective breeding based on race, simultaneously legitimising and naturalising colonialism, slavery, forced sterilisation programmes, genocides, and apartheid regimes.

4.2 Personal Genomics

The Human Genome Project, along with subsequent advances in genetic testing technologies, catalysed the rise of a new industry: personal genomics. In 2008, the company *23andMe* was named Time Magazine’s Invention of the Year [41], marking the emergence of a direct-to-consumer service industry that expanded dramatically over the following decade. As noted, “after gardening, genealogy is the most popular hobby in the U.S., and direct-to-consumer genetic testing services have undoubtedly played a role in that popularity” [42].

While these companies initially marketed their services as tools of consumer empowerment—providing access to genetic information without the mediation of healthcare providers [43]—they also systematically serve as mechanisms that reinforce prejudices and enable racial discrimination by presenting biases as if they were objective facts supported by science.

Even though there cannot be a genetic definition of race or ethnicity (it would be akin to proposing a genetic definition of nationality), it is possible to find some statistical correlations between genetic composition and socially defined ethnic groups. This narrative is actively marketed by personal genetic companies that offer a genetic analysis of their users’ ancestry (see Figure 1).

Exploring Biopolitics Through Design Fiction 7

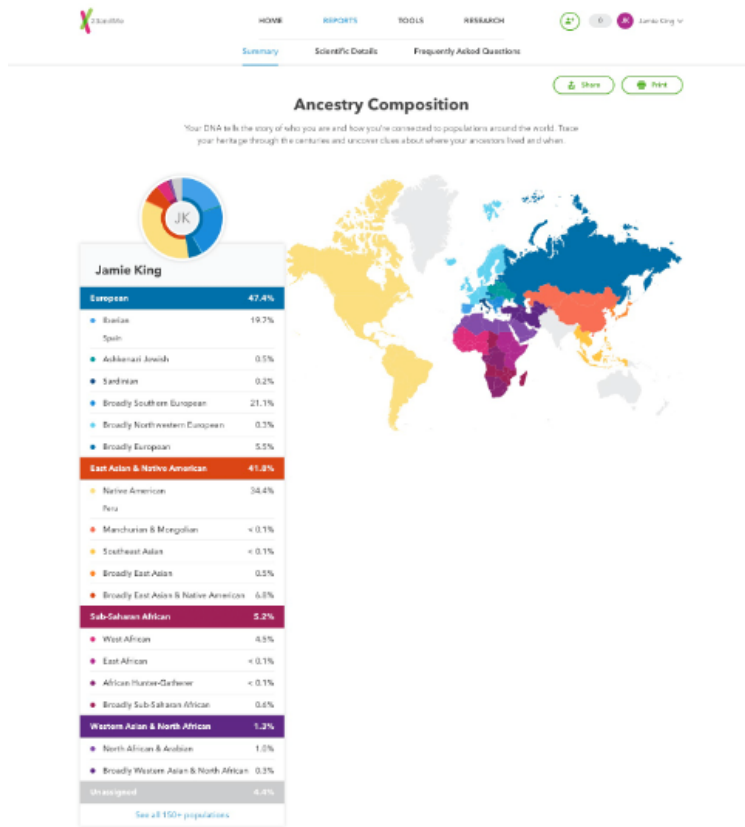


Figure 1. 23andMe's ancestry report © 23andMe.

Aside from their inherent inaccuracies—overlooking crucial data such as population migrations and the evolution of genetic markers over time [44]—these tests perpetuate and amplify false notions about human races. The spurious correlation they suggest between genetic makeup and ethnicity not only misleads individuals but also serves as a source of self-validation for racist groups [45]. These ideas have been taken to extremes, with some states using DNA ancestry as a form of social policing.

Research detailing methods to “sort people by ethnicity by screening their genetic makeup” has not only been published but also implemented by the Chinese government. China’s *Physicals for All* has involved coercive measures such as DNA swabbing, blood collection, facial scanning, and voice recording. This initiative has amassed biometric and genetic data from nearly 36 million individuals in the Xinjiang region.

8 T. Lorenzo

While implemented in China, this utilised equipment produced by *Thermo Fisher*, a US company, and data provided by Kenneth Kidd, a geneticist from Yale University [46]. US Senator Marco Rubio publicly condemned *Thermo Fisher*'s involvement, describing it as “grotesque” and accusing the company of “helping Xinjiang authorities conduct mass detention and brutal suppression of Uyghur Muslims by selling them DNA sequencers.”



Figure 2. *Ethno.life*'s homepage, supposedly in private beta.

5 *Ethno.life*

Ethno.life is a fictional service (see Figure 2) that employs CRISPR/Cas9 technology to artificially alter the results of genetic ancestry tests. For instance, a customer wishing to receive a test result indicating 100% White Western European ancestry could order a personalised genetic vaccine that modifies their saliva to produce the desired outcome (see Figure 3).

The basic use case of *Ethno.life* operates as follows: a customer submits a DNA sample via a saliva swab after enrolling in the service. *Ethno.life* then synthesises a viral vaccine tailored to the requested ancestry profile and delivers it to the customer. The vaccine is injected into the salivary glands, and after a brief period, the customer is ready to take an ancestry test, which will yield the customised result.

This design fiction project explores the social implications of ancestry tests along two key dimensions:

1. *Ethnicity as a Social Construct*. The project reclaims ethnicity as a socially constructed and fictional category, decoupling it from any biological basis. Here, the body becomes a medium for the expression of self-ascribed identity rather than a “truth-telling” entity, aligning itself with the individual’s desired social group. This reimagining challenges the idea of biological determinism in ethnic identity.

2. *Capabilities and Ethics of Genetic Engineering.* *Ethno.life* examines the possibilities of genetic engineering, including in vivo modifications in human subjects. While the technologies enabling such interventions are available, the associated ethical, legal, and procedural issues remain unresolved. The project aims to provide a space for dialogue involving a diverse range of stakeholders to address these complex questions.

Additionally, *Ethno.life* seeks to create spaces of uncertainty, challenging conventional narratives and opening pathways for resistance against oppressive regimes. By presenting a speculative instantiation of these ideas, the project invites critical engagement and fosters discussions about the broader societal, ethical, and political implications of genetic technologies.

5.1 *Ethno.life's* Feasibility

Related work exists that shows *Ethno.life's* feasibility. For example, the patent *Activation of taste receptor genes in mammalian cells using CRISPR-Cas9* [47] describes the use of CRISPR/Cas9 to modify human perception of sweetness, as a strategy to combat obesity. The patent proposes a similar protocol as the one imagined for *Ethno.life*, as follows:

- (i) providing a culture of mammalian cells, the genome of said cells comprising at least one sweet receptor domain;
- (ii) designing at least one type of single-guide RNA (sgRNA), the 10 to 30nt guide sequence of said sgRNA being complementary to stretches within the non-coding and/or putative regulatory region upstream of the translation start codon of at least one sweet receptor gene;
- (iii) preparing a vector comprising an expression cassette encompassing at least one optionally modified CRISPR-Cas9, preferably CRISPR-dCas9VP64, and at least one optionally modified sg-RNA optionally containing aptamer structures for binding activator proteins;
- (iv) transfecting said culture of mammalian cells with said vector to target the genome for the presence of a DNA sequence that is complementary to the 10 to 30nt guide sequence of said sgRNA; and
- (v) measuring the transcriptional enhancement of the sweet receptor mRNA by quantitative RT-PCR.

In the case of *Ethno.life*, it would be necessary to previously reverse engineer the tests that the different personal genetics company follow, identifying the markers they use.

Databases of ethnicity markers exist. For example, the aforementioned Chinese genetic surveillance project, “contributed the data of 2,143 Uighurs to the Allele Frequency Database, an online search platform run by Kidd that was partly funded by the United States Department of Justice at least until 2017. The database, known as *Alfred*, contains DNA data from more than 700 populations around the world” [46].

Also relevant for this brief feasibility study is the work of Wang et al, which used CRISPR/Cas9 to reduce xerostomia (the dryness of the mouth product of diminished function of the salivary glands) [48]. In this work, the researchers were able to enhance the expression of a specific gene (AQP1) using a cytomegalovirus vaccine, verifying

10 T. Lorenzo

that “the altered cells demonstrate a change in their permeability mimicking a restored salivary gland state”.

Finally, the researchers indicate that in addition to their target application, “the methods presented provide an efficient approach to treat other human diseases or side-effects of treatments.”

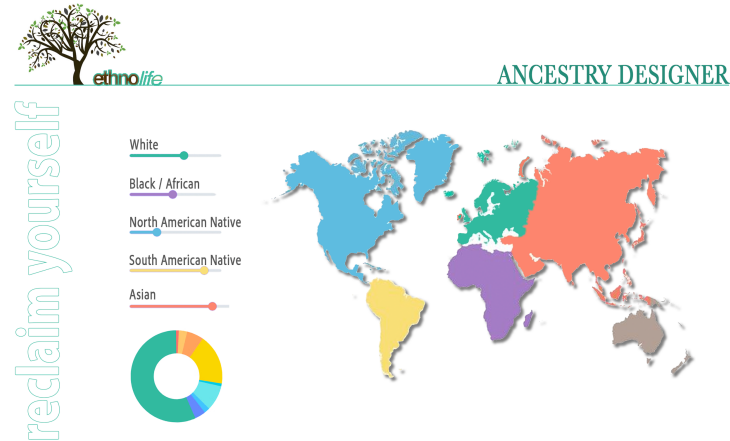


Figure 3. Ethno.life's Ancestry Designer.

5.2 Discussion

Design fiction projects range from prototypes of products that could feasibly be developed in the near future to entirely fictional constructs that may never be realised. In all cases, design fiction has been shown to create spaces for reflection and discussion, contributing to a deeper understanding of both future potentialities and present realities.

These “mental simulations of possible techno-social futures” assist designers and users in broadening their considerations of the “impacts and consequences of technological infrastructures” [49]. Specifically, as a tool for sociopolitical reflection, design fiction’s projections often enhance the “tangibility” of oppressive or discriminatory processes that affect distant social groups –whether socioeconomically or geographically– that might otherwise be ignored or overlooked.

The main objective in designing *Ethno.life*’s fictional service was to develop a tool that could engage with contemporary debates on genetic surveillance, highlighting potential threats to human rights and increasing awareness of existing practices that utilise genetic information for discriminatory or oppressive purposes.

Ethno.life’s design, particularly when presented without context, risked being perceived as either a provocation or a satirical proposal. To mitigate this, a technically plausible design was developed alongside an interactive mock-up prototype (Figure 3).

The prototype was presented to twenty participants: ten biologists specialising in genetic technologies and ten academics from unrelated fields. In each instance, the project was introduced informally, with its fictional nature initially withheld. This approach produced a consistent initial reaction from all participants, who unanimously regarded the proposal as lacking any real purpose.

Following this initial feedback, the project's fictional nature was clarified, and its social and geopolitical significance was explained. Only when explicitly framed as a design fiction project *Ethno.life* became an effective tool for reflection and discussion.

An informal evaluation of the project revealed its high effectiveness in fostering engaged and meaningful discussions. Among biologists, the feasibility study proved particularly effective in enhancing interest and engagement. Conversely, for academics from other disciplines, the mock-up prototype was pivotal in eliciting initial engagement and stimulating speculative thought. However, further exploration is needed to assess the influence of the author's institutional affiliation, as most of the presentations occurred while the author was a visiting scientist at the Broad Institute of MIT and Harvard.

6 Transgenerational Psychogenetic Therapy

The second design fiction project presented in this paper adopted a distinctly different approach: instead of proposing a plausible and feasible service, it focused on a purely speculative concept that surpassed existing technological capabilities. Rather than addressing the immediate sociopolitical impacts of a specific technology, the project sought to spark broader, philosophical discussions on a particularly complex and challenging topic.

Despite its speculative nature, the project aimed to encourage critical analysis and dialogue about contemporary perspectives on the interconnections between biology, society, and technology.

6.1 Transgenerational Trauma

Psychological trauma shared collectively by communities is known as collective trauma. When such trauma is transmitted across multiple generations, it is referred to as transgenerational trauma [50].

Numerous studies have established a clear correlation between the likelihood of children developing trauma-related psychological disorders and symptoms and their parents or grandparents having experienced extreme conditions such as war, torture, or famine [51].

Traditionally, the transmission of transgenerational trauma has been attributed to contextual factors—both immediate and social—shaping the environment in which descendants of trauma survivors are raised. However, recent research has identified the

12 T. Laurenzo

role of epigenetic traits, which are triggered by conditions of extreme trauma. An epigenetic trait is defined as a “stably heritable phenotype resulting from changes in a chromosome without alterations in the DNA sequence,” often influencing the regulation of gene expression [52].

Evidence indicates that the chromosomes of descendants of trauma survivors carry a “kind of memory of what their ancestors experienced” [53]. However, fully understanding the role of these epigenetic mechanisms will require multi-generational studies and deeper exploration of how “individual, cultural, and societal experiences permeate our biology” [54].

6.2 Transgenerational Psychogenetic Therapy

This project introduced a fictional service designed to eliminate inherited epigenetic transgenerational trauma.

This concept extended far beyond the current state of the art. To avoid ethical and practical debates surrounding germline gene editing, it was assumed that the service would operate exclusively on adult subjects. Additionally, it was presumed that all epigenetic traits and their phenotypical impacts could be precisely identified and targeted.

The project aimed to provide a novel framework for discussing and processing transgenerational trauma. Due to the complexity and emotional sensitivity of the topic, the fictional service was presented to a small group of six participants: four descendants of individuals incarcerated and tortured during the dictatorships in Argentina and Uruguay, and two grandchildren of Holocaust survivors.

In all cases, the fictional service proved effective in facilitating conversations that might otherwise have been too sensitive, offensive, or taboo to approach directly.

Initially, the project sought to explore whether participants would hypothetically choose to use such a service. However, this question was soon deemed inappropriate, as it implied a sense of guilt or deficiency associated with their ancestors. As a result, the project shifted its focus to observing the effectiveness of the design in fostering deeply engaged and meaningful discussions.

7 Conclusions

This paper presents two HCI projects that use design fiction to introduce fictional genetic engineering services. These services were designed as tools to examine the sociopolitical dimensions of two critical applications of biotechnology: genetic surveillance and the transgenerational transmission of trauma.

Genetic engineering holds immense potential to “help humanity overcome some of the biggest and most persistent challenges in global health and development,” particularly benefiting vulnerable populations. Moreover, it is “accelerating research that could help end extreme poverty” by transforming various production parameters [55]. However, its more immediate applications carry significant social and economic risks, necessitating careful consideration. Here, HCI can play a crucial role in the administration and regulation of these technologies.

The two fictional services presented in this paper demonstrate that design fictions can empower HCI designers to address pressing and underexplored social issues. At the same time, they encourage the HCI community to work towards a more “explicitly articulated politic” [56].

Gramsci argued that the ruling class, “to maintain its hegemonic position, must legitimate and renew the common sense” either “through consent or coercion” [18]. In his *Prison Notebooks*, he wrote: “Philosophy and modern science are constantly contributing new elements to ‘modern folklore,’” as scientific opinions and notions—often distorted and removed from context—enter the popular domain and integrate into cultural tradition [19]. This process mirrors the black boxing seen in contemporary technologies [18].

HCI is particularly well-suited to challenge these entrenched notions of common sense by identifying needs and opportunities for technology use that disrupt dominant narratives,

Several critical questions remain unanswered when considering HCI’s potential role in genetic technologies: Can these technologies be subverted to empower the powerless? Can alternative narratives be presented that eschew frameworks of property and ownership? If, as Carol Hanisch states, “the personal is political,” what spheres of privacy must be reclaimed?

Furthermore, HCI and design fiction can help identify and critique technological solutionism. It is vital to construct narratives where potential tools for resistance do not inadvertently reinforce existing power structures by offering superficial solutions. The speculative exercises proposed in this paper aim to imagine a world where DNA manipulation fosters equality and justice rather than exacerbating inequality.

REFERENCES

1. M. F. Riley, “CRISPR Creations and Human Rights,” *The Law & Ethics of Human Rights*, vol. 11, no. 2, 2017
2. S. P. Stich, “On Genetic Engineering, the Epistemology of Risk, and the Value of Life,” in *Studies in Logic and the Foundations of Mathematics 104*, Elsevier, 1982, pp. 809-834.
3. P. E. Lobban, “The Generation of Transducing Phage in vitro,” *Essay for third Ph. D. examination*, Stanford University, vol. 6, 1969
4. S. Wright, “Recombinant DNA technology and its social transformation, 1972-1982,” *Osi-ris*, vol. 2, pp. 303-360, 1986
5. M. W. Bevan et al., “A chimaeric antibiotic resistance gene as a selectable marker for plant cell transformation,” *Nature*, vol. 304, no. 5922, pp. 184-187, 1983
6. K. B. Mullis, “The unusual origin of the polymerase chain reaction,” *Scientific American*, vol. 262, no. 4, pp. 56-65, 1990
7. A. Klug, “The discovery of zinc fingers and their applications in gene regulation and genome manipulation,” *Annu Rev Biochem*, vol. 79, pp. 213-231, 2010
8. I. GlobeNewswire, “Biotechnology Market will expand at 9.9% CAGR to hit \$775 Billion by 2024: Global Market Insights, Inc.,” 2019
9. M. Martínez-Campos, “Francisco Mojica: ‘I’m incredibly proud of having been part of the CRISPR revolution,’” *El-lipse*, vol. *Scientific Life*, 2016

14 T. Lorenzo

10. H. Ledford, "CRISPR, the disruptor," *Nature News*, vol. 522, no. 7554, pp. 20, 2015
11. A. S. T. Yabar et al., "Public Perception of Human Applications of CRISPR Gene Editing," 2018
12. C. Offord, "US Companies Launch CRISPR Clinical Trial," *The Scientist*, 2018
13. J. Doudna, "100 most influential people of 2019, He Jiankui," *Time Magazine*, 2019
14. C. Linehan et al., "Alternate endings," *Proceedings of the extended abstracts of the 32nd annual ACM conference on Human factors in computing systems - CHI EA '14*, 2014
15. B. Sterling, "Patently untrue: fleshy defibrillators and synchronised baseball are changing the future," *Wired*, 2013
16. S. Hopkins, "Generation pulp," *Youth Studies Australia*, vol. 14, no. 3, pp. 14, 1995
17. E. Thacker, "The science fiction of technoscience: the politics of simulation and a challenge for new media art," *Leonardo*, vol. 34, no. 2, pp. 155-158, 2001
18. D. A. Kirby, "Extrapolating Race in GATTACA : Genetic Passing, Identity, and the Science of Race," *Literature and Medicine*, vol. 23, no. 1, pp. 184-200, 2004
19. A. Gramsci, "Prison Notebooks (Volumes 1, 2 & 3)," 1ST ed. Columbia University Press, 2011.
20. T. Lemke, "'The birth of bio-politics': Michel Foucault's lecture at the Collège de France on neo-liberal governmentality," *Economy and Society*, vol. 30, no. 2, pp. 190-207, 2001
21. D. Haraway, "A cyborg manifesto: Science, technology, and socialist-feminism in the late 20th century," *The international handbook of virtual learning environments.*, pp. 117-158, 2006
22. J. Sawicki, "Disciplining mothers: Feminism and the new reproductive technologies," *Feminist theory and the body: A reader*, pp. 190-202, 1999
23. D. Lyon, "Surveillance society: Monitoring everyday life," McGraw-Hill Education (UK), 2001.
24. L. O. Gostin, "Genetic privacy," in *Genetics and Gene Therapy*, Routledge, 2017, pp. 241-251.
25. O. K. Obasogie, "playing the gene card," *A report on race and human technology*, 2009
26. J. Kreag, "Going local: The fragmentation of genetic surveillance," *BUL Rev.*, vol. 95, pp. 1491, 2015
27. F. R. Bieber et al., "Human genetics. Finding criminals through DNA of their relatives.," *Science*, vol. 312, no. 5778, pp. 1315-1316, 2006
28. D. E. Roberts, "Collateral Consequences, Genetic Surveillance, and the New Biopolitics of Race," *Howard Law Journal*, vol. 54, pp. 12-54, 2011
29. K. Ball, "Organization, Surveillance and the Body: Towards a Politics of Resistance," *Organization*, vol. 12, no. 1, pp. 89-108, 2005
30. M. Foucault, "The History of Sexuality, an introduction.," Penguin Books, 1978.
31. P. R. Reilly and D. C. Page, "We're off to see the genome," *Nature genetics*, vol. 20, no. 1, pp. 15, 1998
32. M. Boyes, "Whose DNA? Genetic surveillance, ownership of information and newborn screening," *New Genetics and Society*, vol. 18, no. 2-3, pp. 145-155, 1999
33. S. L. Sorgner, "Genes, CRISPR/Cas 9, and Posthumans," in *Ethics of Emerging Biotechnologies*, Trivent Publishing, 2018, pp. 5-17.
34. S. M. Suter, "Disentangling privacy from property: toward a deeper understanding of genetic privacy," *Geo. Wash. L. Rev.*, vol. 72, pp. 737, 2003
35. O. Catts et al., "Short Manifesto," *Tissue Culture & Art Project*,
36. E. de Clercq and H. Dewey-Hagborg, "A face built from a single hair: Heather Dewey-Hagborg explores the future of genetic surveillance," *Infringe*, 2016

37. O. Catts, "The Artistic Perspective-Bulletproof skin vs Utility Proof Art or When a Symbolic Gesture is seen as Real Action," *Bulletproof Skin Exploring Boundaries by ...*, 2013
38. A. K. Yetisen et al., "Bioart.," *Trends Biotechnol*, vol. 33, no. 12, pp. 724-734, 2015
39. Y. I. Takezawa et al., "Race. Human.," 2009.
40. J. P. Jackson et al., "The origins of scientific racism," *The Journal of Blacks in Higher ...*, 2005
41. A. Hamilton, "Best inventions of 2008," *Time Magazine*, 2008
42. M. R. Dohn, "Personal Genomics And Genetic Discrimination: Is Increased Access a Good Thing," *Western State Law Review*, vol. 45, no. 2, pp. 107, 2017
43. G. J. Annas and S. Elias, "23andMe and the FDA," *New England Journal of Medicine*, vol. 370, no. 11, pp. 985-988, 2014
44. G. Lawton and D. Ifama, "'It made me question my ancestry': does DNA home testing really understand race?," *The Guardian*, 2018
45. A. Panofsky and J. Donovan, "Genetic Ancestry Testing among White Nationalists," 2017
46. S.-L. Wee, "China Uses DNA to Track Its People, With the Help of American Expertise," *New York Times*, 2019
47. Ü. Pul and M. Krohn, "Activation of taste receptor genes in mammalian cells using CRISPR-Cas9," vol. Germany,
48. Z. Wang et al., "CRISPR-Cas9 HDR system enhances AQP1 gene expression," *Oncotarget*, vol. 8, no. 67, pp. 111683, 2017
49. E. P. S. Baumer et al., "Evaluating design fiction: The right tool for the job," *Proceedings of the 2020 ACM ...*, 2020
50. N. P. F. Kellermann, "Holocaust trauma: Psychological effects and treatment," books.google.com, 2009
51. A. Daud and E. Skoglund..., "Children in families of torture victims: Transgenerational transmission of parents' traumatic experiences to their children," *International Journal of ...*, 2005
52. S. L. Berger et al., "An operational definition of epigenetics," *Genes & ...*, 2009
53. N. P. F. Kellermann, "Epigenetic transmission of holocaust trauma: Can nightmares be inherited," *The Israel journal of psychiatry and related ...*, 2013
54. R. Yehuda and A. Lehrner, "Intergenerational transmission of trauma effects: putative role of epigenetic mechanisms," *World psychiatry*, 2018
55. J. Conrow, "Bill Gates: Gene editing can help humanity," *Cornell Alliance For Science*, 2018
56. O. Keyes et al., "Human-Computer Insurrection," *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '19*, 2019

Data Quality Management in Data Lakes

Carolina Cortés^[0009-0002-9539-4796] and Adriana Marotta^[0000-0001-6547-466X]

Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Uruguay
ccortes@fing.edu.uy; amarotta@fing.edu.uy

1 Introduction

The growing adoption of Data Lakes (DL) has transformed how organizations manage large volumes of diverse data. While DLs provide flexibility in data storage and analysis, they also present significant challenges, particularly in maintaining data quality (DQ) and governance. To address these challenges, metadata plays a critical role in organizing, managing, and providing transparency in the data stored within a DL. However, existing solutions often lack robust integration of data quality metadata ([5, 2]).

This paper presents a metadata model designed for a zone-based DL architecture, which integrates DQ metadata to support DQ management (DQM).

DLs store large volumes of heterogeneous data, using low-cost storage and enabling access to advanced analytics tools. Early adopted DLs, lacking governance, often became “data swamps,” with disorganized and poorly managed data repositories. Modern architectures address this issue by introducing zones, layers or ponds for better organization and management [3]. In this context, metadata management is critical to prevent disorganization, offering structures to track and relate data effectively. Various models address datasets metadata, relationships, granularity, and processing, but few integrate DQ aspects [5].

DQ, defined as “fitness for use” [4], is multi-dimensional and contextual. This work uses the structured DQ meta-model from [?], which defines DQ through dimensions, factors, metrics, and measurement methods. These elements guide the DQ model and enable tailored assessments and improvements based on context [7].

Some models, like [5], include DQ-related entities but lack comprehensive DQ modeling of dimensions, metrics, and assessment methods. Others, like MEDAL and HANDLE, offer flexible metadata structures but fall short in capturing multiple granularity levels or DQ concepts [6, 2].

This work aims to address these gaps by integrating DQ metadata modeling with dataset’s and processes metadata.

2 Metadata model

This work builds upon a prior proposal, specifically adopting the DL architecture and DQM approach presented in [1]. Figure 1 presents the DQM approach inside the DL.

2 Carolina Cortés and Adriana Marotta

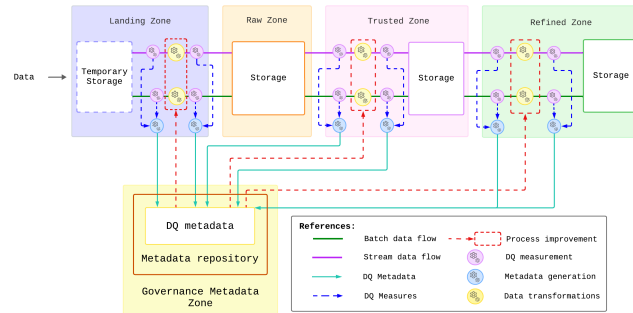


Fig. 1. DQM in the DL architecture

The DL metadata model, shown in Figure 2, integrates components for managing DQ and tracking processes applied to datasets across the zones of the DL architecture. It builds on two foundational models: the Datasets and Processes (DP) model and the DQ model. The DP model captures metadata for datasets and the processes applied to them, with zones representing where datasets are stored and where processes or quality measures are executed. The DQ model focuses on quality aspects such as dimensions, factors, metrics and measures.

In the integrated DL model, granularities for quality measures vary by dataset type: table and column granularity for structured datasets; collection, document, and field granularity for semi-structured datasets; and dataset, group, and element granularity for unstructured datasets. We excluded individual cells or elements as this measures could be considered impractical in large-scale architectures.

To demonstrate that our DL metadata model enables users to obtain information about DQ aspects and track data lineage effectively, we implemented our model using a graph database in Neo4j. We chose a graph database because they offer greater flexibility in schema design, allowing users to easily add properties, labels, and relationships without modifying existing data. Additionally, graph databases provide advanced query capabilities, such as pattern matching, shortest path analysis, and queries on neighboring nodes, among others.

To translate our UML class diagram to a property graph model we mapped classes to nodes, attributes to properties and relationships to edges between nodes.

References

1. Cortés, C., Sanz, C., Marotta, A., Etcheverry, L.: Data Quality Management for Responsible AI in Data Lakes. Proceedings of the 2nd International Workshop on Tabular Data Analysis (TaDA) (August 2024)
2. Eichler, R., Giebler, C., Gröger, C., Schwarz, H., Mitschang, B.: HANDLE - A Generic Metadata Model for Data Lakes. In: Song, M.,

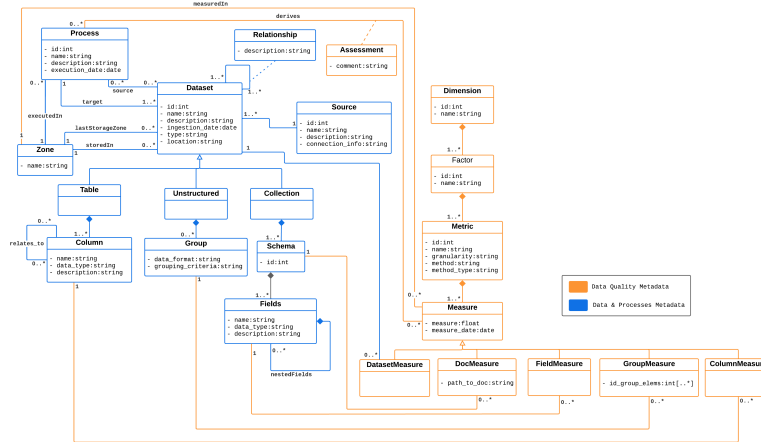


Fig. 2. UML diagram for the DL metadata model

Song, I.Y., Kotsis, G., Tjoa, A.M., Khalil, I. (eds.) Big Data Analytics and Knowledge Discovery, vol. 12393, pp. 73–88. Springer International Publishing, Cham (2020). https://doi.org/10.1007/978-3-030-59065-9_7, http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-59065-9_7, series Title: Lecture Notes in Computer Science

3. Hlupić, T., Oreščanin, D., Ružak, D., Baranović, M.: An Overview of Current Data Lake Architecture Models. In: 2022 45th Jubilee International Convention on Information, Communication and Electronic Technology (MIPRO). pp. 1082–1087 (May 2022). <https://doi.org/10.23919/MIPRO55190.2022.9803717>, <https://ieeexplore.ieee.org/document/9803717>, ISSN: 2623-8764
4. Juran, J.M., Godfrey, A.B. (eds.): Juran’s quality handbook. McGraw Hill, New York, 5th ed edn. (1999)
5. Megdiche, I., Ravat, F., Zhao, Y.: Metadata Management on Data Processing in Data Lakes. In: Bureš, T., Dondi, R., Gamper, J., Guerrini, G., Jurdziński, T., Pahl, C., Sikora, F., Wong, P.W. (eds.) SOFSEM 2021: Theory and Practice of Computer Science. pp. 553–562. Lecture Notes in Computer Science, Springer International Publishing, Cham (2021). https://doi.org/10.1007/978-3-030-67731-2_40
6. Sawadogo, P.N., Scholly, E., Favre, C., Ferey, E., Loudcher, S., Darmont, J.: Metadata Systems for Data Lakes: Models and Features. In: 1st International Workshop on BI and Big Data Applications (BBIGAP@ADBIS 2019). Communications in Computer and Information Science, vol. 1064, pp. 440–451. Springer, Bled, Slovenia (Sep 2019). <https://doi.org/10.1007/978-3-030-30278-8>, <https://hal.science/hal-02157195>
7. Strong, D., Lee, Y., Wang, R.: Data Quality in Context. Communications of the ACM **40** (Aug 2002). <https://doi.org/10.1145/253769.253804>

Redes Neuronales Generativas Adversarias para Superresolución de Modelos Digitales de Elevación

Franco Filipponi, Juan Pablo Lorenzo, Facundo Locatelli, Sergio Nesmachnow

Universidad de la República, Uruguay {franco.filipponi, juan.pablo.lorenzo, facundo.locatelli, sergion}@fing.edu.uy

Resumen Este artículo aborda el problema de superresolución de Modelos Digitales de Elevación (DEMs) mediante el uso de redes neuronales generativas adversarias (GANs). Se exploraron y adaptaron diversas arquitecturas de GANs con el objetivo de incrementar la resolución de DEMs pertenecientes al territorio uruguayo. Fue necesario un preprocesamiento cuidadoso de los datos para su utilización en el entrenamiento de los modelos. Los resultados muestran mejoras significativas en métricas cuantitativas y cualitativas, comparado con métodos tradicionales de interpolación utilizados para el problema.

Keywords: Redes neuronales generativas adversarias · Modelos digitales de elevación · Superresolución

1. Introducción

La superresolución propone mejorar la calidad de imágenes digitales al aumentar su resolución espacial y tiene aplicaciones en múltiples disciplinas como la medicina y la geografía [4, 7]. Este artículo aborda el problema de superresolución de Modelos Digitales de Elevación (DEMs), representados como imágenes de un solo canal, para incrementar su cantidad de puntos por unidad de superficie. El problema es especialmente relevante ya que la calidad de los DEMs suele estar limitada por la metodología utilizada para generarlos y por los altos costos asociados, que aumentan notablemente al incrementar la resolución [6].

El enfoque adoptado utiliza redes neuronales generativas adversarias (GANs) como método alternativo que tiene una alta eficiencia computacional y que alcanza una buena calidad de resultados [3]. Las GANs aplican aprendizaje profundo sobre grandes volúmenes de datos para aprender características complejas y reconstruir detalles finos que los métodos tradicionales (e.g., basados en interpolación) no pueden captar. Se evalúan diferentes arquitecturas de GANs (SRGAN [5], ESRGAN [8] y DSRGAN [2]) y se adaptan para mejorar la resolución espacial de los DEMs (versiones personalizadas, C)

Los resultados demuestran la aplicabilidad y eficacia de las GANs para la súper resolución de DEMs, con mejoras significativas en métricas cuantitativas y cualitativas sobre métodos tradicionales. El modelo ESRGAN redujo en 47% el error absoluto medio (Mean Absolute Error, MAE) comparado con el método tradicional de interpolación bilineal.

2. Metodología

El problema consiste en la generación de DEMs de alta resolución del territorio uruguayo a partir de datos disponibles en baja resolución.

Dado que se trabajó con DEMs en lugar de imágenes, fue necesario adaptar las arquitecturas a este tipo de entrada. Además, las arquitecturas utilizadas están creadas para aumentar la resolución de imágenes en un número potencia de dos, por lo que también se tuvieron que adaptar para que el aumento fuera en un factor de cinco. También se tuvo que tener en cuenta que, a diferencia de las imágenes, los DEMs pueden tener celdas sin datos, por lo que los modelos deben aprender a manejar estas celdas.

El enfoque metodológico propuesto se describe a continuación. A partir de DEMs de alta resolución (muestreo cada 50 cm) se generaron sus contrapartes de baja resolución (muestreo cada 250 cm) para ser utilizados en el entrenamiento de los modelos. Estas resoluciones son relevantes ya que el Instituto de Geográfico Militar dispone de datos del territorio uruguayo a una resolución de 250 cm y algunos datos en alta resolución a 50 cm, que son utilizados en el proyecto. El proyecto propone una solución que pueda llevar de los datos de baja resolución a datos de alta resolución de forma satisfactoria. Fue necesario realizar un preprocesamiento de los DEMs que incluyó el recorte y normalización de los DEMs previo a su utilización para el entrenamiento. El recorte consistió en la división de los DEMs en teselas (crops) de tamaño LARGO 32×32 píxeles, 24×24 píxeles o 16×16 píxeles debido a limitaciones de memoria en las unidades de procesamiento gráfico (GPUs). Con los crops se generaron los conjuntos de datos destinados a utilizarse en el entrenamiento de los modelos.

En el contexto de la investigación se evaluaron y adaptaron las arquitecturas SRGAN [5], ESRGAN [8], ambas reconocidas por su eficacia en la mejora de imágenes, y DSRGAN, un modelo construido específicamente para el problema de superresolución en DEMs [2]. Entre las modificaciones realizadas a las arquitecturas para obtener las versiones personalizadas se encuentran ajustes en los bloques residuales, cambios en los discriminadores y adaptaciones en las funciones de pérdida, con la consideración de las métricas MAE, la raíz del error cuadrado medio (Root Mean Square Error, RMSE), el error máximo (Max Error), el error lineal 90 (Linear Error 90, LE90), todas relevantes para evaluar la diferencia entre los DEMs generados y los originales en alta resolución. Complementariamente, también se evaluaron las métricas precision y recall para determinar la capacidad de los modelos de distinguir entre celdas con y sin datos.

Sobre las arquitecturas mencionadas en el párrafo anterior se realizó una evaluación adicional incluyendo el MAE en las funciones de pérdida del entrenamiento y del preentrenamiento. Las versiones que incluyen el MAE en la función de pérdida son denominadas versiones personalizadas (C)..

El entrenamiento de los modelos basados en redes neuronales seleccionados se llevó a cabo en la plataforma Cluster-UY. Esta plataforma permitió disminuir los tiempos de procesamiento al aprovechar el cómputo paralelo para el entrenamiento de redes neuronales y la idoneidad de las GPUs disponibles. La optimización de hiperparámetros de los modelos estudiados se realizó con el software especializado Optuna [1]. Optuna implementa técnicas útiles para la investigación propuesta, incluyendo el descarte de un entrenamiento si una combinación de hiperparámetros resulta no prometedora y la exploración del espacio de configuración con algoritmos de muestreo. Se evaluaron 300 combinaciones de hiperparámetros para cada arquitectura, utilizando 15 épocas de pre entrenamiento seguido de 25 épocas de entrenamiento en cada combinación.

Para el entrenamiento final se eligieron los mejores modelos de cada arquitectura y se entrenaron cinco veces con 100 épocas totales (30 de pre entrenamiento y 70 de entrenamiento) para realizar análisis estadísticos sobre los resultados.

3. Validación experimental

La validación de los modelos consistió en la evaluación en un conjunto de test y la comparación con dos métodos tradicionales de interpolación (bicúbica y bilineal) a partir de las métricas relevantes mencionadas en la sección anterior.

La Tabla 1 reporta los resultados de los mejores modelos obtenidos luego de la optimización hiperparamétrica: SRGAN C entrenada con crops de tamaño 24×24 , ESRGAN original entrenada con crops de tamaño 32×32 y DSRGAN C entrenada con crops de tamaño 32×32 .

Modelo	MAE	RMSE	Max Error	LE90	Precisión	Recall
SRGAN C (24×24)	0.1428	0.3931	10.1799	0.2321	0.9974	0.9993
DSRGAN C (32×32)	0.1403	0.3758	9.7415	0.2319	0.9974	0.9990
ESRGAN (32×32)	0.1366	0.3820	10.1285	0.2195	0.9981	0.9989
Bilineal	0.2576	0.6482	11.3721	0.4980	0.9974	0.9964
Bicúbico	0.2841	0.6890	12.2964	0.5327	0.9973	0.9964

Tabla 1: Resultados de evaluación del mejor modelo obtenido con SRGAN y comparación con otras arquitecturas y las interpolaciones bicúbica y bilineal.

Los resultados reportados en la Tabla 1 indican que el modelo basado en ESRGAN redujo el MAE en 47% y el RMSE en 41% en comparación con la interpolación bilineal y redujo el MAE en 51% y el RMSE en 45% comparado con la interpolación bicúbica. Los resultados ponen de manifiesto la superioridad de los modelos de aprendizaje con respecto a los métodos de interpolación tradicionales.

La Figura 1 presenta una comparación entre la salida del modelo ESRGAN y la salida de la interpolación bilineal. A la izquierda de la figura se muestra el crop en baja resolución que reciben como entrada la ESRGAN y el método de interpolación bilineal y a la derecha se muestra el mismo crop pero en alta resolución.

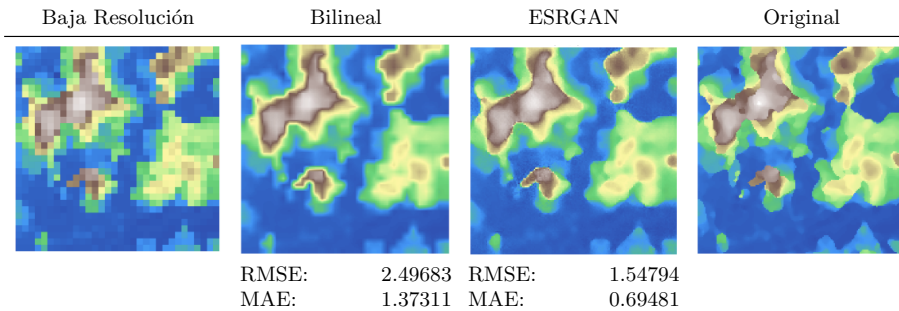


Figura 1: Comparación de un crop superresuelto con ESRGAN y con interpolación bilineal.

En el caso de ejemplo presentado en la Figura 1 se destaca una clara mejora visual del modelo ESRGAN sobre el método de interpolación bilineal. La mejora se refleja en los valores de RMSE y MAE: para el ejemplo presentado, ESRGAN mejoró 38.0% el valor de RMSE y 49.4% el valor de MAE sobre la interpolación bilineal. En la superresolución con ESRGAN se obtuvieron mejoras en la nitidez de los bordes y también en la similitud con el crop original. Las imágenes muestran cómo los métodos de interpolación son mucho más propensos a imitar el pixelado de la imagen en baja resolución, mientras que la imagen generada por ESRGAN logra inferir de forma más precisa las líneas referentes a cambios de elevación.

Referencias

1. Akiba, T., Sano, S., Yanase, T., Ohta, T., Koyama, M.: Optuna: A next-generation hyperparameter optimization framework. In: Proceedings of the 25th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (2019)

2. Demiray, B., Sit, M., Demir, I.: D-SRGAN: DEM Super-Resolution with Generative Adversarial Networks. *SN Computer Science* **2**(48) (2021)
3. Goodfellow, I., Pouget, J., Mirza, M., Xu, B., Warde, D., Ozair, S., Courville, A., Bengio, Y.: Generative adversarial nets. In: *Proceedings of the 27th International Conference on Neural Information Processing Systems* (2014)
4. Greenspan, H.: Super-resolution in medical imaging. *The Computer Journal* **52**(1), 43–63 (2008)
5. Ledig, C., Theis, L., Huszár, F., Caballero, J., Cunningham, A., Acosta, A., Aitken, A., Tejani, A., Totz, J., Wang, Z., Shi, W.: Photo-realistic single image super-resolution using a generative adversarial network. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* (2017)
6. Ruiz, J., Ariza, F., Reinoso, J., Ureña, M., Quesada, F.: Deep learning methods applied to digital elevation models: state of the art. *Geocarto International* **38**(1) (2023)
7. Wang, H., Xiong, L., Hu, G., Cao, H., Li, S., Tang, G., Zhou, L.: Dem super-resolution framework based on deep learning: decomposing terrain trends and residuals. *International Journal of Digital Earth* **17**(1) (2024)
8. Wang, X., Yu, K., Wu, S., Gu, J., Liu, Y., Dong, C., Qiao, Y., Loy, C.: ESRGAN: Enhanced Super-Resolution Generative Adversarial Networks. In: *Computer Vision – ECCV 2018 Workshops*, pp. 63–79. Springer International Publishing (2019)

Construcción de compiladores extensibles con AspectAG

Juan García-Garland, Alberto Pardo, and Marcos Viera

Instituto de Computación, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República

{jpgarcia, pardo, mviera}@fing.edu.uy

Abstract. Presentamos la versión más reciente de **AspectAG**, una biblioteca que permite codificar gramáticas de atributos en Haskell. Mostramos cómo podemos utilizar la herramienta para construir compiladores extensibles —sintáctica y semánticamente— manteniendo una fuerte seguridad de tipos.

Keywords: Gramáticas de Atributos · Programación Funcional · EDSLs · Programación a nivel de tipos

Gramáticas de atributos

Las gramáticas de atributos [3] (AGs) son un formalismo que permite dotar de semántica a gramáticas libres de contexto (CFGs). Para ello, se asocian atributos a los símbolos de la gramática (terminales y no terminales) y se definen reglas para computar sus valores en función de los atributos de los padres e hijos en cada nodo de los árboles de sintaxis abstracta (ASTs).

Formalmente, una AG es entonces una tupla (G, A, R) : una CFG, un conjunto de atributos y un conjunto de reglas. Consideremos el siguiente ejemplo:

$$\begin{array}{l} E \rightarrow E_l + E_r \quad \{E.eval := E_l.eval + E_r.eval, E_r.env := E.env, E_l.env := E.env\} \\ E \rightarrow \mathcal{V} \quad \{E.eval := E.env(\mathcal{V}.val)\} \end{array}$$

Del lado izquierdo se muestra una gramática libre de contexto (G) con dos producciones, que describe un lenguaje de expresiones con variables y sumas (como "x" o "x" + "x" + "y"). El símbolo E es un no terminal, mientras que los símbolos $+$ y \mathcal{V} son terminales. Del lado derecho se presentan las reglas semánticas (R) para computar los atributos (un conjunto para cada producción). Hay tres atributos ($A = \{eval, env, val\}$). Los atributos de símbolos terminales no requieren reglas de computación (val denota el valor concreto de la variable, de tipo cadena de caracteres).

El atributo env representa un ambiente global que asocia valores a las variables. Se distribuye por los nodos del AST hacia las hojas. Las reglas segunda y tercera de la primera producción le dan esta especificación. Decimos que env es un atributo heredado porque fluye de arriba hacia abajo en el AST (de izquierda a derecha según la producción).

El atributo $eval$, de tipo entero, denota la semántica de la expresión. En la primera producción se calcula en función de los valores de $eval$ en cada hijo,

2 García-Garland et al.

mientras que en la segunda, accedemos al ambiente ($E.env(\mathcal{V}.val)$ denota el acceso con clave $\mathcal{V}.val$ al ambiente $E.env$). Decimos que $eval$ es un atributo sintetizado, porque fluye desde abajo hacia arriba en el AST (derecha a izquierda en la producción)

Las AGs son un formalismo propuesto como una solución al “problema de la expresión” [6]: el problema de extender lenguajes semánticamente (agregar nuevas funcionalidades) y sintácticamente (agregar nuevos constructores a tipos de datos), sin modificar ni recompilar código. La extensibilidad de las AGs se da naturalmente ya que las reglas semánticas están asociadas a producciones; se pueden agregar nuevos atributos y nuevas producciones. En contraste, otros paradigmas de programación limitan la extensibilidad de sintaxis (en programación funcional, por ejemplo, extender un tipo algebraico requiere redefinir funciones) o de semántica (en programación orientada a objetos, agregar métodos requiere modificar la definiciones de clases).

En el ejemplo anterior, podemos dotar a la gramática de nueva semántica, por ejemplo, considerando los conjuntos de reglas $\{E.size := E_l.size + E_r.size + 1\}$, $\{E.size = 1\}$ —para cada producción, respectivamente— dotamos al lenguaje con una semántica que asocia el tamaño a cada expresión.

De manera ortogonal, podemos dotar a la gramática original con nueva sintaxis. Por ejemplo, para extender nuestro lenguaje de expresiones con una constante nula, basta extender la gramática con una nueva producción (y su respectiva regla para computar $eval$):

$$E \rightarrow 0 \qquad \{E.eval := 0\}$$

AspectAG

AspectAG [5,1] es un lenguaje de dominio específico embebido [2] en Haskell, diseñado para implementar AGs. AspectAG utiliza programación a nivel de tipos [4] para tipar las piezas de las AGs (las representaciones de G , A y R) y decidir estáticamente propiedades de buena formación.

En AspectAG una CFG se representa con un tipo. Utilizando tipos de datos promovidos [7] se pueden representar estructuras complejas a nivel de los tipos. La gramática inicial de la sección anterior puede representarse de la siguiente manera:

```
type G = MkGram '[ '("E", '[ '("Add", '[ '("1", NonTer "E")
                    , '("r", NonTer "E"))]
                    , '("Var", '[ '("var", Ter String))]]]
```

La gramática se representa con una estructura de listas de asociación anidadas. Las producciones y las ocurrencias de símbolos de la gramática tienen nombres para poder referirnos a ellos mnemónicamente. No representamos el símbolo $+$ en la implementación porque no tiene información relevante. Utilizando *type families* (funciones a nivel de tipos) los usuarios de AspectAG pueden acceder a combinadores para manipular gramáticas. Por ejemplo se puede obtener la extensión de la sección anterior a partir de `G`:

```
type H = AddProd "E" '("Zero", '['('zero', Ter ())]) G
```

Las reglas se construyen mediante combinadores. Por ejemplo, los conjuntos de reglas para la gramática inicial de dos producciones puede escribirse:

```
add_rules = syn @"eval" @"Add" ((+)<$> at @"l" @"eval" <*> at "r" @"eval")
           .+: inh @"env" @"Add" @"l" (lhs @"env")
           .+: inh @"env" @"Add" @"r" (lhs @"env")
var_rule  = syn @"eval" @"Var" (lhs @"env" <*> ter @"var")
```

Finalmente sintaxis y semántica pueden combinarse. Para poblar los ASTs se utiliza una codificación de tipo extensible. Los valores de tipo `EADT g nt` construibles, son isomorfos a los posibles ASTs de la gramática codificada por `g`. Por ejemplo la siguiente función codifica un intérprete.

```
evaluate :: EADT G "E" -> (String -> Int) -> Int
evaluate e envi = sem (add_rules .+: var_rule) e
                  (att @"env" .= envi .= emptyAsp) #. att @"eval"
```

Nuevas reglas pueden codificarse análogamente para la gramática extendida, y los valores de los ASTs de una gramática reutilizados en sus extensiones, atacando así efectivamente el problema de la expresión. Una idea central en **AspectAG** es que, programando a nivel de tipos, a partir de la información de tipado de gramáticas y reglas se pueden chequear en tiempo de compilación propiedades de buena formación, reportando en caso que ocurrieran, errores muy precisos y específicos del dominio.

References

1. García-Garland, J., Pardo, A., Viera, M.: Attribute grammars fly first-class... safer! dealing with dsl errors in type-level programming. In: Proceedings of the 31st Symposium on Implementation and Application of Functional Languages. pp. 1–12 (2019)
2. Gibbons, J.: Functional Programming for Domain-Specific Languages, pp. 1–28. Springer International Publishing, Cham (2015)
3. Knuth, D.E.: Semantics of context-free languages. In: In Mathematical Systems Theory. pp. 127–145 (1968)
4. Lindley, S., McBride, C.: Hasochism: The pleasure and pain of dependently typed haskell programming. SIGPLAN Not. **48**(12), 81–92 (Sep 2013)
5. Viera, M., Swierstra, S.D., Swierstra, W.: Attribute Grammars Fly First-class: How to Do Aspect Oriented Programming in Haskell. In: Proceedings of the 14th ACM SIGPLAN International Conference on Functional Programming. pp. 245–256. ICFP '09, ACM, New York, NY, USA (2009)
6. Wadler, P.: The expression problem, mailing list discussion. <http://homepages.inf.ed.ac.uk/wadler/papers/expression/expression.txt> (1998), acceded: 29-11-2024
7. Yorgey, B.A., Weirich, S., Cretin, J., Peyton Jones, S., Vytiniotis, D., Magalhães, J.P.: Giving Haskell a Promotion. In: Proceedings of the 8th ACM SIGPLAN Workshop on Types in Language Design and Implementation

Extending EDALoCo to Support the Development of Enterprise Blockchain-based Applications Following a Low-code Approach

Guzmán Llambías¹[0009-0004-7515-6525], Jesús Rosa-Bilbao²[0000-0002-4378-5229], Juan Boubeta-Puig²[0000-0002-8989-7509], and Laura González¹[0000-0002-0917-1645]

¹ Universidad de la República, J. H. Reissig 565, 11300 Montevideo, Uruguay
{gllambi,lauragon}@fing.edu.uy

² Department of Computer Science and Engineering, University of Cadiz, Avda. de la Universidad de Cádiz 10, 11519 Puerto Real, Cádiz, Spain
{jesus.rosa,juan.boubeta}@uca.es

Abstract. Enterprise blockchain-based applications are software applications based on blockchain technology to improve the efficiency of enterprise business processes. Developing this type of applications is challenging, as it requires specific blockchain knowledge. EDALoCo is a low-code platform that enables domain users and software developers with little blockchain knowledge to develop blockchain-based applications. However, its current support is restricted to Ethereum Virtual Machine (EVM)-based blockchains, which limits its capabilities to some scenarios. The purpose of this work was to extend EDALoCo to support non-EVM-based blockchains. A prototype based on Hyperledger Firefly was developed using Hyperledger Fabric as a non-EVM blockchain. Although the results are specific for this blockchain, the design is general enough to easily support other blockchains.

Keywords: Low-code · Blockchain · Hyperledger Firefly

1 Introduction

Enterprise blockchain-based applications (EBBA) are software applications based on blockchain technology that improve the efficiency of enterprise business processes [1]. These applications interact with blockchain systems, but also with existing enterprise applications. Interactions with the blockchain typically involve smart contract invocation, submitting transactions, or querying blockchain data. Smart contracts are scripts hosted on the blockchain that provide transparent and reliable execution of business logic.

Developing EBBA may be challenging and time-consuming, as software developers need specific blockchain knowledge to develop them (e.g. invoke smart contracts). Furthermore, if development requires them to interact with more than one blockchain, these challenges may increase. As a result, there is a direct impact

2 G. Llambías et al.

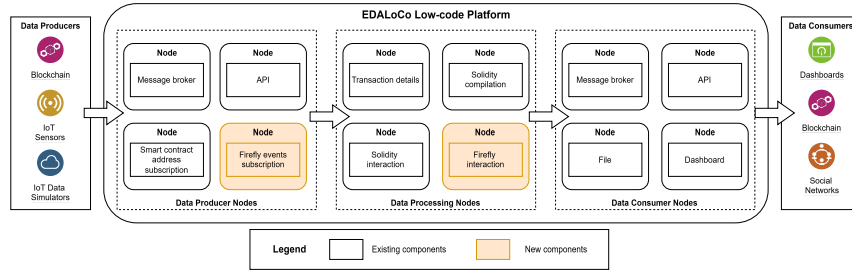


Fig. 1. EDALoCo Low-code platform extensions

on software development costs and schedule. To cope with this challenge, Rosa-Bilbao et al. proposed EDALoCo [2], a low-code platform to facilitate the development of event-driven applications based on blockchain technology. EDALoCo provides a user interface that enables software developers with little knowledge of blockchain technology to develop and monitor blockchain-based applications. In particular, to compile, deploy, invoke, and monitor smart contracts. However, its support is limited to Ethereum Virtual Machine (EVM)-based blockchains, restricting its usage to only this type of blockchain, which may not be suitable for all use cases [1].

This work aims to extend EDALoCo to support non-EVM-based blockchains, and to enhance its capabilities to support the development of EBBA. In particular, to support Hyperledger Fabric [3] which is suitable for enterprise use cases.

The rest of the paper is organized as follows. Section 2 presents the EDALoCo platform and the extensions performed to support Hyperledger Fabric. Afterwards, Section 3 presents conclusions and future work.

2 EDALoCo Low-code Platform Extensions

Fig. 1 presents a high-level overview of the EDALoCo platform, highlighting in orange the extensions proposed and developed in this work. Data producers are systems that produce relevant data for EDALoCo (e.g., IoT sensors). The EDALoCo platform processes these data and sends them to Data Consumers by emitting events. Data Consumers receive these events and process them to perform a business task (e.g., monitoring data). Data consumers may be final consumer systems or intermediaries that connect EDALoCo to other systems.

The EDALoCo Platform is composed of three main components: Data Producer Nodes, Data Processing Nodes and Data Consumer Nodes. Data Producer nodes provide connectors to Data Producer systems (e.g. IoT sensors) that produce data to be processed by the platform. Data Processing Nodes provide processing capabilities to process the received data (e.g., smart contract invocation). Finally, Data Consumer Nodes provide connectors to send the processed data to the Data Consumer Systems (e.g., dashboards). EDALoCo provides a browser-based user interface that enables users to develop flows based on these nodes. For example, a Data Producer Node listens to smart contract events hosted on Hyperledger Fabric. This node is connected to a Data Processing Node (i.e. So-

lidity interaction Node) that invokes a smart contract on Ethereum using the received data from the Data Producer as input. This Data Processing Node is connected to a Data Consumer Node to send the result of the smart contract invocation to a Dashboard that monitors a business process.

Hyperledger Firefly [4] was used to extend EDALoCo capabilities and enable its integration with other non-EVM-based blockchains. Hyperledger Firefly provides connectivity capabilities to facilitate the integration with blockchain networks (e.g. non-EVM-based blockchains) by providing an HTTP API to invoke and listen to smart contracts events. Taking this into account, two new nodes were developed: 1) Firefly interaction and 2) Firefly events subscription. The Firefly interaction node provides the capability to invoke a smart contract through the Firefly API. On the other hand, the Firefly events subscription enables to listen to events emitted by smart contracts hosted on a blockchain, using the Firefly API. These two extensions enabled to enhance EDALoCo capabilities to all Firefly supported blockchains (i.e. EVM and non-EVM-based blockchains).

3 Conclusions and Future Work

This work extended the EDALoCo platform and added support to non-EVM-based blockchains. The extension comprises two new components based on Hyperledger Firefly: 1) Firefly interaction, which facilitates smart contract invocation, and 2) Firefly events subscription, which enables subscribing to and receiving events emitted by target smart contracts. An experiment was performed using Hyperledger Fabric as the target blockchain, and a prototype was implemented to validate the technical feasibility of the proposal. Future work includes experimentation with other non-EVM-based blockchains and includes support for new nodes to support transaction coordination between blockchains and other non-blockchain systems.

Acknowledgments. Guzmán Llambías was supported by Pyxis. The research that gives rise to the results presented in this publication received funds from the Agencia Nacional de Investigación e Innovación under the code POS_NAC_2022_4_174476.

Disclosure of Interests. The authors have no competing interests to declare that are relevant to the content of this article.

References

1. Guzmán Llambías, L., González, L., Ruggia, R.: Blockchain Interoperability: A feature-based classification framework and challenges ahead. *CLEI Electronic Journal*, **25**(3), 1–29 (2022). <https://doi.org/10.19153/cleiej.25.3.4>
2. Rosa-Bilbao, J., Boubeta-Puig, J., Rutle, A.: EDALoCo: Enhancing the accessibility of blockchains through a low-code approach to the development of event-driven applications for smart contract management. *Computer Standards & Interfaces*, **84**, 103676 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.csi.2022.103676>
3. Androulaki, E. et al.: Hyperledger Fabric: A distributed operating system for permissioned blockchains. *Proceedings of the Thirteenth EuroSys Conference*, Article No. 30, 15 pages (2018). <https://doi.org/10.1145/3190508.3190538>
4. Hyperledger Firefly, <https://hyperledger.github.io/firefly/latest/>, last accessed 2024/12/04

Electromyographic Signals for Controlling an Electric Wheelchair: Interface Development and Control Strategies

Richard Busca^{1,3}, Valery Nater^{1,3}, Mario Ibañez^{1,3}, Sabrina Cervetto², and Federico Andrade¹

¹ Instituto de Computación, Facultad de Ingeniería, UdelaR, Montevideo, Uruguay

² Instituto Superior de Educación Física, UdelaR, Montevideo, Uruguay

³ These authors contributed equally

Abstract. Mechanical wheelchairs are the primary option for individuals with limited motor capabilities. However, recent advancements have introduced more sophisticated electric wheelchair systems aimed at improving user control and experience. These systems often employ joysticks, verbal commands, or AI-driven tools to interpret user instructions, reducing the need for manual control or external assistance. Electromyography (EMG)-based control is a promising alternative for individuals with severe mobility impairments. EMG captures electrical signals generated by muscles during contraction and translates them into control commands for the wheelchair. This study developed an EMG-based control system to operate a robot simulating an electric wheelchair on a test track mimicking real-life scenarios. The primary objectives were: i) evaluating the trapezius muscle as a viable control source, and ii) comparing *binary* and *granular* control modes for their effectiveness. The system was implemented in Python using a robot from the Butiá Project. Results demonstrated that the trapezius muscle is suitable for control, and *granular* control offers improved precision and command over the robot compared to *binary* control.

Keywords: Electromyography · Electric Wheelchair · Signal Processing

1 Introduction

The integration of technology into the lives of individuals with mobility impairments has significantly advanced, promoting independence and improving quality of life [13]. Technological solutions must offer reliability, simplicity, and robustness to accommodate users' daily needs, even for those with severe physical disabilities, such as muscular atrophy or compromised motor control [12].

Non-invasive solutions that are adaptable to individual users have emerged as viable options [17]. Among these, electromyographic (EMG) signals represent a promising approach to controlling electric wheelchairs [11].

This study reviews the state of the art in EMG-based control systems for similar problems. About ninety percent of related papers focus on forearm muscles, given their prevalence in existing research. However, this work introduces

2 Authors Suppressed Due to Excessive Length

the trapezius muscle as an additional control candidate [11], addressing a gap in prior studies.

In this study, a Butiá Robot [6] simulates the wheelchair, while the Spiker Shield Pro [4], paired with an Arduino System [3], captures EMG signals. A custom-developed software interface supports two control methods (binary and granular) enabling real-time calibration, control mode selection, and visualization. Commands are wirelessly transmitted to the robot for execution in a test track simulating real-world wheelchair navigation. The main contributions of this work are

- evaluating trapezius signals as a control method for electric wheelchairs, and
- implementing and comparing binary and granular control strategies.

This study aims to develop a functional local implementation of EMG-driven wheelchair control systems, gathering user feedback and performance data. Additionally, it innovates by exploring the trapezius muscle, which is underrepresented in existing research. The developed system includes a software interface that simplifies user interaction through real-time calibration and visualization.

The document is structured as follows, related work reviews key studies in EMG-based control systems. In the materials and methods section, details materials, signal acquisition, software design, and control strategies. Next, experiments and results section presents experimental design, findings, and empirical data. Finally, conclusions section summarizes insights and proposes future research directions.

The source code is available here <https://gitlab.fing.edu.uy/richard.busca/paie-procesamiento-de-senales-emg.git>, and a demonstration video <https://www.youtube.com/watch?v=-PB5WHdFzIg> illustrates the interface and experimental setup.

2 Related Work

The first study presents two approaches for operating an electric wheelchair, which maneuvers in four directions: backward, forward, right, and left. The first approach involves using an Android-operated phone to send instructions via Bluetooth. These instructions are processed by an Arduino device, which sends the corresponding data to the wheelchair's motor, enabling its control and movement.

The second approach [2] is based on using electromyographic (EMG) signals through a sensor called Myoware. This sensor captures electrical activity data generated by the muscles during certain movements or gestures made by the user. An Arduino device acquires this data and interprets it to transmit it to the motor of the device, allowing the person to move, thus enabling control based on muscular activity.

The third article [15] uses the flexor carpi radialis muscle. The research is conducted with the participation of three healthy individuals who complete the task of navigating around a square, performing the main directions: move forward, turn left, turn right, and stop. Through the analysis of EMG signals, the

Title Suppressed Due to Excessive Length 3

accuracy of wheelchair control during the proposed navigation is evaluated. The results show a success rate of 93.75%, indicating high precision in executing the desired movements.

Finally, the last paper [17] is interesting because it uses signals to determine the frequency range of the spectrum in the biceps, cubital muscles, and flexor carpi ulnaris muscles. These signals are analyzed using MATLAB/Simulink, and the results reveal that both men and women obtain the same frequency spectrum range, indicating that both genders could use the system to operate the wheelchair, which aligns with similar conclusions we have also reached. To evaluate the system's operation, an experiment is conducted in which a cross-shaped trajectory ("+") is performed, covering the different movement directions.

The remaining related works considered for this research primarily focus on capturing electromyographic signals. Most of these works focus on the muscles of the arms or forearms, with only a few addressing the muscles of the face or neck, sometimes combining methods to improve accuracy [13]. These studies can be divided into two groups: i) those that use hand gestures [1] [14] [13] [18] , and ii) those that use face or neck muscle activation as a command [11] [19].

2.1 Studies using hand gestures as signal sources

In the first article [1], gesture recognition is employed using an LSTM (Long Short-Term Memory) neural network to facilitate the classification and prediction of extracted information. In this study, Arduino UNO is used to acquire the signal and data, while the model is implemented in MATLAB/Simulink. The hand gestures selected to control the wheelchair are as follows: bicep flexion for braking, flexion of all fingers for moving forward, thumb flexion for moving left, and extension of all fingers for moving right. The results reveal that the proposed model achieves a validation accuracy of 70%.

The next study [14] employs an omnidirectional wheelchair that offers special maneuverability, allowing both translation and lateral movement. In a specific experiment, different forearm muscles are analyzed, such as the flexor carpi radialis, flexor carpi ulnaris, extensor carpi radialis longus, and brachioradialis muscles, each in a separate channel. For this, an ATmega328 microcontroller and a preamplifier circuit are used. The main objective of this study is to classify the movements performed by the wheelchair user, such as moving backward, forward, turning left, turning right, rotating clockwise, rotating counterclockwise, and stopping. To achieve this, the values obtained are compared using the RMS (Root Mean Square) sliding window technique, and a neural network is implemented in MATLAB. A test is conducted on a track with obstacles, in which five healthy individuals participate. These individuals control the wheelchair using both the conventional joystick and the neural network, achieving an accuracy of 98.9%.

The third paper [13], conducted by the same authors and using the same omnidirectional wheelchair, incorporates an inertial measurement unit (IMU) to capture the wrist's tilt angle and acceleration in three axes. Two muscles, the extensor carpi radialis longus and flexor carpi radialis, are used, and the signal

4 Authors Suppressed Due to Excessive Length

is processed using the root mean square (RMS). In this case, tests are conducted with five participants on the same obstacle track used previously. The system achieves a 90.5% control accuracy using gestures made by the users.

Finally, the last study [18] presents a different data extraction method using electromyographic (EMG) signals through the Myo armband, which provides two types of data: spatial and gestural data. These data are separated into a feature set for signal analysis. Various features are used, such as IEMG (Integrated EMG), which is the sum of the absolute values of the signal's amplitude; MAV (Mean Absolute Value), used to detect muscle contraction levels; RMS (Root Mean Square), which represents the signal's standard deviation; and variance, the mean value of the squared variable. The signals are captured using the Myo armband in different poses, and the pose showing the most muscle activity is selected for training the neural network using MATLAB/Simulink. To verify the effectiveness of the method, an experiment is conducted with an individual performing a hand pose, and the response is verified in a virtual interface of the Mitsubishi RV-2AJ robot, which includes the waist, arm, and forearm.

2.2 Studies using facial and neck muscles

In this section, several papers were studied. In the first study [11], signals from the right masseter muscle, left sternocleidomastoid, left trapezius, and right trapezius muscles, located on both sides of the shoulder and cheeks, are captured. Four channels are used to record these electromyographic (EMG) signals. The data obtained are processed using MATLAB/Simulink, applying a threshold to identify muscular activity, and a MC3P4 wheelchair model produced by SUZUKI MOTOR CO. is used. Two methods are carried out for wheelchair control. In the first method, the duration of muscular activity is reset for each corresponding muscle effort, while in the second method, the duration of muscular activity is accumulated for each corresponding muscle effort. Seven navigation commands are defined: stop, move forward, move backward, turn right, and turn left. These commands are tested with the participation of five healthy individuals to verify the correct execution of movements. Subsequently, two experiments are designed and performed on specifically created tracks. In the first experiment, obstacles are incorporated, and four healthy individuals participate. In the second experiment, a track with a 45-degree angle and limited maneuvering space is created, with only one trained user participating. As a result, it is concluded that both maneuverability and travel times significantly improve with the two proposed methods.

In the second study [19], electrodes are placed on four specific muscle points: the temporal muscle for the move-forward command, the sternocleidomastoid for the right and left turn commands, and the pectoralis major muscle for the backward command. Four signal channels are used with the MyoWare device for signal processing, and an amplifier and filter are used to process the analog signals before sending them to the ATmega328 microcontroller. Additionally, a WiFi device is implemented to transmit values to the wheelchair, avoiding the use of multiple cables. The experiment is conducted with the participation of

Title Suppressed Due to Excessive Length 5

five healthy individuals, who perform ten repetitions of different directional commands. The trigger for the wheelchair motor operation is based on a comparator system that evaluates the amplitude of muscle contraction and relaxation in relation to a pre-established threshold stored in the microcontroller's memory. To determine this threshold, the mean value of the EMG signal amplitude during a five-second contraction period is used, achieving an average precision of 96.8% in wheelchair movements.

In the previous studies, the most commonly used muscle is the flexor carpi radialis, which is also used in this particular study. However, this research stands out by using the trapezius muscle as a point of comparison. While the trapezius is only used in relation to facial muscles in other studies, in this case, it is compared with other muscles, adding a unique focus in the study of these muscular patterns. Additionally, the use of simpler algorithms to determine the commands, relying on the advantages of the Spiker Shield Pro hardware's pre-filtering of the signal [4], makes it easier to interpret when there is a signal, its intensity, and when there is no signal, rather than relying on complex mathematical analysis for signal filtering via software.

3 Materials and Methods

The complexity and performance of the system largely depend on the purity of the signal received from the targeted muscle, the methods for data processing, and the device used. Employing a platform that optimizes signal purification through open-source hardware allows for a greater focus on studying the chosen muscles and developing a system capable of calibrating inputs for users and defining various signal interpretation types. Additionally, the use of the Butiá platform optimizes testing time and minimizes any potential risk to the user. Next section shows the components of the system considered for the experiments are presented.

3.1 Materials

The materials used for collecting electromyographic (EMG) signals are as follows:

- Spiker Shield Pro: processes and filters the signals received through the electrodes [4].
- Arduino UNO: transmits signals from the Spiker Shield Pro to the computer [3].
- Electrodes [5]: placed on the individual. Three electrodes per muscle are used—disposable, self-adhesive pressure electrodes with integrated conductive gel and a diameter of 35.35 mm.
- Cables: for connecting the electrodes to the Spiker Shield Pro.

Additionally, the materials used for data transmission are presented below.

6 Authors Suppressed Due to Excessive Length

- Computer: used to collect data from the Arduino. For this work, an HP Pavilion dv6 with an AMD A6-3400M APU processor with Radeon®HD Graphics at 1.40 GHz and 16.0 GB of DDR3 RAM was used. It ran a 64-bit Windows 10 Pro operating system.
- Butiá Robot [6]: consists of a differential platform with two traction wheels and one free wheel. The robot’s computing tasks are executed on an OLPC computer [7]. It performs functions equivalent to those of an electric wheelchair, such as transmitting commands to the motors to spin the wheels at the desired speed. Data transmission from the computer to the Butiá robot was carried out wirelessly. It is worth noting that this platform closely resembles commercially available electric wheelchairs, as it features two independently rotating wheels and an axis directed by the two motors. Furthermore, the weight is concentrated on the main axis, analogous to a person sitting in a wheelchair. As in other studies [19], this approach addresses safety concerns in wheelchair systems still under development.

3.2 Muscle Signal Acquisition

To determine a baseline with the most suitable muscle for controlling the wheelchair, a comparison was made between the recordings from the forearm, biceps, and triceps. The forearm produced higher and more stable values compared to the other two. This finding is significant, as using the biceps and triceps for chair control would shift the primary focus of the experiment. The forearm provides meaningful data without requiring considerable muscle activation effort, which is advantageous even in cases of muscle mass loss.

Additionally, the trapezius muscle was selected because it is neither part of the arm nor the forearm and is easy to activate. However, while the trapezius generates high activation values, these proved to be unstable, as fluctuations occurred without reactivating the muscle.

3.3 Electrode Placement

In this study, surface electrodes were used with the user’s prior approval to attach to the muscles of the forearm (radial flexor of the carpus) and trapezius, on both the left and right sides. Each side controlled one of the robot’s traction wheels.

The electrode placement points are specified on the SENIAM website [10], with a distance of 3 to 4 cm between electrodes. Two electrodes per muscle were connected, along with a third serving as the ground electrode. The latter was attached to the back of the hand or the elbow, depending on the individual’s comfort and the space between the muscle and the ground electrode connection point. The placement phase was completed when the electrodes were connected to the Spiker Shield Pro, and the activation and relaxation data for both the left and right muscles were visualized in the software graphs (presented in Section 3.6).

3.4 Signals

The data is transmitted to the computer via the Arduino UNO, with initial filtering performed by the Spiker Shield Pro device. The signal value tends to approximate zero when the muscle is relaxed.

Raw data presents two challenges that need to be addressed. The first issue is the presence of uncontrollable variations caused by noise due to the large amount of raw data input from the Arduino. The second issue is that EMG signals differ for each muscle and individual, making it difficult to maintain control over them. The first problem is resolved through the implementation of a configurable moving window that averages the last 100 data values. These values were determined after extensive testing, allowing smoother peaks and more stable signals to be observed in the graph when activated. For visualization, the Arduino Serial Monitor is used initially, followed by a customized graph rendered by the software presented in Section 3.6. The second problem is addressed by calibrating the muscle data. Each individual has a unique minimum and maximum muscle activation level. Although the minimum value is typically 0, this is not always the case, as some muscles may exhibit a baseline activation before the experiment begins. The maximum value is also determined to establish the range for data generation. The software-level calculation instructions are detailed in Section 3.6.

3.5 Methods to be Used

To control the robot, data is transmitted wirelessly from the software, which reads the signals from the left and right muscles. These muscles control the left and right wheels of the robot, respectively. Two control modes, referred to as granular and binary, have been implemented.

- Granular Method: muscle activation is proportional to the speed transmitted to the Butiá device.
- Binary Method: maximum speed is provided when muscle activation exceeds a certain percentage threshold.

At the software level (section 3.6), the method to be used is determined before beginning data transmission to the robot. To evaluate which mode is more effective, experiments with individuals are conducted (section 4).

3.6 Developed Software Interface

A software interface was designed and implemented for calibration, processing, and visualization of data. This interface was developed using the Python programming language [8], version 3.9. The implemented features are described below:

GUI The Python interface utilizes a GUI framework called PyQt5 [9]. This library is employed for all selectors and buttons containing events, which execute depending on user selections.

8 Authors Suppressed Due to Excessive Length



Figure 1: Diagrama de Bloques

Graphs The graphs are created using PyQtGraph [16], the GUI library for PyQt. Two graphs are available: one for the left muscle and another for the right muscle. These graphs can be observed in real time using the calculated averages.

Data Before beginning, it is worth noting that all calculations are performed in a separate execution thread to avoid interference with the interface. This separation is necessary because the interface would stop functioning if graphs and calculations were executed simultaneously. The data is read by connecting to the serial port where the Arduino is located. A timeout and a baud rate are specified for the connection. The baud rate represents the number of signal units per second. As discussed earlier, two challenges arose when reading the data, which were addressed using averaging and calibration solutions presented below.

- Averaging: a sliding window was programmed to process sample readings by averaging 100 units at a time.
- Calibration: for calibration, there is a selector containing the options *Min*, *Max* and another for *Left*, *Right*. Additionally, users can select the duration in seconds for the value acquisition during calibration, with a default of 10 seconds.

Control Modes The robot features two control modes: granular and binary. Both modes manage the robot's wheel speed, which ranges from 0 to 1023.

Granular mode method uses the calibrated values, mapping the minimum value to 0 and the maximum to 1023. Intermediate values are calculated proportionally based on these limits. This provides a smooth and continuous control over the robot's speed.

On the binary mode the speed can only have two values: 0 or 1023. A standard threshold of 50% is set for the minimum value. If the calculated value is less than 50% of the calibrated maximum force, a speed of 0 is transmitted. If it exceeds this threshold, a speed of 1023 is sent. Multiple tests are conducted with different thresholds to determine the optimal one. The muscle is considered relaxed until the threshold is reached.

Title Suppressed Due to Excessive Length 9

Data Transmission Before transmitting data, calibration is completed for both the left and right muscles, and the transmission mode (granular or binary) is selected. Data is transmitted using the UDP (User Datagram Protocol) via Wi-Fi by connecting to the computer's IP address. The data is sent as a string formatted as: *LeftData_RightData*. On the robot's computer, the incoming string is parsed using a regular expression, and the extracted values are sent to control the wheels on each side, respectively.

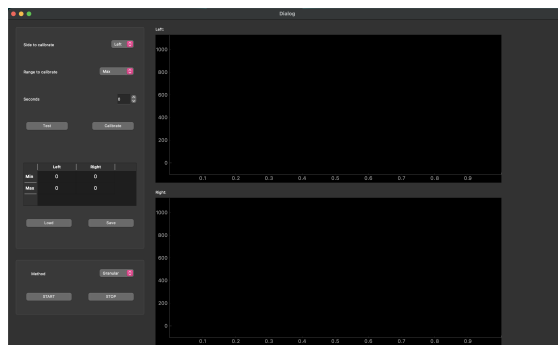


Figure 2: Developed software interface.



Figure 3: Developed software interface during calibration.

10 Authors Suppressed Due to Excessive Length

4 First Experiment: Study of the Control Method

To evaluate the effectiveness of the granular and binary methods developed in the research, experiments were conducted with 10 healthy individuals, 7 men and 3 women, aged between 20 and 40 years.

4.1 Conditions

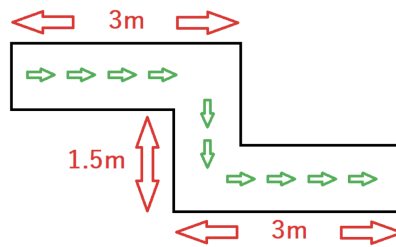


Figure 4: Experiment track

The circuit shown in Figure 4 is designed so that the user controls the robot from point A to point B without leaving the track. The selected individuals must complete the circuit using the forearm and trapezius muscles with the two methods to be tested: granular and binary. To evaluate the experiment, the time taken to complete the circuit and the number of attempts are recorded.

4.2 Results

Muscle	Forearm		Trapezius	
	Binary	Granular	Binary	Granular
AVG (seconds)	27,29	26,23	27,08	23,49
STD	4,01	2,11	1,61	2,23

Table 1: First experiment results.

As shown in Table 1, the forearm muscle does not present a clear difference between the two methods, given the mean of 26.23 seconds for granular and 27.29 seconds for binary, as seen in the following table. This first part had a total of 24 attempts, 18 of which completed the circuit, while the other 6 were due to 4 failed attempts with the granular method and 2 with the binary method. This

Title Suppressed Due to Excessive Length 11

difference in attempts between the two methods may be because the tests were initially conducted using the granular method. On the other hand, it was the method considered more intuitive by the individuals.

The trapezius muscle shows a difference of 3.59 seconds in the mean, with 27.08 seconds for binary and 23.49 seconds for granular, as shown in the table, with granular being the better method for this muscle. Again, this average was calculated using half of the previous data, i.e., 9 total attempts because the individuals could not finish the circuit. In some cases, this is due to difficulties in relaxing the muscles after several attempts, and in others, it is difficult to maintain muscular control.

5 Second Experiment: Study of the Trapezius as a Control Muscle

In the second stage of the experiments, the goal is to evaluate the efficiency of the trapezius muscle using the performance of the forearm muscle as a reference. Based on the data obtained in the first stage of experiments, the granular method was adopted.

5.1 Conditions

This stage is divided into two phases:

- Individuals using the robot for the first time: 10 healthy individuals participated in the experiments, with each performing 3 attempts using each muscle.
- Individuals with experience in controlling the robot: This phase involved 3 individuals with 1 year of experience. Each performed 3 attempts with each muscle.

The track is the same for both phases and includes two obstacles and a ramp at the end. During the test, the individual must maneuver around the obstacles while maintaining control of the robot. The track layout was designed to ensure the user always has a clear and aligned view of the robot, avoiding difficulties related to perspective when attempting to control it via muscle movements. The track has two checkpoints that record the elapsed time at specific points. These checkpoints are predefined: one is located after navigating the obstacles and before ascending the ramp, and the other is at the completion of the ramp. Additionally, the ramp was designed to add a higher level of complexity, inclined at 10 degrees relative to the ground. After the ascending ramp, there is a straight section followed by a descent that leads to the end of the track. Furthermore, the space for executing movements was made narrow, requiring greater precision in controlling the robot. The track can be observed in Figure 5.

12 Authors Suppressed Due to Excessive Length

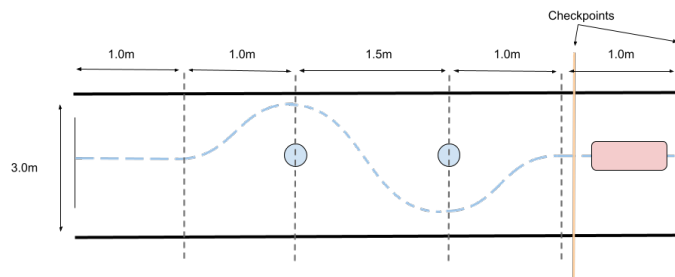


Figure 5: Experiment track

5.2 Results

Initially, the results of the tests conducted with individuals using the robot for the first time are presented in Table 2, with a total of 30 attempts. Tests with the forearm muscles showed that they are easier to control and do not present the previously mentioned issues compared to the trapezius muscles. Similarly, the inability of some individuals to maintain control prevents them from avoiding obstacles or staying on course.

Muscle	Forearm	Trapezius
AVG (seconds)	39,40	32,31
STD	5,28	5,10

Table 2: Results of experiment two.

Moreover, the data analysis highlighted that the completion times for the circuits did not improve across any of the three attempts given to each individual. This is likely due to a slight delay when activating the system, which requires users to adapt when moving the robot. In some cases, the time differences are due to individuals immediately correcting their errors, which takes longer to reorient properly, such as when turning in the wrong direction, for example. As a final point, only 2 individuals were able to complete the circuit with the ramp. This was due to the difficulty in properly aligning the robot to ascend the ramp. Additionally, when the robot reached the top of the ramp, it veered off to one side due to overactivation of one muscle compared to the other, causing it to descend off the ramp.

An initial analysis of the results in Figure 6 shows no significant correlation between variables such as the gender or age of the participant and their ability to complete the circuit or the time required to finish the test.

Title Suppressed Due to Excessive Length 13

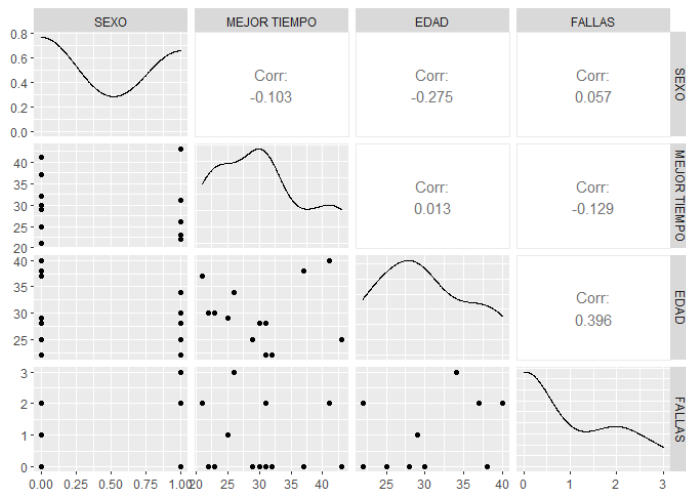


Figure 6: Correlation of Results

Secondly, the results from the individuals with prior experience in controlling the device are presented in the Table 3. It is worth noting that the averages were lower for both the forearm and trapezius muscles. However, one of the trained participants was unable to complete the test with the trapezius muscle because it did not relax at any point, preventing them from stopping the robot.

In this second phase, the results from the experienced individuals are presented, totaling 9 attempts. As shown in the table, the averages are lower for both the forearm and trapezius muscles. It was observed that the performance of both muscles was similar, which is the opposite of what was observed in the inexperienced group.

Muscle	Forearm	Trapezius
AVG (seconds)	27.77	28.12
STD	3.49	2.59

Table 3: Statistical data for trained individuals.

On the other hand, one of the trained participants was unable to complete the test with the trapezius muscle because it did not relax at any point, which prevented them from stopping the robot.

14 Authors Suppressed Due to Excessive Length

6 Conclusion

The use of electromyography (EMG) and its application in improving the quality of life for people with mobility impairments is a significant area of research. In this research, several possibilities were studied with the aim of improving the control of an electric wheelchair. The selection of muscles qualified for this project emerged from previous investigations through other studies, and once the most relevant muscles were identified, tests were conducted to finalize the selection of muscle groups, the forearm and trapezius. Additionally, the choice of two methods, granular and binary, aimed to evaluate which provided better control over the robot as well as greater comfort for the individuals.

The public trials with the device and the feedback from participants provided significant insights into the value of this research. It is hoped that this study can serve as a foundation for future projects and contribute to helping individuals maintain mobility and independence.

7 Future Work

One of the most important points for future development is the replacement of the Butía robot with a custom electric wheelchair. Additionally, it is necessary to address less complex aspects, such as enabling direct command communication without using UDP transmission. The flexibility offered by having a GUI already developed and adapted to the research needs can be leveraged in future stages. It will also be essential to refine the configuration of the parameters.

References

1. Adebayo, O.O., Adetiba, E., Ajayi, O.T.: Hand gesture recognition-based control of motorized wheelchair using electromyography sensors and recurrent neural network. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (1), 11 (2020). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1107/1/012063>, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1107/1/012063/pdf>
2. Ahmed, S.F., Ali, A., Joyo, M.K., Rehan, M., Siddiqui, F.A., Bhatti, J.A., Liaquat, A., Dezfouli, M.M.S.: Classification of emg signal on arm muscle motion using special fourier transformation to control electric wheelchair. 2018 IEEE International Conference on Innovative Research and Development (ICIRD) (1), 6 (2017). <https://doi.org/10.1109/ICIRD.2018.8376304>, https://www.researchgate.net/publication/325918466_Mobility_assistance_robot_for_disabled_persons_using_electromyographyEMG_sensor
3. Arduino: Arduino (2023), <https://www.arduino.cc/>
4. Brains, B.: Backyard brains (2023), <https://backyardbrains.com/products/musclespikersshieldpro>
5. Brains, B.: Backyard brains (2023), <https://backyardbrains.com/products/emglargeelectrodes>
6. Butía, P.: Proyecto butía (2023), <https://www.fing.edu.uy/inco/proyectos/butia/>

Title Suppressed Due to Excessive Length 15

7. FERNÁNDEZ, A.: Plan ceibal: "one laptop per child" en uruguay p. 36 (2015), <https://digital.fundacionceibal.edu.uy/jspui/handle/123456789/201>
8. Foundation, P.S.: Python (2022), <https://www.python.org/>
9. Group, Q.: Qt for python (2022), <https://www.qt.io/qt-for-python>
10. Hermens, H., Freriks, B.: Seniam surface electromyography for the non-invasive assessment of muscles (1999), <http://www.seniam.org/>
11. Ishii, C., Konishi, R.: A control of electric wheelchair using an emg based on degree of muscular activity. 2016 Euromicro Conference on Digital System Design (DSD) (1), 8 (2016). <https://doi.org/10.1109/DSD.2016.19>, <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7723601>
12. Kaur, A.: Wheelchair control for disabled patients using emg/eog based human machine interface: a review. Journal of Medical Engineering Technology (iJOE) **16**(12), 22 (2020). <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/03091902.2020.1853838>
13. Kundu, A.S., Mazumder, O., Lenka, P.K., Bhaumik, S.: Hand gesture recognition based omnidirectional wheelchair control using imu and emg sensors. Journal of Intelligent Robotic Systems (1) (2017). <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10846-017-0725-0>, <https://link.springer.com/article/10.1007/s10846-017-0725-0>
14. Kundu, A.S., Mazumder, O., Lenka, P.K., Bhaumik, S.: Omnidirectional assistive wheelchair: Design and control with isometric myoelectric based intention classification. Procedia Computer Science **105**(1), 68–74 (2017). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.01.200>, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050917302223?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=7d4b31cffe3bc18c
15. Pradvita, I.W.N.B., Arifin, A., Arrofiqi, F., Watanabe, T.: Design of myoelectric control command of electric wheelchair as personal mobility for disabled person. 2019 International Biomedical Instrumentation and Technology Conference (IBITeC) (1), 6 (2019). <https://doi.org/10.1109/IBITeC46597.2019.9091682>, <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9091682>
16. PyQtGraph: Pyqtgraph scientific graphics and gui library for python (2021), <https://www.pyqtgraph.org/>
17. Tyastuti, F.H., Aniroh, Y., Muslimin, D., A.K., R.E.: Classification of emg signal on arm muscle motion using special fourier transformation to control electric wheelchair. 2017 International Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacture, and Industrial Automation (ICAMIMIA) (1), 6 (2017). <https://doi.org/10.1109/ICAMIMIA.2017.8387550>, <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8387550>
18. Vladimir, B.V.F., Javier, M.C.M., Evgeny, A.V., Lukyanov, A., Emanuel, M.P.L.: Modelado y simulación del robot mitsubishi rv-2ja controlado mediante señales electromiográficas. Enfoque UTE **9**(2) (2018). <https://doi.org/https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v9n2.326>, http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-65422018000200208
19. Yulianto, E., Indrato, T.B., Nugraha, B.T.M., Suharyati, S.: Wheelchair for quadriplegic patient with electromyography signal control wireless. Wheelchair for Quadriplegic Patient with Electromyography Signal Control Wireless. International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE) **16**(12), 22 (2020). <https://doi.org/https://doi.org/10.3991/ijoe.v16i12.15721>, <https://online-journals.org/index.php/i-joe/article/view/15721>

WGAN para aumentar datos de consumo de energía de nodos de cómputo de alto desempeño

Jonathan Muraña^[0000-0002-9328-2320] and
Sergio Nesmachnow^[0000-0002-8146-4012]

Universidad de la República, Uruguay
{jmurana,sergion}@fing.edu.uy

Abstract. Este artículo estudia el potencial de las redes generativas adversarias de Wasserstein para la generación de datos tabulares de consumo energético en computación de alto desempeño. Los datos energéticos son un insumo clave para desarrollar modelos que optimicen la operación de los sistemas, y promover una mayor eficiencia energética. La generación de datos con propiedades estadísticas similares a los reales es muy valiosa cuando el acceso a los datos es limitado o costoso, como en el caso de los centros de datos, principalmente debido a las estrictas restricciones de seguridad y disponibilidad de recursos. Se utilizaron cuatro nodos de cómputo y tres tipos de modelos energéticos para evaluar la calidad de la generación de datos. Los resultados indican que los datos generados mantienen propiedades estadísticas similares a los datos reales. Los datos generados se emplearon para entrenar y evaluar modelos de predicción y los errores de estimación se mantuvieron dentro de niveles aceptables, inclusive se mejoraron las estimaciones al entrenar los modelos con los datos generados en combinación con datos reales.

Keywords: WGAN · Computación de alto desempeño · Energía

1 Introducción

La gestión inteligente de eficiencia energética en centros de cómputo requiere predecir el comportamiento de tareas y su consumo energético, lo que demanda modelos confiables de consumo de energía. Los modelos de consumo energético de los nodos de cómputo han sido ampliamente estudiados en la literatura, desarrollados utilizando diversas técnicas de inteligencia computacional y logrando resultados satisfactorios [4]. Sin embargo, el principal obstáculo de estos estudios radica en la dificultad de acceder a mediciones realistas de datos de los nodos de cómputo, debido al alto costo de los nodos de computación de alta gama y a las restricciones que las infraestructuras imponen sobre su acceso. En este contexto, las técnicas de generación de datos sintéticos [2] son una alternativa eficiente con el potencial de mejorar la calidad predictiva de los modelos [1].

Las redes neuronales generativas antagónicas (GANs) [3] son modelos generativos cuyo entrenamiento competitivo converge hacia un punto de equilibrio. Este artículo emplea Wasserstein GANs (WGAN) para generar datos sintéticos

2 Jonathan Muraña et al.

a partir de mediciones de consumo energético y estadísticas de uso de recursos computacionales. El objetivo de la investigación es estudiar la viabilidad de generar datos sintéticos, analizar la similitud entre las distribuciones reales y generadas, y comparar la precisión de modelos predictivos al usar datos reales, generados y una combinación de ambos para su entrenamiento y evaluación.

Los principales resultados indican que los datos generados conservan las propiedades estadísticas de los datos reales. Además, la calidad de las estimaciones de los modelos se mantuvo dentro de límites aceptables al sustituir datos reales por datos generados. Por otra parte, para tres de los cuatro nodos de alto desempeño estudiados, los modelos predictivos basados en redes neuronales mejoraron sus estimaciones al usar datos generados en combinación con datos reales, en comparación con el uso exclusivo de datos reales.

2 Metodología

Los modelos de energía tienen como variables independientes el número de instrucciones, fallos de cache L2 y L3, vectorization (DPV) y número de operaciones de punto flotante (DPS), y los ciclos de CPU, y como variable dependiente el consumo energético. En el trabajo previo [5] se construyeron modelos de consumo energético basados en regresión lineal (LRG), red neuronal densa (FCN) y red neuronal convolucional (CNN). La calidad de la estimación de los modelos se midió utilizando el error cuadrático medio normalizado, una métrica ampliamente utilizada para evaluar modelos de regresión.

Las GANs son modelos generativos compuestos por dos redes neuronales, un generador (G) y un discriminador, que se entrenan de forma conjunta y competitiva. Las WGAN introducen modificaciones para mejorar la estabilidad del entrenamiento y mitigar el colapso de modo, usando la distancia de Wasserstein (d_W) como medida entre las distribuciones de datos reales y generados. El generador toma como entrada vectores aleatorios z de una distribución normal y produce vectores que aproximan a los datos reales. El discriminador de una WGAN (crítico, C) evalúa la calidad de las muestras generadas en términos de d_W . Recibe como entrada datos reales ($x \sim p_{\text{data}}$) y muestras generadas ($G(z)$) y produce un valor escalar que aproxima la distancia entre las distribuciones reales y generadas. El objetivo de entrenamiento de una WGAN es $\min_G \max_{C \in \mathcal{C}} \mathbb{E}_{x \sim p_{\text{data}}} [C(x)] - \mathbb{E}_{z \sim p_z} [C(G(z))]$; \mathcal{C} es el conjunto de funciones 1-Lipschitz para asegurar que d_W esté bien definida. El crítico C intenta maximizar la diferencia entre su evaluación de los datos reales $C(x)$ y las muestras generadas $C(G(z))$, y el generador G intenta minimizar esta diferencia, produciendo muestras que reduzcan d_W . Para garantizar la propiedad de 1-Lipschitz se emplea un término de penalización del gradiente en la función de pérdida del crítico.

La metodología aplicada realiza un aumento de datos con WGANs y evalúa la calidad de los datos generados empleando análisis estadístico. Los datos generados, combinados con datos reales, se utilizan para entrenar y evaluar los modelos energéticos previamente desarrollados, con el objetivo de analizar y comparar los resultados sobre cuatro nodos de cómputo (CN, ESB, DAM y SKN). En total se utilizan 6000 datos reales y 10000 generados de cada nodo.

3 Resultados experimentales

La Fig. 1 presenta los boxplots para cada variable de los datos reales y generados en los cuatro nodos de cómputo. Los resultados muestran que los datos generados tienen valores de promedio y cuartiles Q1 y Q3 similares a los datos reales.

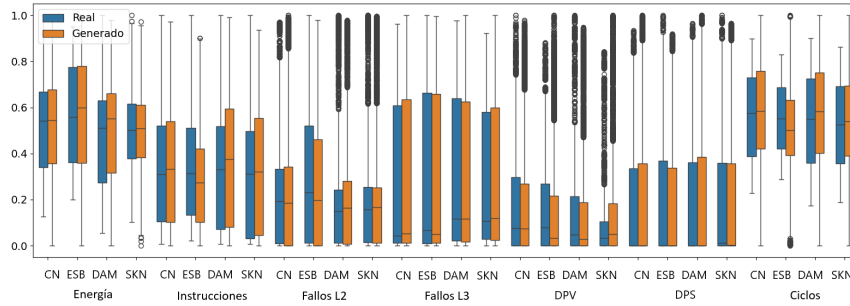


Fig. 1: Boxplots para cada variable y nodo de cómputo

La Tabla 1 resume la evaluación de la estimación de los modelos de energía. $\#b$ indica cuántas veces un modelo que utiliza datos generados (en entrenamiento o evaluación) mejoró al modelo de referencia (que se entrena y evalúa solo con datos reales). Δavg es la diferencia entre el error de estimación del modelo de referencia y el promedio de los otros modelos; std es la desviación estándar.

Tabla 1: Resultados de estimación de los modelos de energía

<i>nodo</i>	<i>CN</i>			<i>ESB</i>			<i>DAM</i>			<i>SKN</i>		
<i>modelo</i>	$\#b$	Δavg	std	$\#b$	Δavg	std	$\#b$	Δavg	std	$\#b$	Δavg	std
LRG	6	0.20	0.18	1	-0.86	1.41	3	-0.42	0.89	2	-0.34	0.71
FCN	6	0.12	0.19	0	-0.67	0.87	4	-0.28	0.73	6	0.19	0.86
CNN	3	-0.54	0.87	2	-0.32	0.43	1	-0.76	0.96	7	0.52	0.94

El uso de datos generados mejoró la estimación del modelo de referencia en los nodos CN y SKN. La calidad de las estimaciones se mantuvo en niveles aceptables.

Referencias

1. El Emam, K., Mosquera, L., Hoptroff, R.: Practical synthetic data generation: balancing privacy and the broad availability of data. O'Reilly Media (2020)
2. Figueira, A., Vaz, B.: Survey on synthetic data generation, evaluation methods and gans. Mathematics **10**(15), 2733 (2022)
3. Goodfellow, I., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., Warde-Farley, D., Ozair, S., Courville, A., Bengio, Y.: Generative adversarial nets. In: Advances in Neural Information Processing Systems. vol. 27, pp. 2672–2680 (2014)
4. Jin, C., Bai, X., Yang, C., Mao, W., Xu, X.: A review of power consumption models of servers in data centers. Applied Energy **265**, 114806 (2020)
5. Muraña, J., Navarrete, C., Nesmachnow, S.: Machine learning for generic energy models of high performance computing resources. In: High Performance Computing. pp. 314–330 (2021)

Implementación y estudio de una maqueta de red 5G SA basada en srsRAN

Facundo Pedreira^[0009–0003–2959–9985], Bruno Tió^[0009–0005–1077–1604],
Leonardo Barboni^[0000–0002–7036–4083], and Claudina
Rattaro^[0000–0001–7149–5934]

Facultad de Ingeniería, Universidad de la República,
Montevideo, Uruguay
{facundo.pedreira,brunot,lbarboni,crattaro}@fing.edu.uy

Abstract. En un contexto donde las tecnologías de redes móviles avanzan y cambian constantemente, resulta de gran interés contar con maquetas dedicadas a la experimentación e investigación en esta área. Este proyecto tiene como fin la implementación de un *testbed* de red 5G *Stand Alone* de extremo a extremo, basado en el software de código abierto *srsRAN Project*, utilizando equipos de radio definida por software como terminales de radiofrecuencia. Se propone además realizar una comparativa de *performance* con su principal competidor *OpenAirInterface*, con el objetivo de determinar, a día de hoy, cual de estas opciones resulta más útil como base para futuros desarrollos. Los resultados preliminares señalan que *OpenAirInterface* ofrece un rendimiento superior en términos relativos, mientras que *srsRAN Project* se destaca por su simplicidad y el reducido tiempo requerido para su puesta en marcha.

Keywords: 5G NR · Red de Acceso Móvil · Software Defined Radio · srsRAN

1 Introducción

El mundo de las redes móviles está en constante evolución y el despliegue de redes de quinta generación (5G) viene siendo el eje central en los últimos años a nivel mundial. Con las comunicaciones mejoradas de banda ancha móvil (eMBB), 5G soporta altas velocidades de transmisión de datos para aplicaciones como la realidad virtual y aumentada. Las comunicaciones ultra fiables y de baja latencia (URLLC) abren nuevas posibilidades para servicios críticos, incluyendo vehículos autónomos y telemedicina, mientras que las comunicaciones masivas tipo máquina (mMTC) facilitan el despliegue de ecosistemas IoT (Internet de las Cosas) con miles de millones de dispositivos conectados. Para garantizar el cumplimiento de estos casos de uso aún existen varios desafíos tecnológicos que sin dudas se pueden extrapolar a lo que serán las redes de sexta generación, entre ellos están: la gestión eficiente e inteligente de los recursos para el cumplimiento

2 F. Pedreira, B. Tió, L. Barboni and C. Rattaro

de la calidad de servicio (QoS), despliegue de *Network Slicing* en los distintos segmentos de la red, interoperabilidad entre sistemas heterogéneos, abordaje de problemas de ciberseguridad, etc [2].

La evolución de las redes móviles ha estado históricamente marcada por *hardware* de propósito específico, con funciones de red estrechamente vinculadas a los fabricantes, lo que limitaba tanto la flexibilidad como la accesibilidad. Sin embargo, tecnologías como el Radio Definida por Software (SDR) [5] han transformado este panorama, permitiendo que las implementaciones de redes inalámbricas, y en particular las redes móviles, sean más accesibles para la investigación y la educación. La SDR es un sistema de comunicaciones donde las funciones que tradicionalmente se implementaban en *hardware* ahora se realizan mediante *software*, utilizando un ordenador personal común y un dispositivo de radiofrecuencia genérico, de bajo costo y conectado por USB. Esto permite crear equipos de comunicación capaces de interactuar con diversos sistemas, como televisión, radio AM y FM, e incluso aplicaciones específicas como estaciones base o equipos de usuario en redes móviles.

A pesar de estos avances, muchas de las soluciones disponibles para realizar pruebas realistas en redes móviles aún dependen de *hardware* costoso y *software* propietario, lo que representa una barrera significativa para equipos con recursos limitados. Como respuesta, han emergido alternativas de código abierto, como *srsRAN*[9] y *OpenAirInterface*[6], que ofrecen herramientas robustas para desarrollos locales y autónomos. Estas soluciones democratizan el acceso a las tecnologías de redes móviles, fomentando la innovación y abriendo nuevas posibilidades para la investigación y la educación en este campo.

srsRAN y *OpenAirInterface* buscan ofrecer una implementación flexible de tecnologías como LTE y 5G NR. Por un lado *OpenAirInterface* es gestionado por la OpenAirInterface Software Alliance (OSA), un grupo internacional de empresas, universidades e instituciones, incluyendo grandes actores de telecomunicaciones como Nokia, Vodafone y Ericsson. Este grupo colabora regularmente con el 3rd Generation Partnership Project (3GPP), la organización que produce las especificaciones técnicas que impulsan las diferentes generaciones de tecnologías de telecomunicaciones.

Por otro lado, el proyecto *srsRAN* es desarrollado por la compañía Software Radio Systems (SRS), una empresa privada que provee tanto el proyecto de código abierto *srsRAN* como una versión paga ofrecida a empresas junto con soporte continuo. La implementación *open-source* de *srsRAN* 5G es el segundo proyecto de este tipo implementado por la compañía, ya que esta ya cuenta con una versión similar para redes 4G.

La principal diferencia entre ambos radica en que *OpenAirInterface* cubre tanto la red de acceso por radio como el núcleo de red, mientras que *srsRAN Project* usa un núcleo externo, *Open5GS*, lo que le permite ofrecer una mayor modularidad y menor consumo de recursos. Los trabajos previos que comparan estas soluciones se han centrado en su mayoría en sus versiones LTE. En contraste, el estudio más reciente relacionado con este tema [10], publicado este año, es uno de los pocos que aborda desarrollos basados en 5G. En este trabajo,

los autores montaron su maqueta utilizando dos SDR USRP Ettus B210, pero para las comparativas optaron por dispositivos comerciales (COTS UE), en lugar de emplear las implementaciones de UE ofrecidas por *OpenAirInterface* y *srsRAN Project*. Aunque este estudio representa un avance al explorar las versiones más recientes de 5G, no explota completamente todas las posibilidades de comparación disponibles, dejando espacio para análisis más exhaustivos en el futuro.

En esta línea, el presente trabajo implementa un *testbed* basado en *srsRAN Project* y realiza una comparación directa con un estudio previo que analizó en detalle *OpenAirInterface* [7], utilizando el mismo *hardware* de base. Este enfoque garantiza una evaluación equilibrada de ambas soluciones en un entorno uniforme, lo que permite destacar sus fortalezas y debilidades de manera justa. Los resultados preliminares indican que *OpenAirInterface* muestra un mejor desempeño relativo en términos de rendimiento, mientras que *srsRAN Project* sobresale por su facilidad de uso y el tiempo reducido necesario para su implementación.

El resto del artículo se estructura de la siguiente forma. En la sección 2 se realiza una comparativa del estado actual de las dos soluciones. La sección 3 es la medular del artículo donde se describe en detalle la maqueta implementada, el *hardware* y *software* utilizado y las versiones de los distintos componentes. En la sección 4 se presentan y analizan los principales resultados obtenidos. Finalmente en la sección 5 se concluye el trabajo y se indican líneas de trabajo en curso y futuro.

2 La solución srsRAN Project y su comparativa con OpenAirInterface

En esta sección se presenta una comparativa entre las dos soluciones *open-source* más destacadas para el despliegue de redes 5G: *srsRAN Project* y *OpenAirInterface*. La comparación se centra en las características más relevantes, con especial énfasis en las diferencias funcionales que cada solución ofrece. Un resumen de las características más importantes evaluadas se puede ver en la tabla 1.

Entre los puntos en común, se destaca que ambas soluciones soportan la implementación de estaciones base (conocida como gNB) en modos *Standalone* (SA) y *Non-Standalone* (NSA). Asimismo, ambas pueden operar en un amplio rango de anchos de banda, *Subcarrier Spacing* variable y soportan *duplexing* en *Frequency Division Duplexing (FDD)* o *Time Division Duplexing (TDD)*, de acuerdo con lo estipulado en el estándar desarrollado por la 3GPP[1]. Sin embargo, es destacable que *OpenAirInterface* alcanza valores más altos de *Subcarrier Spacing*, lo cual teóricamente permite latencias menores y la posibilidad de operar a frecuencias más altas. A su vez, permite trabajar con *Dynamic TDD*, que permite asignar y reasignar de forma dinámica los recursos de tiempo entre *Uplink* y *Downlink*.

A su vez, existen diferencias significativas que resultaron clave durante la implementación y evaluación del desempeño. A diferencia de *OpenAirInterface*, *srsRAN Project* no ofrece una implementación para un UE (equipo de usuario)

Table 1: Comparativa entre srsRAN y OpenAirInterface

	srsRAN Project	OpenAirInterface
Generalidades		
Versión actual	24.10	2024.w49
gNB SA y NSA	Sí	Sí
UE SA y NSA	No. Utiliza srsUE 4G	Sí
Core Network	No. Utiliza Open5GS	Sí
RAN		
Subcarrier spacings	15/30 kHz*	15 kHz, 30 kHz, 60 kHz, 120 kHz
Bandwidths	5/10/15/20/25/30/40/50/60/70/80/90/100 MHz*	10/20/40/60/80/100 MHz
Duplexing	FDD, TDD*	FDD, TDD, dynamic TDD
Split CU/DU	Sí, oficial	Sí, desarrollado por comunidad

*Si bien *srsRAN* soporta SCS de 30 kHz, TDD y BW mayores a 20 MHz, estos no pueden ser usados por *srsUE* 4G.

nativo de 5G. En su lugar, utiliza *srsUE* en su versión 4G adaptada, lo que limita su funcionalidad en el contexto de redes SA 5G. Este aspecto no es menor, ya que, como se analizará más adelante, restringe las capacidades operativas de la maqueta. Según lo declarado en el *roadmap* del proyecto *srsRAN*, no se planea el lanzamiento de un UE 5G nativo en el futuro cercano [9]. Asimismo, tampoco proporciona una solución propia de *Core* 5G, dependiendo de software de terceros como *Open5GS*, pudiendo esta desplegarse en *bare-metal*, sobre un sistema Unix o incluso en un contenedor *Docker*.

Por último, cabe destacar que *srsRAN Project* incluye una implementación oficial de un *split CU/DU* y promete una próxima implementación de una separación *CU-UP/CU-CP*. Este desarrollo resulta particularmente atractivo para futuras implementaciones de menor escala, como se discutirá en la sección 5.

3 Implementación

La maqueta de red implementada se compone de los dos elementos principales: núcleo (5GCN) y red de acceso (NR-RAN); esta última modelada por sus equipos principales (gNB) y equipo de usuario (UE) según se muestran en la figura 1. En cuanto a *software*, como *srsRAN Project* carece de un núcleo de red propio, se usa como opción *Open5GS* en un contenedor *Docker*, y junto a este los módulos *srsNB* y *srsUE* para implementar la estación base y el equipo de usuario, respectivamente. A continuación se dan más detalles de los equipos involucrados en el despliegue así como también los detalles de ejecución.

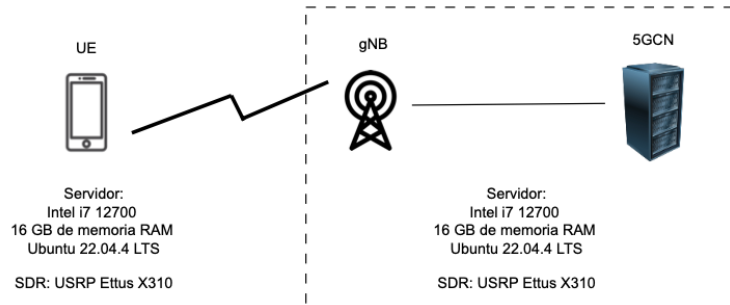


Fig. 1: Elementos de la maqueta indicando sus características de *hardware* principales.

3.1 Equipamiento utilizado

El *hardware* de base es idéntico al del trabajo previo [7], destacándose que para implementar la interfaz de aire se utilizan equipos de Software Define Radio (SDR) de alto porte soportando todo el rango de frecuencias definido como FR1 en 5G-NR [1]. En la figura 2 se muestran dos imágenes que reflejan los equipos utilizados, destacándose los SDR, antenas y computadoras.

Las computadoras utilizadas cuentan con procesadores i7 14700K (con 20 núcleos de procesamiento) y 16 GB de memoria RAM, lo que se considera más que suficiente para ejecutar el software utilizado en la maqueta, así como programas adicionales utilizados para monitorear el funcionamiento de la misma. De esta manera, se aseguró que los recursos de *hardware* no fueran una limitante al momento de medir el rendimiento de la solución implementada.

El otro equipo de *hardware* fundamental en esta implementación fue el SDR USRP Ettus X310. Este tipo de equipos se utilizan para emular en software los diferentes componentes de *hardware* que componen una antena especializada, como filtros, amplificadores y moduladores. De esta manera, se simula el comportamiento de las antenas especializadas necesarias para implementar una radiobase sin contar con el hardware específico para las mismas. En este caso, el SDR X310 cuenta con *daughterboards* UBX de banda ancha con hasta 120 MHz de ancho de banda, cubriendo entonces todo el rango de frecuencias y anchos de banda soportados por *srsRAN Project*. A su vez cuenta con una placa FPGA programable de alta velocidad y una interfaz de 10 Gbps a la PC, lo que permite nuevamente utilizar el SDR sin que la capacidad de procesamiento sea una limitante que actúe sobre el rendimiento que se busca medir en la maqueta [3].

Además de las computadoras, equipos SDR, conectores, atenuadores, antenas; se utilizó un teléfono comercial tal como se detallará más adelante.

6 F. Pedreira, B. Tió, L. Barboni and C. Rattaro

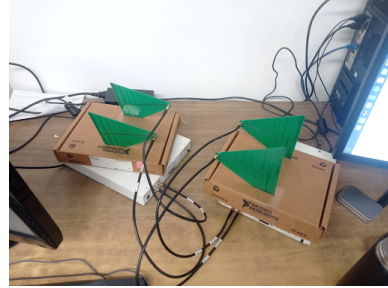
3.2 Puesta en operación

Una vez instalados todos los componentes de software y realizada una configuración básica, en primera instancia se buscó lograr una conexión estable entre la gNB y el UE por la interfaz de aire. Para esto se ajustaron de forma muy precisa las ganancias tanto en transmisión como en recepción; resultando óptimos los valores de 10 dB en transmisión y 5 dB en recepción. Para verificar esta estabilidad y el comportamiento coherente de la conexión se realizaron pruebas iniciales en las que se variaron diferentes parámetros como:

- Anchos de banda: 5, 10, 15 y 20 Mhz
- Bandas: n1, n2, n3, n5, n7 y n8
- Distancias entre transmisor y receptor: 0.3 m, 1 m y 3 m



(a) Maqueta completa. Incluye servidores, SDRs y antenas



(b) Equipos SDR transmitiendo a muy corta distancia

Fig. 2: Disposición de equipos utilizados en la maqueta completa.

La metodología implementada para estas pruebas iniciales fue la siguiente:

1. Establecer la configuración recomendada en la web de *srsRAN Project* [8].
2. Confirmar la conexión con la configuración recomendada.
3. Variar uno de los parámetros y verificar conectividad nuevamente.
4. Generar tráfico artificial que sature la red por 180 segundos verificando conectividad durante todo el test.

Una vez que la maqueta cumplió exitosamente con estas pruebas, se pasó a la etapa de evaluación. Para ello se tomó como medida de desempeño el *Throughput* alcanzado en Mbps. Si bien este no es el único parámetro para evaluar la performance (también es posible analizar sus tiempos de latencia, tasas de pérdida o conexiones simultáneas permitidas, entre otros), gran parte del valor de este trabajo radica en la comparación con *OpenAirInterface*, y dado que el trabajo con el cual se realizó la comparativa [7] realizó pruebas de capacidad, son estos los valores con los que se puede contrastar.

4 Principales Resultados

Se tomaron un conjunto de *setups* fijos que permiten medir los diferentes factores que afectan al rendimiento de la red, aislando y modificando las correspondientes variables en la configuración. Fijando el *hardware* utilizado y variando exclusivamente parámetros de configuración, se pudo registrar mediante la herramienta *iperf3* las velocidades y latencias obtenidas al variar valores como la banda y frecuencia de transmisión, el ancho de banda y frecuencia de muestreo utilizados, e incluso la distancia física entre antenas. Esta aplicación es del tipo cliente-servidor, y permite generar tráfico artificial para saturar la red y medir su capacidad durante un intervalo de tiempo deseado.

A su vez, se monitoreó el uso de recursos de los procesos correspondientes al núcleo de red y la gNB durante estas pruebas mediante el comando *htop* de linux, con el fin de evaluar así el rendimiento en el hardware utilizado. Este comando permite listar en tiempo real el uso de diferentes recursos de hardware de cada proceso ejecutando en el sistema:

- Uso de núcleos del procesador
- Memoria virtual solicitada
- Memoria RAM asignada
- Memoria de swap

4.1 Medidas de Throughput

Se presentan entonces los resultados obtenidos al variar los diferentes anchos de banda, los cuales resultan de interés para esta instancia. Durante estas pruebas se trabajó con los siguientes parámetros:

- Banda: n3
- Ganancias: Tx 10dB, Rx 5dB
- SubCarrier Spacing (Δf): 15kHz
- Distancia: 1m

En la gráfica de la figura 3 se presentan los resultados obtenidos, agrupados según la cantidad de PRB utilizados. Cabe recordar que los *Physical Resource Blocks* (PRB) constituyen las unidades fundamentales de recursos en el dominio de la frecuencia, asignadas a los usuarios para la transmisión de datos. Cada PRB está compuesto por 12 subportadoras contiguas, cuya separación está determinada por el valor del *SubCarrier Spacing* (Δf). La ecuación (1) muestra cómo se calcula la cantidad de PRB disponibles.

$$N_{PRB} = \left\lfloor \frac{BW_{usable}}{12 \times SCS} \right\rfloor \quad (1)$$

Al comparar estos resultados con las pruebas realizadas en [7] se pueden extraer varias observaciones preliminares.

En primer lugar, se constató que las pruebas de aire en [7] se llevaron a cabo en las bandas n78 y n41, ambas operando en TDD. Sin embargo, como

8 F. Pedreira, B. Tió, L. Barboni and C. Rattaro

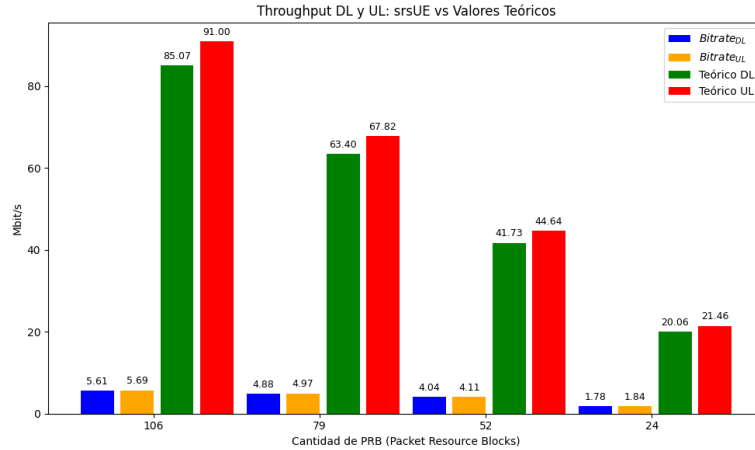


Fig. 3: Throughputs alcanzados por srsUE comparados con valores teóricos, agrupados por cantidad de PRB

se destacó en la sección anterior, el *srsUE* utilizado corresponde a una versión modificada de la implementación 4G, adaptada para establecer la conexión. Al no contar con todas las capacidades de un UE nativo 5G, esta versión carece de la funcionalidad necesaria para operar en TDD. Además, se observó que el trabajo previo utilizó un espaciado entre subportadoras de $\Delta f = 30$ kHz. Esto tampoco pudo ser replicado, ya que *srsUE* únicamente soporta un espaciado de $\Delta f = 15$ kHz.

Estas diferencias resultan de suma importancia, ya que imposibilitan una comparación directa de los resultados de *throughput*, dado que las configuraciones presentan capacidades distintas en los canales de comunicación establecidos. Por este motivo, se decidió adoptar como métrica el rendimiento de cada maqueta respecto al valor teórico esperado, expresado en forma porcentual. Esta metodología permite evaluar el grado de eficiencia alcanzado por cada implementación en relación con su máximo potencial, proporcionando así una base objetiva y equitativa, independientemente de las diferencias en configuraciones y capacidades de las soluciones. En la gráfica 4, se presentan los porcentajes obtenidos para cada solución, tanto en *Downlink* como en *Uplink*, agrupados según la cantidad de PRB utilizados.

Comparando los resultados obtenidos, se concluye que ambas implementaciones alcanzan rendimientos que permiten operar la maqueta en las configuraciones deseadas, garantizando la conectividad de extremo a extremo. No obstante, la implementación de *OpenAirInterface* logra valores de *bitrate* superiores en relación con el valor teórico esperado. Por otro lado, los valores obtenidos con la maqueta implementada usando *srsUE* se consideran extremadamente bajos, ya que en ningún caso superaron el 10% del valor teórico.

Implementación y estudio de una maqueta de red 5G SA basada en srsRAN 9

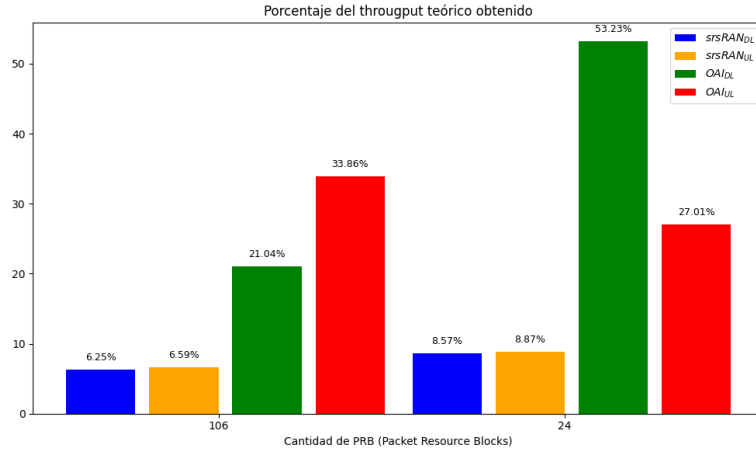


Fig. 4: Valores porcentuales del throughput alcanzado por cada solución respecto al valor teórico.

Llegado este punto, lo siguiente fue cuestionar dónde podía estar el punto de congestión del sistema. Naturalmente, el primer sospechoso fue el srsUE 4G. Esta implementación se encuentra limitada a configuraciones que, si bien logran conectividad a una gNB 5G, son inherentes a tecnología previa. De esta forma, no estaría pudiendo hacer uso de los protocolos e implementaciones que trae esta nueva generación.

Para confirmar esta tesis, se propuso conectar a la radiobase un dispositivo COTS UE (*Commercial Off The Shelf User Equipment*). En este caso, un dispositivo celular que cuenta con conectividad 5G nativa, como es el caso de un *Samsung Galaxy A22 5G*. Para esto se debió contar con una grabadora de tarjetas SIM y las respectivas tarjetas programables. Luego de configurarlo debidamente, se logró conectarlos a la red de acceso. Así, se repitieron las pruebas originales para diferentes anchos de banda, pero esta vez usando el mencionado dispositivo como UE. Los resultados pueden observarse en la gráfica de la figura 5.

Como se puede observar, el salto en la capacidad de tráfico fue abismal. El COTS UE alcanzó un bitrate de aproximadamente 80% del valor teórico en la mayoría de los casos. Esta diferencia, si bien determina fehacientemente que sea srsUE 4G el culpable de los bitrate bajos, indica claramente que el núcleo y la radiobase implementados con *Open5GS* y *srsRAN Project* son capaces de transmitir a tasas más que aceptables cuando se utiliza un dispositivo adecuado como UE.

10 F. Pedreira, B. Tió, L. Barboni and C. Rattaro

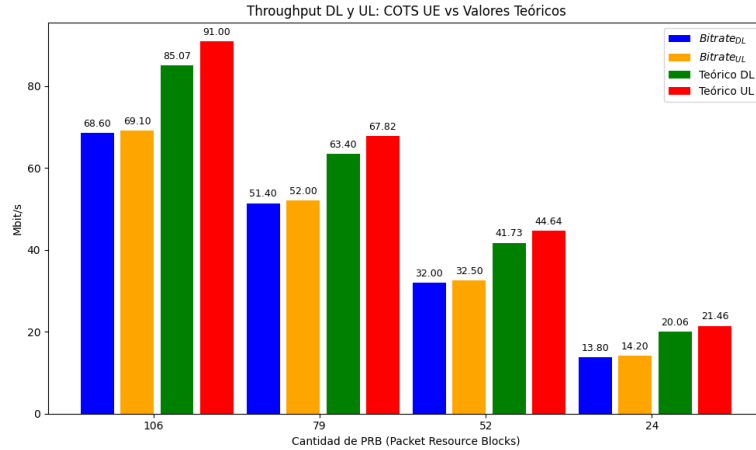


Fig. 5: Throughputs alcanzados por COTS UE comparados con valores teóricos, agrupados por cantidad de PRB

4.2 Uso de recursos hardware

Con el fin de estudiar el comportamiento a nivel de hardware, profundizando en otras posibles causas del bajo desempeño inicial, se evaluó el rendimiento de los procesos correspondientes a la ejecución del core Open5GS en un contenedor Docker y la gNB ejecutando el módulo de *srsRAN*, durante las pruebas detalladas en la sección 3.2. De esta manera se midieron los recursos requeridos por cada uno en las diferentes configuraciones utilizadas. La referencia usada fue el total de recursos de hardware de las PCs, detallados en la sección 3.1.

Por un lado, el núcleo de red Open5GS mantuvo un uso de recursos constante, con un tope de 1.5% de uso de CPU, y un máximo de uso de memoria RAM de 500 MB. Dados tanto la disponibilidad de CPU como el máximo de 16 GB de RAM, esto significa que la ejecución del mismo es sumamente liviana para la PC. A su vez, se observó que estos valores se mantenían estables en las diferentes pruebas realizadas, lo cual era esperado. Esto se debe a que las diferentes configuraciones usadas en la gNB no modificaban parámetros que impactaran en el núcleo de red.

En cuanto a la ejecución de la gNB, el uso de hardware si varió en las pruebas realizadas, en particular al variar la frecuencia de muestreo mediante el uso de diferentes anchos de banda. Esto se debe a la necesidad de procesar una mayor cantidad de paquetes por segundo para mantener esta frecuencia de muestreo transmitida en el SDR. De lo contrario suceden casos de *underflow*, en que la interfaz del SDR consume paquetes más rápido de lo que el proceso de la gNB los puede entregar, llevando a errores y retrasos en los que el SDR debe transmitir paquetes vacíos.

Por lo tanto, el recurso determinante en este caso fue el acceso a la CPU. Este aumentó al aumentar la frecuencia de muestreo, mientras que el uso de memoria RAM se mantuvo estable en 2.2 GB. Otros factores asociados a la memoria del proceso como la memoria de *swap*, se mantuvieron también estables, por lo que se considera que esta no fue un factor determinante. El uso de CPU observado fluctuaba durante la ejecución, pero se observaron en promedio los valores presentes en la tabla 2.

Table 2: Porcentaje de uso de CPU aproximado.

BW	Uso de CPU (%)
5	60
10	80
15	90
20	110

De igual manera, se observó que el uso de CPU dado es aceptable no solo en las PCs utilizadas, si no que debería también ser posible de ejecutar en equipos de menor rendimiento ajustando los parámetros de configuración necesarios. Los demás factores como uso de memoria RAM son lo suficientemente bajos como para que estos puedan ser ejecutados en equipos con menos recursos.

5 Conclusiones

Los resultados obtenidos reflejan que la implementación *end-to-end* de *OpenAir-Interface* permite alcanzar mayores velocidades de *throughput* en comparación con su análoga basada en *srsRAN Project*. No obstante, el rendimiento obtenido con esta es suficiente para realizar pruebas utilizando diferentes equipos y configuraciones. Además, destaca por su facilidad de uso y configuración, lo que lo convierte en una opción atractiva para usuarios que no necesariamente estén familiarizados con la disciplina, facilitando también su implementación en otras áreas.

Asimismo, se observó que los valores de *bitrate* alcanzados al utilizar un dispositivo comercial como equipo de usuario superan ampliamente los logrados con *srsUE 4G*, logrando porcentajes elevados del valor teórico esperado. Esto sugiere que la principal limitante radica en la implementación del UE, evidenciando que tanto el núcleo como el desarrollo de la radiobase pueden ofrecer un buen desempeño si se utiliza un equipo de usuario adecuado. Queda planteado como trabajo futuro un análisis detallado de los protocolos o servicios que *srsUE 4G* no soporta y que podrían estar limitando las tasas de transferencia. Es importante señalar que el *roadmap* de *srsRAN Project* no contempla actualmente el desarrollo de un *srsUE 5G*.

12 F. Pedreira, B. Tió, L. Barboni and C. Rattaro

Por otro lado, se observó que *srsRAN Project* incluye herramientas oficiales que permiten su uso en configuraciones alternativas, como los *splits* funcionales [4]. Esto abre nuevas posibilidades para estudios más detallados y enfoques alternativos, tales como el desarrollo de versiones portables de la maqueta utilizando hardware de menor costo.

Actualmente, el grupo de trabajo se encuentra profundizando en este aspecto, evaluando los requerimientos mínimos necesarios para esta solución e implementando *splits* del tipo CU/DU con dicho propósito. Se busca desarrollar una versión portable de la gNB que sea fácilmente trasladable y que aloje parte de su procesamiento en la nube.

References

1. 3rd Generation Partnership Project (3GPP): Nr; nr and ng-ran overall description; stage-2. Tech. rep. (2018)
2. Dang, S., Amin, O., Shihada, B., Alouini, M.S.: On challenges of sixth-generation (6g) wireless networks: A comprehensive survey of requirements, applications, and security issues. *IEEE Communications Surveys & Tutorials* **23**(1), 6–36 (2021)
3. Ettus research, usrp x300 and x310 x series reference sheet, <https://www.ettus.com/all-products/x310-kit/>
4. L. M. P. Larsen, A.C., Christianse, H.L.: A survey of the functional splits proposed for 5g mobile crosshaul networks. *IEEE Communications Surveys & Tutorials* **21**(1), 146 (2019)
5. Mitola, J.I.: *Software Radio Architecture: Object-Oriented Approaches to Wireless Systems Engineering*. Wiley-Interscience (2000)
6. OpenAirInterface Software Alliance: Openairinterface: 5g software alliance for democratising wireless innovation. <https://www.openairinterface.org> (2024), accessed: 2024-12-15
7. P. Vázquez, W. Peña, W.P.L.I., Rattaro, C.: Maq5g: Deployment of a complete 5g standalone network testbed for testing and development. In: 2024 XVI Congreso de Tecnología, Aprendizaje y Enseñanza de la Electrónica (TAEE). pp. 1–7. Malaga, Spain (2024). <https://doi.org/10.1109/TAEE59541.2024.10604930>
8. srsRAN Project: srsran gnb with srsue. *srsRAN Documentation* (2024), <https://docs.srsran.com/projects/project/en/latest/tutorials/source/srsUE/source/-index.html>
9. srsRAN Project: srsran: Open source 4g and 5g radio access network. <https://www.srsran.com> (2024), accessed: 2024-12-15
10. R. P. Alves, J. G. A. da S. Alves, M.R.C.W.O.d.F., Monteiro, V.F.: Experimental comparison of 5G SDR platforms: srsRAN x OpenAirInterface. Master's thesis, Federal University of Ceará (UFC), Fortaleza, Ceará, Brazil (2024)

WACE: Un Integrador de Clasificadores de Ataques Web

Agustín de León, Tobias Iroa, Juan Diego Campo, Rodrigo Martínez, Felipe Zipitría

*Grupo de Seguridad Informática (GSI)
Instituto de Computación, Facultad de Ingeniería
Universidad de la República*

{agustin.emanuel.de.leon,tobias.iroa,jdcampo,rodmart,fzipi}@fing.edu.uy

Abstract. Los Firewalls de Aplicación Web (WAF por sus siglas en inglés) tradicionalmente poseen limitaciones tales como su incapacidad para detectar ataques desconocidos y la generación de falsos positivos al aplicar reglas genéricas. El objetivo principal del trabajo es integrar la tecnología de WAF OWASP Coraza con la tecnología denominada Web Attack Classification Engine (WACE) para potenciar las capacidades de detección y respuesta ante amenazas en aplicaciones web.

Durante el trabajo se realizó un análisis exhaustivo de los conceptos fundamentales de Coraza, así como una evaluación de las diversas opciones de integración. Coraza, un firewall escrito en lenguaje Go compatible con OWASP CRS, se integra a WACE, un marco tecnológico diseñado para incorporar modelos de aprendizaje automático, enriqueciendo así la protección proporcionada por las reglas estáticas de OWASP CRS.

El resultado del trabajo incluye un sistema de comunicación eficiente entre WACE y Coraza, con modos de ejecución tanto sincrónicos como asincrónicos, además de herramientas para la recolección y visualización de métricas.

Keywords: Web Application Firewall · OWASP CRS · OWASP Coraza WAF · Seguridad en aplicaciones web.

1 Introducción

En la actualidad, las aplicaciones web se han convertido en un elemento central en la vida cotidiana de personas y organizaciones, siendo fundamentales en redes sociales, plataformas de entretenimiento y en servicios críticos como sistemas financieros y de salud. A medida que la importancia de estas aplicaciones aumenta, también lo hace el interés de actores maliciosos por vulnerar dichos sistemas.

En este contexto, los Firewalls de Aplicación Web (WAF por sus siglas en inglés [14]) representan una primera línea de defensa crucial, al interceptar el tráfico web mediante reglas que identifican y bloquean comportamientos sospechosos. Aunque esta tecnología resulta esencial en la protección de estos sistemas, la mayoría de los WAF open source utilizados actualmente dependen de reglas estáticas, por lo que la detección que ofrecen está limitada por la capacidad de generar reglas de detección efectivas que posea el equipo de expertos de cada organización protegida.

Para abordar sistemáticamente las amenazas a las que se encuentran expuestas las aplicaciones web surge OWASP CRS [12], un conjunto de reglas de detección diseñado para ofrecer protección contra una amplia variedad de ataques conocidos. A pesar de su eficacia en la protección de aplicaciones, las reglas de OWASP CRS no capturan las particularidades del tráfico web específico de cada organización, por lo que su uso da lugar a falsos positivos. Además, la naturaleza rígida de estas reglas limita su capacidad para detectar ataques desconocidos, lo que representa un riesgo significativo ante nuevas amenazas emergentes.

En el ámbito de los WAF open source que utilizan OWASP CRS, ModSecurity [13] es el estándar de facto. Sin embargo, el anuncio de la organización encargada de su soporte hasta el presente año (Trustwave) [17] sobre el cese del soporte oficial para este WAF ha llevado a la búsqueda de alternativas. La tecnología OWASP Coraza WAF [3], una implementación moderna en lenguaje Go que es compatible con OWASP CRS, se está posicionando como un sólido reemplazo dentro del ecosistema de WAF open source.

2 Antecedentes y trabajo relacionado

El presente trabajo está enmarcado dentro de la línea de investigación WAFMind [6] del Grupo de Seguridad Informática (GSI) del Instituto de Computación (InCo) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República. En el contexto de WAFMind se han desarrollado diversos proyectos enfocados en mejorar las capacidades de detección de los WAF utilizando técnicas de aprendizaje automático[2][8]. En nuestro proyecto, se ha continuado el trabajo realizado en el proyecto ModSecIntl [1], que culminó en la creación

de un Producto Mínimo Viable (MVP) del Web Attack Classification Engine (WACE) [11], un marco tecnológico que posibilita la integración de modelos de aprendizaje automático para complementar la protección ofrecida por OWASP CRS.

WACE tiene como objetivo no sólo detectar patrones de ataques conocidos, sino también identificar ataques emergentes que no están contemplados por las reglas estáticas, mientras se busca reducir los falsos positivos mediante un análisis contextual del tráfico de la organización. Los modelos que se integran en WACE ejecutan en paralelo al análisis de las reglas de OWASP CRS y se utiliza la información de ambas fuentes para tomar una decisión de bloqueo.

3 Propuesta

3.1 Sistema desarrollado

En el contexto de este trabajo se busca que WACE aproveche los beneficios de los modelos de aprendizaje automático, pero sin perder de vista que estos modelos también pueden generar falsos positivos. Por ello, se tuvo como objetivo que WACE cuente con un mecanismo que permita exceptuar la ejecución de determinados modelos. Además, teniendo en cuenta que dichos modelos pueden tener un alto tiempo de análisis, se propuso un modo de ejecución asincrónico.

En este sentido, se integró NATS[9] como sistema de mensajería para facilitar la comunicación asincrónica y escalable entre los distintos componentes del sistema. NATS asegura que los mensajes entre los modelos de aprendizaje automático y el WAF sean procesados de manera eficiente, incluso bajo condiciones de alta carga. Esta integración optimiza el rendimiento, permitiendo que WACE maneje las solicitudes sin bloquear la ejecución y mejorando la eficiencia del flujo de trabajo entre los diferentes módulos.

Considerando que estas soluciones pueden proteger sistemas críticos, es fundamental contar con herramientas de monitorización activa y recolección de métricas. Por esta razón, uno de los propósitos de este trabajo fue que WACE permita la recopilación de métricas detalladas en tiempo real sobre su desempeño en la protección de aplicaciones y el estado del WAF. Para lograr esto, se utilizaron tecnologías como OpenTelemetry[10] para la recolección de métricas, Prometheus[16] para el almacenamiento de datos en series temporales y Grafana[4] para la visualización y análisis en tiempo real de las métricas. Estas herramientas permiten monitorear continuamente el comportamiento del sistema, identificar posibles cuellos de botella, asegurando así que el rendimiento y la seguridad del sistema se mantengan dentro de los parámetros esperados.

3.2 Experimentación

Las métricas permiten evaluar el consumo de tiempo por parte de los distintos componentes de la solución, sin embargo, es necesario evaluar de manera externa el sistema. Este tipo de experimentación permite evaluar la eficiencia y robustez de la solución y comprobar si las métricas obtenidas se corresponden con la realidad.

Se realizaron pruebas de carga variando la cantidad de usuarios concurrentes que utilizaban la solución, sobre distintos escenarios: aplicación web desprotegida, aplicación web protegida con Coraza WAF y OWASP CRS, aplicación web protegida con WACE y aplicación web protegida con WACE utilizando el sistema de mensajería NATS de manera sincrónica. En estas pruebas se simuló tanto tráfico web legítimo como malicioso, con el fin de visualizar las diferencias de tiempos en ambientes realistas donde el surjan ataques.

Como resultado de la experimentación se obtuvo que el overhead agregado por la integración con respecto al uso de Coraza WAF con OWASP CRS es considerablemente bajo. Se pudo validar que las métricas obtenidas se corresponden con los tiempos que perciben los clientes de manera externa. Por otro lado, se pudo comprobar que el sistema de mensajería NATS no introduce demoras considerables en el flujo de comunicación.

4 Conclusiones

El trabajo realizado derivó en una integración robusta y eficiente de WACE con Coraza WAF [7], diseñada para maximizar el rendimiento sin introducir un overhead significativo en el sistema. A lo largo de las pruebas realizadas, se observó que la integración mantiene un impacto aceptable en los tiempos de respuesta, incluso bajo condiciones de alta carga. Este resultado respalda la viabilidad de la integración de las tecnologías, demostrando que es posible la combinación de ambos sistemas preservando su eficiencia.

Parte del trabajo realizado en este proyecto y los resultados obtenidos han motivado el desarrollo de un proyecto dentro de la línea de investigación WAFMind. Este propone, entre otras cosas, definir un nuevo mecanismo que permita expresar la definición de firmas para la detección de ataques en un WAF. En otras palabras, un nuevo lenguaje para la definición de las reglas de OWASP CRS. Actualmente, las reglas de OWASP CRS están definidas utilizando Seclang [15], el lenguaje de reglas del WAF Modsecurity, lo que implica que se deba trabajar en extraer la información que hoy está plasmada en reglas con dicha especificación [5]. El objetivo es que este nuevo lenguaje mejore el desarrollo y mantenimiento de reglas al independizarse de las particularidades que impone la sintaxis de ModSecurity. Sin embargo, se espera que el nuevo lenguaje pueda ser *compilado* a los lenguajes de distintas implementaciones de WAF y en particular al de ModSecurity.

Bibliografía

- [1] Gustavo Betarte et al. *ModSecIntl*. <https://gitlab.fing.edu.uy/gsi/wafmind/-/blob/master/Articles/WP/modsecintl-overview.pdf>. Último acceso: Noviembre 2024. 2024.
- [2] Gustavo Betarte, Álvaro Pardo, and Rodrigo Martínez. “Web Application Attacks Detection Using Machine Learning Techniques”. In: *2018 17th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA)*. 2018, pp. 1065–1072. DOI: 10.1109/ICMLA.2018.00174.
- [3] Christian Folini. *Talking about ModSecurity and the new Coraza WAF*. <https://coreruleset.org/20211222/talking-about-modsecurity-and-the-new-coraza-waf/>. Último acceso: Noviembre 2024. 2024.
- [4] Grafana. *Grafana*. <https://grafana.com/docs/grafana/latest/>. Último acceso: Octubre 2024. 2024.
- [5] GSI. *Seclang ANTLR based parser*. https://github.com/GSI-Fing-Udelar/seclang_parser. Último acceso: Diciembre 2024. 2024.
- [6] InCo. *WAFMind*. <https://www.fing.edu.uy/inco/proyectos/wafmind/>. Último acceso: Noviembre 2024. 2024.
- [7] Agustín de León y Tobias Iroa. *Caddy WACE integration*. https://gitlab.fing.edu.uy/gsi/pgrado-wace/caddy_wace. Último acceso: Noviembre 2024. 2024.
- [8] Nicolás Montes et al. “Web Application Attacks Detection Using Deep Learning”. In: *Progress in Pattern Recognition, Image Analysis, Computer Vision, and Applications*. Ed. by João Manuel R. S. Tavares, João Paulo Papa, and Manuel González Hidalgo. Cham: Springer International Publishing, 2021, pp. 227–236. ISBN: 978-3-030-93420-0.
- [9] NATS. *What is NATS*. <https://docs.nats.io/nats-concepts/what-is-nats>. Último acceso: Octubre 2024. 2024.
- [10] OpenTelemetry. *OpenTelemetry*. <https://opentelemetry.io/docs/what-is-opentelemetry/>. Último acceso: Octubre 2024. 2024.
- [11] Cuttica E. Outeda F. “WACE: Un integrador de clasificadores de ataques web”. In: *Proyecto de grado, Instituto de Computación, Facultad de Ingeniería, Universidad de la República* (2021).
- [12] OWASP. *OWASP CRS*. <https://owasp.org/www-project-modsecurity-core-rule-set/>. Último acceso: Junio 2024.
- [13] OWASP. *OWASP ModSecurity*. <https://owasp.org/www-project-modsecurity/>. Último acceso: Junio 2024.
- [14] OWASP. *Web Application Firewall*. https://owasp.org/www-community/Web_Application_Firewall. Último acceso: Noviembre 2024. 2024.
- [15] OWASP ModSecurity. *ModSecurity Reference Manual*. <https://github.com/owasp-modsecurity/ModSecurity/wiki/Reference-Manual-%28v3.x%29>. Último acceso: Octubre 2024. 2024.
- [16] Prometheus. *Prometheus*. <https://prometheus.io/docs/introduction/overview/>. Último acceso: Octubre 2024. 2024.
- [17] Inc Trustwave Holdings. *End of Sale and Trustwave Support for ModSecurity Web Application Firewall*. <https://www.trustwave.com/en-us/resources/security-resources/software-updates/end-of-sale-and-trustwave-support-for-modsecurity-web-application-firewall/>. Último acceso: Noviembre 2024. 2021.

Medición de Credibilidad en Plataformas de Redes Sociales

Sebastián García Parra and Adriana Marotta

Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay
{dgparra, amarotta}@fing.edu.uy

1 Introducción

Las redes sociales son un componente esencial del ecosistema informativo contemporáneo, desempeñando un rol relevante en los procesos de toma de decisiones de personas y organizaciones. Sin embargo, la calidad de los datos que circulan en estas plataformas es frecuentemente cuestionada, debido al aumento de la desinformación. Este trabajo aborda la necesidad de desarrollar herramientas e indicadores claros, que permitan evaluar de manera sistemática y objetiva la credibilidad de las publicaciones generadas y compartidas dentro de múltiples redes sociales. Con esto se persigue, que los usuarios finales, puedan obtener métricas de credibilidad de las publicaciones que consumen (en adelante clips).

Este resumen presenta brevemente los principales aportes de una tesis de maestría en curso, que son: (i) un modelo de calidad para la credibilidad de clips de redes sociales, y (ii) un mecanismo para la generación del *provenance* de una clip, global a las redes sociales.

Los resultados de este trabajo fueron validados en el contexto de la desinformación respecto al uso de estatinas, medicamento utilizado para reducir el colesterol y prevenir enfermedades cardiovasculares [3].

2 Modelo para *Credibility*

A pesar de que en el estado del arte existen trabajos que abordan la medición de la credibilidad de un clip [1], todos se sustentan en una única plataforma de red social, sin embargo, según [2], los usuarios interactúan en promedio con 8.3 plataformas diferentes, casuística que introduce desafíos adicionales. La evaluación de la credibilidad de un clip debería considerar su comportamiento durante todo el flujo de información, desde la red origen hasta que llega a un usuario consumidor. Para enfrentar esta problemática, este trabajo propone un enfoque que es agnóstico de las plataformas de redes sociales.

Definimos *Credibility* como una super-dimensión de Calidad de Datos, que se compone de dos dimensiones de calidad, llamadas *Trustworthiness* y *Provenance*. A su vez, *Trustworthiness* está compuesta por tres factores de calidad: *Verifiability*, *Expertise* y *Reputation*. *Verifiability* se refiere a la capacidad de verificar la exactitud del contenido mediante fuentes externas confiables o evidencia empírica. Esto permite confirmar la autenticidad de la información presentada.

2 Sebastián García Parra and Adriana Marotta

Reputation evalúa la percepción pública de la fuente del contenido, incluyendo su fiabilidad histórica y la consistencia en la entrega de información precisa y bien fundamentada. *Expertise* es un factor complementario, con el objetivo de ponderar la experiencia comprobable del usuario creador del clip, en el dominio asociado al contenido del mismo. En la Figura 1 se muestra como cada una de las dimensiones y factores de calidad aportan al concepto de *credibility*.

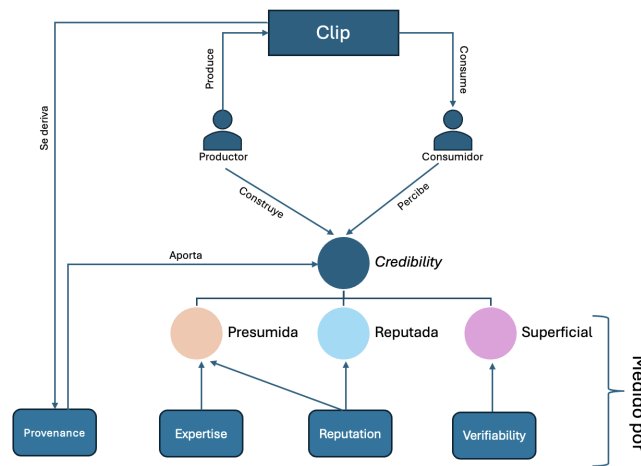


Fig. 1. Composición de *credibility* y dimensiones de calidad asociadas

El trabajo también presenta un flujo de procesamiento de clips, que incluye la evaluación de la *credibility*. Este flujo consta de múltiples fases organizadas en módulos independientes, permitiendo una estructura escalable y adaptable. Cada módulo cumple tareas específicas, como normalización de clips, generación de metadata y cálculo de métricas de *credibility*. Esta arquitectura facilita la incorporación de nuevas plataformas de redes sociales, como también nuevos módulos diseñados por terceros.

3 Generación de *provenance*

Un componente fundamental para sustentar la credibilidad de un clip es su linaje o *provenance*. En el modelo PROV-DM [5] se ofrece una representación estandarizada de las relaciones entre los datos y sus transformaciones, mientras que en [4] se extiende el anterior, proponiendo un modelo para la difusión de información y el *provenance* en las redes sociales, y un mecanismo para rastrear los caminos hasta las fuentes originales. Tanto ese trabajo como otros analizados en el estado del arte, no incluidos por motivos de espacio, están enfocados

exclusivamente en la red social X, siendo fundamental reconstruir el *provenance* agnóstico y global a las distintas plataformas para cada clip.

Para la reconstrucción de *provenance* nuestro enfoque se basa en el modelo PROV-DM. En él se abordan desafíos como la heterogeneidad de los formatos de clips y la pérdida de metadatos durante la transición entre redes sociales. En la Figura 2 se muestra el flujo de generación de *provenance*, donde se resuelven los problemas de búsqueda de clips equivalentes y generación del linaje.

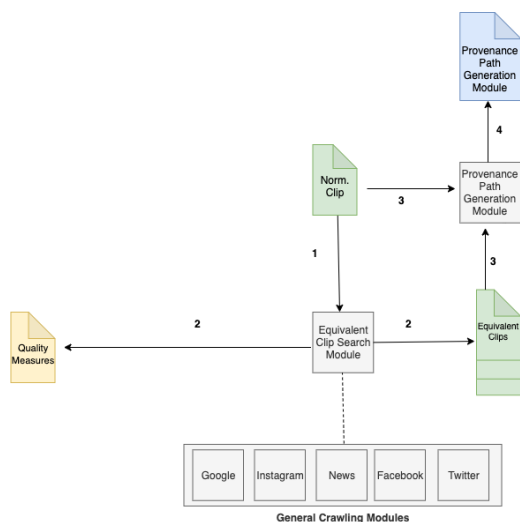


Fig. 2. Módulo de reconstrucción de *Provenance*

References

1. Alrubaiyan, M., Al-Qurishi, M., Alamri, A., Al-Rakhami, M., Hassan, M.M., Fortino, G.: Credibility in Online Social Networks: A Survey. *IEEE Access* **7**, 2828–2855 (2019). <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2886314>
2. GWI: On-demand Consumer Research | GWI, <https://www.gwi.com>
3. Ramos, D.M.V.: Internet y las redes sociales: los nuevos médicos consultantes. *Revista Uruguaya de Cardiología* (2019)
4. Taxidou, I., De Nies, T., Verborgh, R., Fischer, P.M., Mannens, E., Van de Walle, R.: Modeling Information Diffusion in Social Media as Provenance with W3C PROV. In: *Proceedings of the 24th International Conference on WWW*. pp. 819–824. *WWW '15 Companion*, ACM, Florence (May 2015). <https://doi.org/10.1145/2740908.2742475>
5. W3C: PROV-DM: The PROV Data Model, <https://www.w3.org/TR/prov-dm/>



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

